ECOMONDO
The green technology expo.
NOVEMBER
5 — 8, 2024
RIMINI
EXPO CENTRE
Italy
Organized by ITALIAN EXHIBITION GROUP Providing the future
In collaboration with ITA
madeinitaly.gov.it

RESEARCH AND INNOVATION, POLICIES, ENTREPRENEURSHIP, FINANCING, EDUCATION AND SKILLS, AND COMMUNICATION, IN GREEN AND CIRCULAR ECONOMY

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

PROCEEDINGS OF THE CONFERENCES OPENED TO CALL FOR PAPERS
CURATED BY FABIO FAVA

ITALIAN EXHIBITION GROUP
Providing the future
MAGGIOLI EDITORE
ecomondo.com

© Copyright 2024 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: 978.88.916.7401.2

Indice

9 Editoriale

13 **SITES AND SOIL MAINTENANCE AND RESTORATION**

14 STRATEGIE INNOVATIVE E SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI: LE EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

15 Bonifica del S.I.N. "Napoli Orientale": a che punto siamo? *di Adriano Pistilli*

21 Visualizzazione avanzata dei dati ambientali e geologici con *Earth Volumetric Studio* (*EVS*) per una gestione sostenibile dei siti contaminati *di Cecilia Crugnola, Cesare De Bernardi*

27 Nuovo disoleatore Discoil "designed for longevity" *di Laura Badalucco, Rosa Chiesa, Roberto Bertolin, Lorenzo Grivellaro, Elisa Marchetto, Giorgio Gaino, Chiara Silvestri*

35 Il S.I.N. della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (Torino): bonifica e prospettive di riqualificazione del sito *di Gian Luigi Soldi, Elisa Liliana Pugliaro, Antonio Ghione, Giovanni Battista Poma*

43 **WATER CYCLE AND BLUE ECONOMY**

44 RELAZIONE FRA ACQUE E SALUTE: METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO, MONITORAGGIO, FINANZA SOSTENIBILE, OPPORTUNITÀ DI BUSINESS E ADEGUAMENTO TECNOLOGICO

45 Farmaci nelle acque reflue: l'EPR potrebbe danneggiare le aziende? *di Adriano Pistilli*

51 PFAS nelle acque: carboni attivi e plasmaferesi per contrastarli *di Adriano Pistilli*

57 PIANI, STRATEGIE E SOLUZIONI PER ATTUARE LA NUOVA DIRETTIVA SULLE ACQUE REFLUE URBANE E AFFRONTARE LE SFIDE DELLA FUTURA DIRETTIVA SUI FANGHI: CASI DI STUDIO EUROPEI E ITALIANI

58 Tecnologia e Regolazione spingono lo sviluppo dello smart metering *di Francesco Albasser*

65 La fattibilità dei laghetti collinari per il riuso delle acque reflue urbane *di Ernesto Infusino*, *Giuseppe Frega*

72 Unleashing the full potential of sequencing batch reactors *di Dr. Marcus Hoefken, Megan House, Dr. Peter Huber, and Walter Steidl*

81 ASIA: una tecnologia innovativa nel quadro della direttiva UE sul trattamento delle acque reflue urbane *di Sandra Zoglia, Mauro Zoglia*

90 Stima del potenziale di riutilizzo irriguo di reflui urbani per la pianificazione di investimenti pubblici in applicazione del Reg. (UE) 741/2020: un approccio qualitativo basato sui dati di reporting della UWWTD *di Marianna Ferrigno, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Alessandra Pesce, Marica Furini, Olga Addimanda, Simona Capone*

98 La linea fanghi di un impianto di depurazione: come si può controllare ed automatizzare grazie all'impiego di Controllori di processo avanzati *di Maria Serena Gironi*

103 Eliminating PFAS and other organic micropollutants from sewage sludge in a climate and energy positive pyrolysis process *di Christian Wieth*

110 La sfida dei PFAS di *Francesco Capoti, Stefano Scappazzoni*

116 INTEGRATED SOLUTIONS TO ADAPT WATER SYSTEMS TO CLIMATE CHANGE: EUROPEAN AND MEDITERRANEAN IMPACTS, SOLUTIONS AND INNOVATION ACTIONS

117 Analysis of Greenhouse Gas Emissions and Energy Costs in a Wind-Powered Seawater Desalination Plant in Algeria *di N. Charif, H. Daaou Nedjari, M. Chaffi*

124 L'utilizzo dei moduli di drenaggio geocellulari per ripristinare il ciclo idrologico locale nelle nuove urbanizzazioni: alcune esperienze significative di *Marco Zausa*

132 DIGITALIZZAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA DELLE RETI IDRICHE: DAGLI INTERVENTI DEL PNRR ALLE AZIONI DI RICERCA E INNOVAZIONE

133 Knowledge transfer and co-design for advanced digital skills in water management. The project Horizon WATERLINE di *Giuseppe Mangano, Giacomo Falcone, Marina Mistretta*

140 Digitalizzazione delle infrastrutture irrigue nell'ambito dell'I.4.3 M2C4 del PNRR: il supporto della banca dati DANIA *di Marianna Ferrigno, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Alessandra Pesce, Massimo Tropeano, Luca Adolfo Folino, Marica Furini*

148 La gestione ottimizzata dell'impianto di depurazione grazie a Controllori avanzati ed automatici del processo *di Maria Serena Gironi*

153 ENAS Lotto 1: Interventi di risanamento tubazioni Coghinas I Relining Lu Bagnu – Castelsardo (SS) *di Michele Meloni*

161 **RESOURCE EFFICIENCY AND CIRCULAR ECONOMY**

162 SISTEMI INNOVATIVI DI PREVENZIONE DEI RIFIUTI E GESTIONE CIRCOLARE DELLE RISORSE

163 Individuazione di un set di indicatori di performance per il recupero di efficienza nella gestione integrata dei rifiuti urbani di Roma Capitale *di Carmen Parente, Marta Giovanna Geranzani, Luisa Frattini*

168 Nitrogen recovery from municipal sewage sludge, *di Paul Stopp*

174 U.P.S.Y. textile waste recycling and young innovators. Sottoprodotti e rifiuti tessili per la formulazione di scenari di reimpiego nella formazione di *Francesca Passeri*

183 Cinema per il Creato – Una rassegna cinematografica sull'ecologia integrale e sull'esigenza di cambiare stili di vita *di Gianluca Bortolotti*

188 Il Controllo di Gestione applicato alla Movimentazione dei Rifiuti *di Luca Realdon, Matteo Brazzale*

193 Adozione del sistema IA nel servizio di igiene urbana–Il modello Flegrea Lavoro *di Valentina Sanfelice*

197 Biometano dagli scarti agroalimentari della Provincia di Trento: stima del potenziale *di Luca Tomasi, Daniela Bona, Andrea Cristoforetti, Luca Grandi, Silvia Silvestri*

204 Optimization processes for anaerobic fermentation of nitrogen-rich substrates *di Paul Stopp, Jakub Krajewski*

210 Regione Piemonte-Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti *di Paola Molina, Adele Celauro, Anna Maria Nemo, Paolo Penna, Lucia Venturi Casadei*

217 Metodologia per la minimizzazione della produzione di scarti e per la valorizzazione circolare degli stessi: l'analisi dei nostri case study *di Gaia Liberatori, Alessandro Scuro, Federica Gentilini, Valerio Castellani, Flavia Lucarini*

223 I Benefici Ambientali di una Filiera Regionale per il Vetro: Il Caso 100% Sicilia *di Lucrezia Lamastra, Leonardo Spera, Chiara Ponti, Ernesto Ghigna, Marco Catalano*

230 Economia circolare nel settore della cancelleria – LEGAMI – Esauriti for the Planet *di Natascia Ghilardi, Ciro Liguori, Paolo Arcelli*

238 Economia circolare: la prospettiva della riparazione *di Valeria Stacchini*

246 Forecasting Material Outputs from Ship Demolition: Environmental and Economic Impacts *di Francesco Tola, Enrico Maria Mosconi, Mattia Gianvicenzi, Mariarita Tarantino, Alessio Matacera, Annamaria Delussu*

253 Analisi del comportamento dei cittadini nei processi di raccolta differenziata *di Sebastiano Mangiagli*

259 Direttiva Corporate Sustainability Due Diligence: volano della gestione circolare delle risorse? *di Luca Cavagnaro, Francesco Follieri*

262 TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RESOURCES RECOVERY FROM END-OF-LIFE PRODUCTS AND MATERIALS

263 Grape stalk: a first attempt to disentangle its fibres via electrostatic separation *di Umberto Cancelli, Giuseppe Montevecchi, Francesca Masino, Andrea Antonelli, Claire Mayer-Laigle*

269 Studio ed elaborazione di nuove strategie, tecniche, metodi e gestione per la bonifica su larga scala dei fondali marini *offshore* nei mari italiani. Implementazione di *innovative technologies* e di *innovative management di Federico Camilleri*

277 DC thermal plasma process for the production of AM powders *di Sergio Galvagno, Carmela Borriello, Gabriella Rametta, Nicola Fedele, Pierpaolo Iovane, Sabrina Portofino*

283 Technology Environment Care ed il riciclaggio dei pneumatici fuori uso (PFU) *di Gianmarco Di Rienzo, Luigi Piarulli, Roberto Tamma, Paolo Corvaglia, Franco Cataldo, Angelo Priori, Chiara Franzini Cappelletti*

288 Utilizzo di materiali elettricamente conduttivi per potenziare la fermentazione del siero di latte *di Carolina Cruz Viggi, Cecilia Petitta, Matteo Tucci, Matteo Daghio, Chiara Capelli, Carlo Viti, Alessandra Adessi, Luca di Palma, Federico Aulenta*

295 GREEN-LOOP: Sustainable Bio-based Materials and Circular Economy Solutions *di Marco Scatto, Jens Schmidt, Adam Sparkes, Tom Andrews, Luis Enrique Acevedo Galicia, Riccardo Varotto*

300 Processing Low Quality Recyclate Into High-Value Blown Film With Twin-Screw Extrusion Technology *di Christoph Lettowsky*

306 Nuova inedita tecnologia di produzione di pannelli VIP da riciclo di schiume con capacità isolanti molto superiori alle schiume di provenienza di *Maurizio Corti*

314 Un processo biotecnologico innovativo per il recupero del rame dalle schede elettroniche *di Alessandro Becci, Alessia Amato, Matteo D'Arcangelo, Giulia Merli, Francesca Beolchini*

321 SOSTENERE LA TRANSIZIONE DELLE AREE INDUSTRIALI E DELLE BROWN AREE ITALIANE IN PARCHI ECO INDUSTRIALI E L'IMPLEMENTAZIONE DELLA SIMBIOSI INDUSTRIALE COME STRUMENTO DI ROUTINE GESTIONALE PER LE AZIENDE

322 Il lavoro del futuro nella città del futuro. Trend e nuove professioni *di Federica Romano, Giovanni Armillotta, Maria Berardi, Martina Gnudi, Francesca Lettieri*

328 Towards a standardized approach: UNI PdR for Biodiversity Credits *di Simone Mazzola, Salvatore Faugno, Simona Alberti, Francesca Barbero, Luca Pietro, Marino Quaranta, Pietro Spataro, Giorgio Pelassa*

335 Hydrogen-based power generation. A Net-Zero Backup Solution for Green Ammonia Hubs *di Abdessamad Saidi, Andrea Pivatello, Markus Strömich-Jenewein, Christoph Harasser, Dr. Stephan Laiminger, Dr. Klaus Payrhuber, Carl Richers,INNIO Jenbacher*

341 La circolarità della Valutazione Ambientale Strategica per l'attuazione di scelte sostenibili di pianificazione e sviluppo economico del territorio della Regione Basilicata *di Maria Carmela Bruno, Maria Felicia Marino, Fiorella Messina*

348 Simbiosi Industriale e Facilitazione *di Elisabetta Mauri, Caterina Benassi*

355 Approcci e strumenti per l'analisi e la modellizzazione di scenari circolari nelle filiere locali: il Progetto "MAX-SHEEP" *di Raffaella Taddeo, Enrico Vagnoni, Rosa Di Capua, Veronica Casolani, Alberto Simboli, Andrea Raggi, Valentino Tascione, Alessandra Piga, Sara Bortolu, Bruno Notarnicola, Pietro Alexander Renzulli*

361 From textile waste to resource: exploring Industrial symbiosis opportunities between the textile and the furniture sectors *di Rosa Maria Dangelico, Roberta Pellegrino, Vito Albino, Lorenzo Ardito, Umberto Panniello, Ilaria Giannoccaro, Pierpaolo Pontrandolfo, Francesco Martellotta, Chiara Rubino, Stefania Liuzzi, Stefano Franco, Giovanni Miccolis, Giovanni Perrone, Paolo Roma, Alessia Busacca, Silvia Barbero, Eliana Ferrulli, Giuseppe Musci, Natale Quartato*

368 Trasformazione del paesaggio industriale: revisione della letteratura sulle NBS in Europa e Italia *di Maria Elena Bini, Sara Pennellini, Alessandra Fiorucci, Alessandra Bonoli*

375 BeeGreen: Sostenibilità e Innovazione Energetica *di Dott. Giosef Perricci*

381 **CIRCULAR AND REGENERATIVE BIOECONOMY**

382 BIOWASTE: XXVI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA. SESSIONE TECNICA

383 Studio della variabilità chimico-fisica del rifiuto organico per la produzione di biometano *di Mariangela Soldano, Chiara Noto, Mirco Garuti*

388 Esiti della campagna di analisi su coltivazioni biologiche di aziende agricole che impiegano l'ammendante compostato misto "Amelia" *di Marco Roselli*

393 Esperienza di gestione di impianti di biostabilizzazione del sottovaglio da trattamento meccanico di rifiuti solidi urbani *di Luca Tassini, Andrea Eleuteri, Damiano Riccioni*

401 Da scarti di mela ad ammendanti: il progetto "SMS-Green" *di Sara Bertolini, Daniela Bona, Luca Grandi, Andrea Cristoforetti, Luca Tomasi, Silvia Silvestri*

408 Tecnologie e metodi per il monitoraggio delle emissioni fuggitive di biometano da impianti di digestione anaerobica *di Stefano Trotta, Ivan Kostadinov, Enrico Cozzani, Mariangela Soldano, Mirco Garuti*

416 LEGNO E BIOMATERIALI PER L'EDILIZIA: UN PERCORSO DI DECARBONIZZAZIONE E DI ECONOMIA CIRCOLARE

417 Costruire l'edilizia del futuro *di Federica Romano, Giovanni Armillotta, Maria Berardi, Martina Gnudi, Francesca Lettieri*

423 On the use of innovative materials and renewable energy sources for the energy retrofit of heritage buildings: an innovative approach based on circular economy principles *di V.L. Castaldo, C. Cavicchioli, L. Croci, F. Cotana*

429 Metodologia di calcolo carbon free: una certificazione di filiera per il comparto legno-arredo nazionale *di Marcello Missaglia, Alessandro Carzaniga, Caterina Rinaldi, Albino Maggio, Sebastiano Cerullo*

435 ENVIRONMENTAL MONITORING AND EARTH OBSERVATION

436 ARIA INDOOR: IL RUOLO NEL RAPPORTO AMBIENTE E SALUTE

437 Sustainable solutions for compliance with new measures and regulations in force regarding "Indoor Air Quality" *di Fabio Galatioto, Chiara Verderese, Giuseppe Spanto*

445 Radon indoor e interventi di efficientamento energetico nel settore residenziale: monitoraggio e analisi applicate ad un edificio residenziale multipiano *di Clara Peretti, Lucio Confessore, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Arianna Lepore, Silvia Brini, Margherita Arpaia, Federico Massimi*

450 Proposta di un Attestato di Salubrità Ambientale Indoor *di Damiano Sanelli*, *Clara Peretti*

457 Dall'esperienza locale a quella nazionale: il progetto necessaria e la condivisione delle competenze *di Clara Peretti, Luca Verdi, Gianmaria Fulici, Umberto Moscato, Costanzo Di Perna*

463 EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO

464 Criticità ed ottimizzazione del sistema di abbattimento di Sostanze Organiche Volatili (SOV) da trattamento rifiuti urbani impianto di selezione e trasferenza *di Katiuscia De Angelis, Leonardo Carloni, Fabrizio Proietti, Franco Giansanti, Alberto Frizzi*

SEE YOU AT ECOMONDO 2025

NOVEMBER 4 — 7, 2025
RIMINI EXPO CENTRE, ITALY

Organized by

ITALIAN EXHIBITION GROUP
Providing the future

In collaboration with

ITA
madeinitaly.gov.it

ECOMONDO GLOBAL NETWORK

ECOMONDO MEXICO

March 5 — 7, 2025
Guadalajara, Mexico

ECOMONDO CHINA CDEPE
引领中国西部生态发展和能源转型

March 27 — 29, 2025
Chengdu, China

GREEN MED EXPO&SYMPOSIUM
WASTE, WATER & ENERGY

May 28 — 30, 2025
Naples, Italy

Editoriale

Gli articoli raccolti in questo volume riguardano alcuni dei contributi presentati alle principali conferenze di Ecomondo 2024, svoltosi a Rimini dal 5 al 8 novembre 2024.

SITES AND SOIL MAINTENANCE AND RESTORATION

STRATEGIE INNOVATIVE E SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI: LE EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

Il convegno sarà dedicato all'innovazione tecnologica nella bonifica sostenibile di siti contaminati, con casi studio e la loro analisi critica dei risultati conseguiti, i costi e le annesse implicazioni ambientali.

Gli articoli pubblicati nell'ambito di questa sessione sono annessi a quanto si sta facendo sul sito S.I.N. "Napoli Orientale" e quello della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (Torino). Un altro riguarda l'uso dei dati ambientali e geologici con Earth Volumetric Studio (EVS) per una gestione sostenibile dei siti contaminati e un ultimo articolo e' sul nuovo disoleatore Discoil "designed for longevity".

WATER CYCLE AND BLUE ECONOMY

RELAZIONE FRA ACQUE E SALUTE: METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO, MONITORAGGIO, FINANZA SOSTENIBILE, OPPORTUNITÀ DI BUSINESS E ADEGUAMENTO TECNOLOGICO

Il nesso acqua-salute è legato all'inquinamento dell'acqua, in particolare da inquinanti emergenti, ma anche alle tecnologie innovative depurative e di monitoraggio avanzato diretto a prevenire possibili pandemie. L'approccio basato sul rischio è ormai parte delle nuove direttive e regolamenti dell'UE. Nell'ambito di questa sessione sono stati presentati due articoli dedicati alla gestione di acque contaminate da farmaci e PFAS.

PIANI, STRATEGIE E SOLUZIONI PER ATTUARE LA NUOVA DIRETTIVA SULLE ACQUE REFLUE URBANE E AFFRONTARE LE SFIDE DELLA FUTURA DIRETTIVA SUI FANGHI: ESEMPI EUROPEI E ITALIANI

La nuova direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane apre la strada a una gestione intelligente, sostenibile e circolare delle acque reflue, tenendo conto delle nuove fonti di inquinamento urbano, sempre più diffuse (come i piccoli agglomerati, le infrastrutture decentrate o le acque meteoriche), nonché dei nuovi inquinanti emergenti, tra cui le microplastiche e i microinquinanti. Inoltre, il settore delle acque reflue è ormai neutrale dal punto di vista energetico e climatico e contribuirà all'economia circolare migliorando la qualità dei fanghi e delle acque reflue trattate, consentendo un maggiore riutilizzo in agricoltura e il recupero di loro costituenti e risorse preziosi. Nel fare ciò, gli Stati membri dovranno rispettare anche la nuova Direttiva sui fanghi di depurazione, in attesa di un'imminente revisione. Gli articoli presentati

in questa sessione concorrono a delineare il quadro di ciò che è già in corso in questi settori e delle soluzioni tecniche disponibili. Il passaggio alla circolarità e all'inquinamento zero richiede una complessa combinazione di un quadro normativo adeguato, di nuove tecnologie e di un coordinamento efficace tra diversi settori e stakeholder e questo e' anche quanto emerge dagli articoli presentati qui di seguito citati..

INTEGRATED SOLUTIONS TO ADAPT WATER SYSTEMS TO CLIMATE CHANGE: EUROPEAN AND MEDITERRANEAN IMPACTS, SOLUTIONS AND INNOVATION ACTIONS

Climate change is exacerbating both water scarcity and water-related hazards (such as floods and droughts), as rising temperatures disrupt precipitation patterns and the entire water cycle. The Mediterranean basin is a climate change hotspot and projected climate water-related risk from IPCC are serious. Water solutions include healthy aquatic ecosystems and improved water management can lower greenhouse gas emissions and provide protection against climate hazards, wetlands also serve as a buffer against extreme weather events, early warning systems for floods, droughts and other water-related hazards, water-resilient infrastructure planned and constructed following a systemic and nexus-based approach, climate smart agriculture. A prominent case study on the Seawater Desalination in Algeria is presented in this session along with an Italian case study on the restoration of local hydrological cycle in new urbanizations through the use of geocellular drainage modules.

DIGITALIZZAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA DELLE RETI IDRICHE: DAGLI INTERVENTI DEL PNRR ALLE AZIONI DI RICERCA E INNOVAZIONE.

Le tecnologie digitali hanno un impatto su quasi tutti i settori dell'industria idrica. Le aziende idriche di tutte le dimensioni, pubbliche e private, stanno modificando il modo in cui operano e gestiscono le risorse. Le utility stanno facendo un grande uso della digitalizzazione anche grazie ai finanziamenti nazionali legati alla ripresa e resilienza diretti ad incentivare la digitalizzazione dell'infrastruttura idrica. Gli articoli di questa sessione presentano i progressi raggiunti nel settore, grazie a finanziamenti europei e progetti finanziati dal PNRR.

RESOURCE EFFICIENCY AND CIRCULAR ECONOMY

SISTEMI INNOVATIVI DI PREVENZIONE DEI RIFIUTI E GESTIONE CIRCOLARE DELLE RISORSE

Quasi tutti i Paesi UE stanno implementando azioni dirette a prevenire i rifiuti, benché usando indicatori e target differenti da paese a paese. Assieme alle pratiche di prevenzione, sono in corso azioni di gestione circolare dei prodotti o/e dei materiali a fine vita. In questo caso servono adeguati strumenti e monitoraggi dei benefici ambientali ottenuti. In questa sessione, vi sono articoli dedicati a nuovi approcci, buone pratiche e casi studio sulla realizzazione di prassi più sostenibili di prevenzione e gestione di residui, scarti e sottoprodotti di origine industriale o urbana.

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RESOURCES RECOVERY FROM END-OF-LIFE PRODUCTS AND MATERIALS

The current circular material use rate in the EU is estimated below 12%, indicating a considerable difficulty in the valorisation of end-of-life goods. Thus, the increasing demand for natural resources still characterizes most economic value chains, hindering an effective implementation of the principles of circular economy. A stronger effort is clearly needed to reach the European target of recycling and recovery, with the fundamental contribution of technological innovations, which can trigger virtuous industrial experiences. In this session, examples of novel technical solutions which could have the potential to significantly improve the performance of waste valorisation in different economic sectors are presented with the selected papers.

SOSTENERE LA TRANSIZIONE DELLE AREE INDUSTRIALI E DELLE BROWN AREE ITALIANE IN PARCHI ECO INDUSTRIALI E L'IMPLEMENTAZIONE DELLA SIMBIOSI INDUSTRIALE COME STRUMENTO DI ROUTINE GESTIONALE PER LE AZIENDE
Strumenti ed incentivi economici e non economici giocano un ruolo cruciale nell'affiancare la transizione da modelli di produzione e consumo lineari verso quelli sostenibili e circolari. Il cronoprogramma della Strategia Nazionale per l'Economia Circolare, in questa prospettiva, prevede il sostegno ai progetti di simbiosi industriale attraverso lo sviluppo di strumenti e/o schemi di incentivazione e propone, inoltre, il ricorso allo strumento delle reti di impresa con finalità circolari e la rigenerazione di aree industriali dismesse in eco-distretti circolari (parchi eco-industriali), anche attraverso la simbiosi industriale. In questa azione è fondamentale anche il coinvolgimento delle imprese, pubbliche e private, amministrazioni, università, centri di ricerca, sistemi di istruzione/formazione, associazioni di categoria e terzo settore. In questa sessione, sono presenti articoli dedicato agli strumenti ed incentivi economici e non economici per la promozione della simbiosi industriale e la transizione delle aree industriali italiane verso il modello di eco-distretto circolare.

CIRCULAR AND REGENERATIVE BIOECONOMY

BIOWASTE: XXVI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA.
Nell'ambito della conferenza sono state messe a confronto modalità di riciclo del rifiuto organico e di 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. Gli articoli che seguono sono dedicati a diverse iniziative avviate sui fronti indicati.

LEGNO E BIOMATERIALI PER L'EDILIZIA: UN PERCORSO DI DECARBONIZZAZIONE E DI ECONOMIA CIRCOLARE
Il legname ed i biomateriali sono una risorsa strategica per la bioedilizia e per il contrasto al cambiamento climatico grazie alla loro capacità di sostituzione di prodotti da fonti fossili, di recupero di materiali biologici di scarto, di migliori prestazioni energetiche degli ambienti realizzati, e soprattutto di stoccaggio di carbonio nel tempo. Nonostante questo, la diffusione di tali edifici è ancora molto limitata, e ciò anche in relazione alla mancanza di politiche e misure specifiche per il settore della bioedilizia. Situazione che potrebbe vedere una evoluzione con la definizione del sistema di certificazione del carbon farming nei prodotti legnosi. Gli articoli di questa sessione mettono in evidenza i punti di forza e di debolezza del settore in Italia e quali possano essere le leve per promuovere un modello di abitazioni e costruzioni a minore impatto, maggiore efficienza, e costi competitivi.

ENVIRONMENTAL MONITORING AND EARTH OBSERVATION

ARIA INDOOR: IL RUOLO NEL RAPPORTO AMBIENTE E SALUTE.
In questa sessione sono presentati articoli legati ad iniziative, strategie ed azioni dirette a monitorare la qualità dell'aria indoor e ridurre il rischio e l'esposizione della popolazione e dei lavoratori, anche in linea con la nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria che lascia spazio a valori di riferimento nazionali per la qualità dell'aria indoor.

EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO.
In questa sessione, è presentato un articolo sulle criticità e le ottimizzazioni del sistema di abbattimento di sostanze organiche volatili provenienti dal trattamento di rifiuti urbani presso l'impianto di selezione e trasferenza ASM TERNI SpA.

Questa raccolta di articoli potrà essere utile per coloro che non hanno potuto partecipare ad Ecomondo 2024 e rappresenta una preziosa fonte di informazioni e di stimoli a sostegno di uno sviluppo della *Green, Circular and rigenerative Economy* in Italia, in Europa e nel Mediterraneo.

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" istituto presso il "Comitato di Biosicurezza, Biotecnologie e Scienza della Vita" della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Infine è il Presidente del Comitato scientifico/tecnico di Ecomondo dal 2013.



SITES AND SOIL MAINTENANCE AND RESTORATION

STRATEGIE INNOVATIVE E SOSTENIBILI PER LA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI: LE EVOLUZIONI DELLA RICERCA APPLICATA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Università di Roma "La Sapienza", Unem, ISPRA**

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.

Presidenti di sessione:
Marco Petrangeli Papini, Università di Roma "La Sapienza"
Donatella Giacopetti, Unem
Fabio Pascarella, ISPRA

Bonifica del S.I.N. "Napoli Orientale": a che punto siamo?

Adriano Pistilli, pistilli.ambiente@gmail.com
Responsabile Tecnico Gestione Rifiuti – Libero Professionista, Napoli

Riassunto
Il Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale" occupa un territorio di circa 830 ettari in cui sono comprese circa 500 aziende piccole, medie e grandi, aziende dismesse, aree residenziali, strutture ad usi sociali ed appezzamenti agricoli. Le caratterizzazioni svolte alla fine degli anni '90 hanno evidenziato nel suolo superficiale e profondo, nelle acque di falda e nei sedimenti marini, la presenza sia di Metalli, quali ad esempio Hg, Pb, Zn, Be, Cu e Cr, sia di composti organici, quali Idrocarburi, IPA, PCB, in concentrazioni superiori ai limiti consentiti dalla normativa. Dopo alcuni anni la politica e le istituzioni scientifiche hanno deciso di "voltare pagina" e nel 2022 è stato siglato il Nuovo Accordo di Programma per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese nel Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale".

Summary
The Site of National Interest "Eastern Naples" occupies an area of approximately 830 hectares which includes approximately 500 small, medium and large companies, abandoned companies, residential areas, structures for social uses and agricultural plots. The characterizations carried out at the end of the 1990s highlighted in surface and deep soil, in groundwater and marine sediments, the presence of both Metals, such as Hg, Pb, Zn, Be, Cu and Cr, and organic compounds, such as Hydrocarbons, PAHs, PCBs, in concentrations higher than the limits permitted by law. After a few years, politics and scientific institutions decided to "turn the page" and in 2022 the New Program Agreement was signed for the definition of the safety and reclamation interventions of the areas included in the Site of National Interest "Eastern Naples".

1. Introduzione

Il Sito di Interesse Nazionale di Napoli Est è stato individuato con la Legge n. 426 del 1998; successivamente è stato perimetrato con Ordinanza Commissariale del 29 dicembre 1998 del Sindaco di Napoli, nelle funzioni di Commissario Delegato per gli interventi di cui alle Ordinanze del Ministero dell'Interno n. 2509/97 e successive, d'intesa con il MATTM.
Nel 1400, a seguito dei lavori di bonifica idraulica, l'area era a vocazione agricola. Tra la fine del 1700 e la prima metà del 1800 l'area cominciò a sviluppare una vocazione industriale che toccò la sua acme durante il Fascismo con l'affermazione di industrie petrolchimiche e raffinerie [1].
Negli anni '80, a seguito della forte espansione edilizia nelle vicinanze dell'area industriale, si aprì un ampio dibattito sulla possibilità di delocalizzare o chiudere le attività presenti: la cessazione dell'attività fu però determinata da una tragedia. La mattina del 21 dicembre 1985 si verificò il "disastro del deposito Agip di Napoli": un'improvvisa esplosione coinvolse venticinque serbatoi, a cui fece seguito un imponente incendio che durò una settimana causando la fuoriuscita di una densa nube tossica che avvolse anche le zone attorno al deposito. Ad evento concluso il bilancio fu di cinque morti e danni per 100 miliardi di lire.

Oggi il S.I.N. che occupa un territorio di circa 830 ha in cui sono comprese circa 500 aziende piccole, medie e grandi, aziende dismesse, aree residenziali, strutture ad usi sociali ed appezzamenti agricoli, può essere suddiviso in quattro grandi sub-aree:
– polo petrolifero di circa 345 ha, in cui sono localizzate le principali aziende del petrolchimico, le grandi industrie meccaniche e di mezzi di trasporto;
– zona Gianturco di circa 175 ha, in cui sono localizzate molte attività manifatturiere e di commercio all'ingrosso;
– zona Pazzigno di circa 200 ha, in cui sono localizzate aziende di piccole dimensioni;
– fascia litoranea del quartiere di San Giovanni di circa 100 ha, comprendente l'area marina antistante in cui sono ubicati grandi insediamenti dismessi, una centrale termoelettrica e il depuratore [2].



Fig. 1 – *Esplosione delle raffinerie il 21 dicembre 1985 [3]*

2. Relazione

Le caratterizzazioni svolte alla fine degli anni '90 hanno evidenziato nel suolo superficiale e profondo, nelle acque di falda e nei sedimenti marini, la presenza sia di Metalli, quali ad esempio Hg, Pb, Zn, Be, Cu e Cr, sia di composti organici, quali Idrocarburi, IPA, PCB, in concentrazioni superiori ai limiti consentiti dalla normativa.

2.1 Contaminazione del suolo e delle acque di falda

Le caratterizzazioni svolte alla fine degli anni '90 hanno evidenziato:
– nel suolo superficiale e profondo la presenza sia di Metalli, quali ad esempio Hg, Pb, Zn, Be, Cu e Cr, sia di composti organici, quali Idrocarburi, IPA, PCB, in concentrazioni superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) stabilite dal Decreto Legislativo n.152/2006 in riferimento alla specifica destinazione d'uso;
– nelle acque di falda è stata evidenziata una contaminazione diffusa e marcata dovuta principalmente alla presenza di composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni.

2.2 Contaminazione dei sedimenti

L'ICRAM ha realizzato la caratterizzazione dei fondali del porto e ha evidenziato la necessità di intervenire bonificando le aree interessate; nei fondali indagati è stata rilevata la presenza di sedimenti contaminati da IPA, Hg, Cr, Cu e Pb.

A seconda della pericolosità, i sedimenti sono stati divisi in "gialli", "arancioni" e "rossi".

Gli studi idrogeologici dell'area hanno evidenziato come una delle sorgenti della contaminazione fosse l'acqua di falda. Prima di procedere con la bonifica dei sedimenti, è pertanto risultato necessario interrompere tale flusso contaminante mediante la realizzazione di un diaframma plastico che è stato realizzato fino ad una profondità di circa 20 m dal p.c., fino cioè a raggiungere il substrato tufaceo.

La soluzione scelta per la gestione dei sedimenti arancioni e gialli dragati è quella indicata dal comma 996 della Legge n. 296/06, ovvero quella che prevede la costruzione di una cassa di colmata impermeabilizzata ove confinare l'intera volumetria (60.000 m3). La cassa ha una capacità volumetrica di invaso molto maggiore di quella richiesta dal progetto e potrà pertanto essere utilizzata anche per il contenimento dei sedimenti non pericolosi provenienti da altri interventi di dragaggio dei fondali del Porto di Napoli.

Per i sedimenti "rossi", con l'intento di ridurre i quantitativi di rifiuti da inviare in discarica si è attuato un trattamento di decontaminazione mediante Soil Washing [4].

2.3 Determinazione dei Valori Naturali di Fondo

L'indagine è stata condotta sulla base di quanto previsto dal "Progetto per la determinazione dei Valori di Fondo nei suoli", relativo al Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale", approvato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) in Conferenza dei Servizi Decisoria del 30 Gennaio 2008. Sulla base delle prescrizioni il numero di carotaggi è passato dai 20 del Progetto iniziale ai 30 richiesti.

L'ubicazione dei punti di campionamento è stata definita sulla base di informazioni sull'uso del suolo, sulla morfologia, ed in riferimento a cartografie storiche disponibili che evidenziano l'assenza di precedenti insediamenti industriali, allo scopo di:

– individuare aree su cui non insistono attualmente sorgenti di contaminazione puntuale;

– investigare terreni con caratteristiche geologiche-stratigrafiche similari a quelli interni al S.I.N.;

– analizzare aree prive di contaminazione derivante dal S.I.N. stesso e/o da attività antropiche anche pregresse.

Le attività di campo, consistenti in bonifica da ordigni bellici e successiva esecuzione di carotaggi e prelievi di campioni di suolo, sono state condotte dal mese di gennaio 2009 al mese di marzo 2009.

Le attività di investigazione condotte sui suoli limitrofi al Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale" ed in particolare in aree, ricadenti nei quartieri di Ponticelli (a nord del S,I,N,), di San Giovanni a Teduccio (a sud-est del S.I.N.) e di Barra (ad est del S.I.N.), hanno consentito di proporre valori rappresentativi del fondo di alcuni composti inorganici.

In particolare la campagna di investigazione svolta dai tecnici dell'ARPAC ha prodotto un set di dati costituito da n. 90 campioni di suolo prelevati in corrispondenza di n. 30 sondaggi e relativi a tre differenti profondità: 0,5 – 1,5 m, 4,5 – 5,5 m e 9 – 10 m dal p.c.

Per ogni campione sono stati analizzati gli inquinanti inorganici presenti nella short-list integrata di "Napoli Orientale"; in particolare i Metalli sono stati analizzati sia previa dissoluzione in acqua regia che mediante dissoluzione in HF.

Tenendo in considerazione che le popolazioni riferite ai due differenti metodi analitici non presentano differenze significative e che in genere il metodo più utilizzato per la determinazione analitica dei Metalli per applicazioni ambientali è quello che prevede la dissoluzione in

acqua regia si è scelto, almeno in via preliminare, di elaborare i dati ottenuti mediante dissoluzione in acqua regia. Inoltre siccome le concentrazioni dei parametri analizzati risultano sempre inferiori alle CSC per uso residenziale ad eccezione del Berillio, Stagno e Vanadio, si è ritenuto necessario procedere alla determinazione dei Valori di Fondo dei soli parametri che presentano superamento.
In particolare, per ciò che concerne il parametro Vanadio la CSC di riferimento resta quella di cui al limite fissato dal Decreto Legislativo n. 152/06 per i suoli ad uso residenziale e/o ricreativo; nella determinazione dei Valori di Fondo Naturale di Stagno e Berillio, invece, si sono riscontrate differenze statisticamente significative tra i valori di suolo nello strato superficiale, composto da riporto, e quello profondo, essenzialmente costituito da sabbie miste a pomici; ciò ha evidenziato la necessità di stabilire, per ciascun Metallo in esame, due Valori di Fondo, riportati nella seguente tabella: l'uno relativo al terreno di riporto (RIP) e l'altro alle sabbie miste a pomici (SP) [5].

	Be	Sn
RIP	6	5
SP	7	3

Tab. 1 – *Valori di Fondo del Berillio e dello Stagno nel terreo di riporto (RIP) e nelle sabbie miste a pomici (SP) [5]*

2.4 Il nuovo Accordo di Programma
Nel 2022 il Ministero della Transizione Ecologica, Regione Campania, Città Metropolitana di Napoli, Comune di Napoli e Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale hanno siglato il Nuovo Accordo di Programma per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese nel Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale".
Il nuovo Accordo di Programma prevede:
– messa in sicurezza e bonifica delle acque di falda;
– bonifica dei suoli delle aree pubbliche nonché delle aree private, in sostituzione e in danno dei soggetti responsabili inadempienti;
– bonifica degli arenili e dei sedimenti delle acque marino costiere.
Le risorse finanziarie destinate alla realizzazione degli interventi ammontano a complessivi € 35.305.000,00, di cui:
– € 8.541.579,77 a valere sulle risorse del Programma Nazionale di Bonifica, ex D.M. n. 468/01;
– € 1.087.216,70 a valere sulle risorse del Fondo Unico Investimenti;
– € 25.676.203,53 a valere sulle risorse derivanti dalle transazioni.
Di seguito si riportano i 13 interventi previsti con i relativi fondi stanziati:
– Messa in sicurezza di emergenza e bonifica della falda del S.I.N. "Napoli Orientale" e realizzazione prima fase attuativa € 10.000,000,00;
– Caratterizzazione dei fondali del Porto di Napoli € 4.200.000,00;
– Approfondimento, riguardo alla matrice suolo, dell'analisi di rischio di 9 aree pubbliche (Agenzia del demanio; Area abbandonata in via Galileo Ferraris; Capannoni industriali in via Murelle a Pazzigno; Capannoni industriali in via Pazzigno; Ex area industriale Cirio Eurolat; Impianto di depurazione di San Giovanni a Teduccio; Ufficio provinciale di Napoli (MCTC); Officina Comunale Brin; Via Pazzigno/Ponte dei Francesi (Officine e Depositi); Aree residenziali sociali ed agricole) € 60.000,00;
– Bonifica del sito Impianto di depurazione di San Giovanni a Teduccio codice 3046N258 € 1.000.000,00;

– Indagini preliminari ed eventuale successiva caratterizzazione dei 283 siti, tra aree dismesse ed aree private, per i quali non è stata attivata alcuna procedura di caratterizzazione € 3.700.000,00;
– Messa in sicurezza di emergenza e bonifica della falda del S.I.N. "Napoli Orientale" e realizzazione della seconda e terza fase attuativa € 15.000.000,00;
– Esecuzione del Piano di Caratterizzazione sito ex Corradini codice PRB 3049N279 € 410.000,00
– Esecuzione AdR sito Impianto di depurazione di Napoli Est codice PRB 3049N292 € 50.000,00
– Aggiornamento/redazione ed esecuzione Piano Indagini Preliminari sito Deposito ANM "Stella Polare" codice PRB 3049N259 € 70.000,00;
– Verifica PdC ed eventuale aggiornamento alla luce della vigente normativa, redazione del PdB sito Area Retrostante Arenile di San Giovanni codice PRB 3049N288 € 165.000,00;
– Verifica bonifica in corso, eventuale aggiornamento della caratterizzazione/bonifica alla luce della normativa vigente sito Arenile San Giovanni codice PRB 3049N493 € 550.000,00;
– Verifica monitoraggio del soil gas in ambienti indoor sito ex I.C.M. codice PRB 3049N273 € 50.000,00;
– Predisposizione ed esecuzione Piano Indagini Preliminari sito Deposito A.S.I.A. codice PRB 3049N318 [6] [7].

3. Conclusioni

Dal 2023 sono numerose le attività di caratterizzazione e messa in sicurezza/bonifica già poste in essere da soggetti privati e pubblici.
Nel marzo 2023 la Greenthesis S.p.A., quale capogruppo mandataria con una quota pari al 49% del Raggruppamento Temporaneo di Imprese composto anche da Eni Rewind S.p.A. e Sirai S.r.l. in qualità di società mandanti, ha sottoscritto il contratto con Kuwait Raffinazione e Chimica S.p.A. ("KRC") avente ad oggetto l'esecuzione di tutti i servizi, lavori e forniture per la realizzazione degli interventi di bonifica dei suoli nelle aree non operative dello Stabilimento Kuwait di Napoli, Ex-Lotto 1 (area ex-chimica) e Ex Lotto-2 (area ex-raffineria), e nell'area esterna adiacente di Via Del Pezzo, in continuità alle attività di bonifica già da tempo sviluppate da KRC. L'importo totale dei lavori ammonta a circa 100 milioni di Euro e la durata dei medesimi è stata quantificata in 49 mesi decorrenti dalla sottoscrizione del contratto. L'intervento interesserà un'area di notevole rilevanza e sarà eseguito con il ricorso a tecnologie di bonifica avanzate, privilegiando il trattamento on site dei terreni contaminati ed il loro recupero dopo il trattamento.
Il 20 dicembre 2023 è stata firmata una Convenzione tra il Comune di Napoli e la Sogesid S.p.A. che disciplina sotto il profilo procedurale, amministrativo e finanziario, le modalità di esecuzione delle attività previste nell'Accordo di Programma. Con la firma della Convenzione si apre l'importante fase attuativa della messa in sicurezza di emergenza e bonifica della falda del sito di "Napoli Orientale" a valere sui fondi disciplinati dal nuovo Accordo di Programma sottoscritto nel 2022. L'importanza del ruolo affidato alla Sogesid S.p.A. che attraverso le proprie competenze multidisciplinari ed expertise settoriale maturata anche con riferimento alle peculiarità del sito specifico, consente di assicurare l'intera filiera dei servizi, dalla progettazione all'affidamento e realizzazione degli interventi programmati.
La bonifica di un'area estremamente estesa come quella di Napoli Est è certamente complessa, tenendo conto anche della carenza di organico che attanaglia gli Enti Pubblici coinvolti. È auspicabile, tenendo conto anche della tangibile disponibilità di ingenti risorse finanziarie, che il cronoprogramma venga rispettato attuando la bonifica del sito e la riqualificazione urbanistica dell'area in pochi anni.

Bibliografia

[1] **Marinella V.** (2010). *L'impatto dell'industria nel distretto di Napoli*.

[2] **Direzione Generale per il Risanamento ambientale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare** (2023). *Stato delle procedure per la bonifica dei Siti di Interesse Nazionale (S.I.N)*. Roma.

[3] **Trapani P.** (2023). *Dicembre 1985, quasi 40 anni fa la tragedia del deposito Agip a Napoli*, su La Notizia in comune.

[4] **Mosca D.** (2010). *Caso studio: la bonifica dei fondali di San Giovanni a Teduccio (S.I.N. "Napoli Orientale")*.

[5] **Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Campania** (2009). *Relazione Tecnico Descrittiva Progetto per la determinazione dei Valori di Fondo nei terreni S.I.N. "Napoli Orientale"*.

[6] **Ministero della Transizione Ecologica, Regione Campania, Città Metropolitana di Napoli, Comune di Napoli, Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale** (2022). *Nuovo Accordo di Programma per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese nel Sito di Interesse Nazionale "Napoli Orientale"*.

[7] **Direzione Generale per la Difesa del Suolo e l'Ecosistema della Regione Campania, ARPA Campania, Direzione Generale per il Ciclo Integrato delle Acque e dei Rifiuti, Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali della Regione Campania** (2023). *Piano Regionale di Bonifica della Campania*.

Visualizzazione avanzata dei dati ambientali e geologici con *Earth Volumetric Studio* (*EVS*) per una gestione sostenibile dei siti contaminati

Cecilia Crugnola cecilia.crugnola2@arcadis.com, Cesare De Bernardi,
Arcadis Italia, Via Monte Rosa, 93 – Milano

Riassunto
Con il progredire delle tecnologie informatiche, la rappresentazione dei dati ambientali e geologici è diventata sempre più realistica e accessibile, consentendo di approfondire la comprensione dei processi che regolano la dinamica dei contaminanti. L'integrazione di informazioni tecniche con rappresentazioni grafiche chiare e intuitive rende concetti complessi più accessibili anche a un pubblico non specializzato, facilitando la divulgazione scientifica e la comunicazione dei risultati di studi e ricerche. Inoltre, una visualizzazione accurata e realistica dei dati ambientali e geologici è fondamentale per supportare decisioni informate e sviluppare efficaci strategie di bonifica dei siti contaminati.

Summary
With the progression of information technology, the representation of environmental and geological data has become increasingly realistic and accessible, allowing for a deeper understanding of the processes that govern the dynamics of contaminants. Integrating technical information with clear and intuitive graphical representations makes complex concepts more accessible even to a non-specialized audience, facilitating scientific dissemination and communication of study and research results. Furthermore, accurate and realistic visualization of environmental and geological data is essential to support informed decision-making and develop effective strategies for the remediation of contaminated sites.

1. Introduzione

In ambito tecnico le informazioni sono per lo più fornite in modo quantitativo, prediligendo l'uso di tabelle, grafici e figure che si focalizzano su degli aspetti singoli quali livelli idrici o concertazioni di contaminanti. Questo tipo di approccio può rendere meno immediata la comprensione del quadro di insieme della situazione investigata. Però, è fondamentale fornire informazioni in modo esauriente e chiaro, poiché la mancanza di chiarezza può generar sospetto e rendere difficile la comprensione.
Di conseguenza, se non si capiscono appieno le informazioni può non essere percepita l'utilità di ciò che viene comunicato, rischiando di considerarlo superfluo o addirittura non affidabile. Per presentare in modo chiaro e conciso le informazioni tecniche, è utile accompagnare le descrizioni quantitative con descrizioni qualitative. Le descrizioni quantitative forniscono dati e numeri precisi, mentre le descrizioni qualitative aggiungono dettagli che coinvolgono i sensi e

facilitano la comprensione. Questo approccio bilanciato garantisce una visione completa e più accessibile di concetti complessi, rendendo l'informazione tecnica più efficace e comprensibile per tutti i destinatari indipendentemente dall'estrazione e/o formazione. Ad esempio, una mappa topografica fornisce tutte le informazioni necessarie a comprendere l'andamento del terreno (altitudine, pendenza...) ma potrebbe essere di non immediata lettura o potrebbe non fornire un impatto visivo come quello dato da una figura con meno informazioni quantitative, ma più vicina alla nostra esperienza sensoriale quotidiana.
Le immagini riportate in **Figura 1** forniscono un esempio dell'approccio sopra delineato rappresentando lo stesso rilievo montuoso sia in modo quantitativo indicando l'andamento delle isoipse che qualitativo fornendo una rappresentazione tridimensionale dei pendii e altri particolari quali la fauna locale.

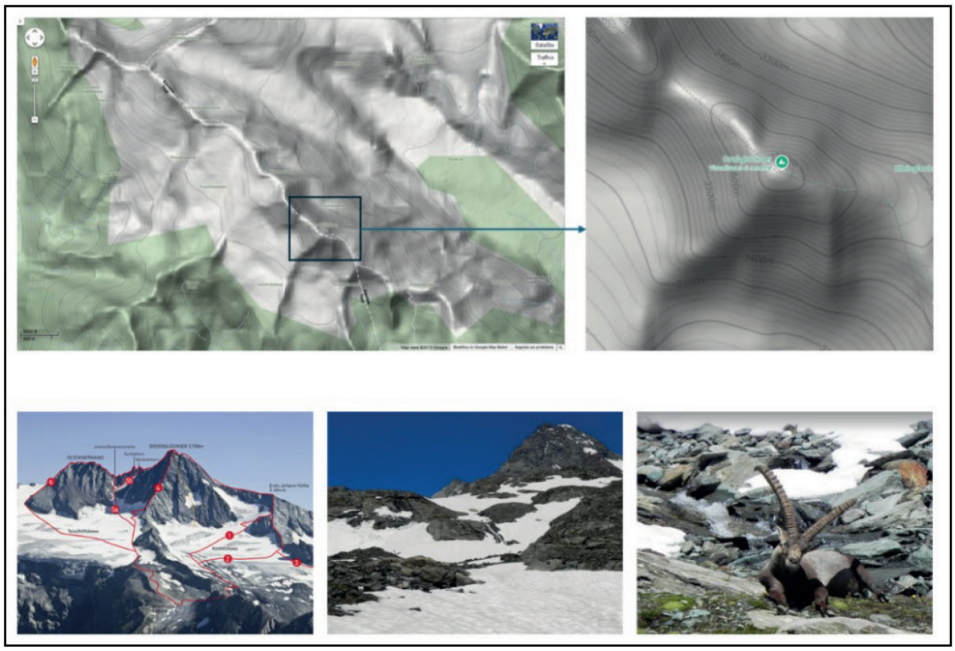


Fig. 1 – *Descrizione quantitativa e qualitativa delle caratteristiche di un rilievo montuoso*

2. Earth Volumetric Studio (EVS)

Ad oggi sono disponibili degli strumenti che permettono l'integrazione dei due tipi di rappresentazione fornendo elaborati di facile interpretazione che possono allo stesso tempo veicolare un gran numero di informazioni di tipo quantitativo. Tra i diversi strumenti introdotti in questo contesto, i maggiormente diffusi sono *Rockworks* (*RockWare Inc.*), *Leapfrog* (*Seequent*) e, appunto, *Earth Volumetric Studio* (*EVS*), sviluppato da *C Tech Development Corporation*. Ultimamente sono state implementate delle opzioni 3D anche in Surfer (Golden Sofware), che non sono, però, ancora confrontabili con le capacità dei programmi precedenti. Inoltre, in accordo con il veloce sviluppo delle applicazioni basate su *Python*, è stato introdotto il software *open-source GemPy* basato su librerie *Python* per la modellazione geologica tridimensionale e visualizzazione [1]. Arcadis, pur utilizzando diversi tra gli strumenti citati, tende a privilegiare *EVS* poiché si distingue come uno dei più completi e versatili. Questo software è specializzato nella gestione e visualizzazione di dati geologici e ambientali, inclusa l'analisi delle contaminazioni del suolo e delle acque sotterranee. *EVS* consente di importare e integrare dati da varie

fonti, come misurazioni in situ e dati provenienti da sensori, offrendo la possibilità di lavorare con dati topografici, sismici e stratigrafici. I dati importati vengono interpolati per generare modelli geologici 3D realistici e coerenti con le informazioni stratigrafiche, consentendo una visualizzazione dettagliata della distribuzione spaziale delle unità geologiche e l'elaborazione di diversi formati, come mappe 2D e sezioni trasversali. Per la gestione dei dati di contaminazione, *EVS* adotta un approccio simile a quello dei dati geologici, consentendo di definire aree di interesse e analizzare la distribuzione spaziale delle sostanze inquinanti. Il software agevola anche la creazione di report dettagliati e visualizzazioni interattive per comunicare in modo efficace i risultati ottenuti.
Un'opzione che risulta estremamente utile in diversi contesti è importare da diversi formati (o in alternativa realizzare direttamente all'interno dell'interfaccia grafica di *EVS*) manufatti di vario tipo come edifici e strutture interrate. Questa funzionalità, ad esempio nel settore dell'architettura e dell'ingegneria civile, consente di visualizzare in modo dettagliato progetti di costruzione, valutare l'aspetto estetico e funzionale degli edifici e verificare la compatibilità con l'ambiente circostante. Inoltre, permette di simulare scenari di costruzione e valutare potenziali impatti territoriali [1].
Nelle versioni più recenti di *EVS, Python* ha un ruolo fondamentale offrendo la flessibilità di adattare *EVS* alle esigenze specifiche degli utenti, potenziandone le capacità analitiche e visive. Tale integrazione consente di personalizzare i flussi di lavoro e automatizzare compiti attraverso lo *scripting*. Questo linguaggio di programmazione è utilizzato per estendere le funzionalità del software, creare strumenti personalizzati e manipolare i dati in modo avanzato. Grazie a *Python*, gli utenti possono integrare *EVS* con altri software, database esterni e API per favorire lo scambio efficiente di informazioni e migliorare la collaborazione tra diverse piattaforme. La **Figura 2** offre un esempio introduttivo delle potenzialità di EVS quali la capacità di integrare la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico con la distribuzione della contaminazione nel terreno. In particolare, per valutare lo stato del sottosuolo in relazione con le condizioni a piano campagna, in questo elaborato ci si è avvalsi della rappresentazione visiva tridimensionale dell'ambiente creata utilizzando la tecnologia *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*) che *EVS* permette di integrare al suo interno.

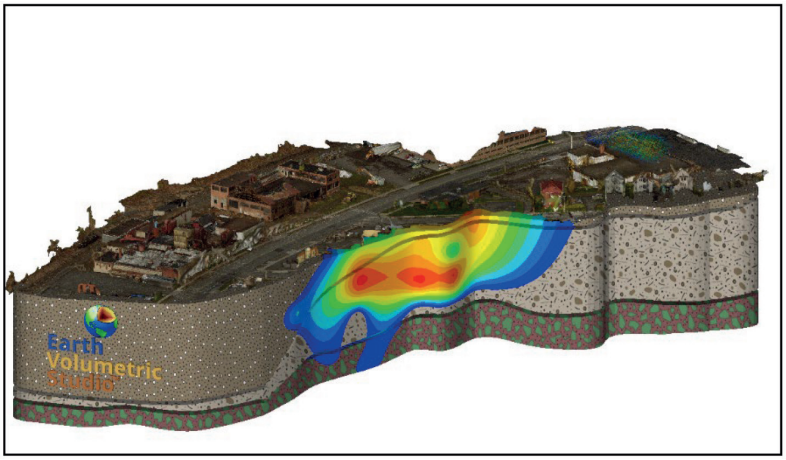


Fig. 2 – *Esempio introduttivo delle potenzialità di EVS* [1]

Di seguito è riportato un esempio scelto per illustrare le potenzialità dell'approccio considerato e, soprattutto, per indicare delle procedure utili per utilizzare al meglio strumenti come

EVS. Infatti, molte volte affidandosi alle impostazioni di *default* si può vanificare la grande utilità derivante dalle elaborazioni geostatistiche avanzate.
In esempio, sono affrontati elementi fondamentali, tra cui:
gestione, verifica e ottimizzazione dei dati, poiché l'utilizzo di un set di dati non appropriato può portare a varie conseguenze negative, come interpretazioni errate o modelli dal punto di vista computazionale troppo pesanti e difficili da gestire;
identificazione degli obiettivi e definizione di quale aspetto si desidera esaminare, misurare e rappresentare visivamente. Questo passaggio iniziale riveste una grande importanza per garantire il successo e l'efficacia delle successive fasi del progetto;
idonea discretizzazione della griglia sulla quale vengono interpolati i dati. Una discretizzazione troppo grossolana implica la non corretta rappresentazione dei dati, mentre una discretizzazione troppo spinta richiede lunghi tempi di elaborazione.

3. Ottimizzazione dei dati forniti dalla tecnologia MIP

Per ottenere un maggior approfondimento dello stato ambientale dei siti contaminati è possibile ricorrere a delle indagini condotte con la tecnologia MIP (Membrane Interface Probe). In **Figura 3** è riportato un esempio della visualizzazione con *EVS* delle rilevazioni di VOC fornite con questa tecnologia lungo una serie di perforazioni. Dalla figura si vede anche che, grazie ad un semplice *script* in *Python,* è possibile visualizzare di fianco ad ogni perforazione il relativo *Log* (profilo verticale).

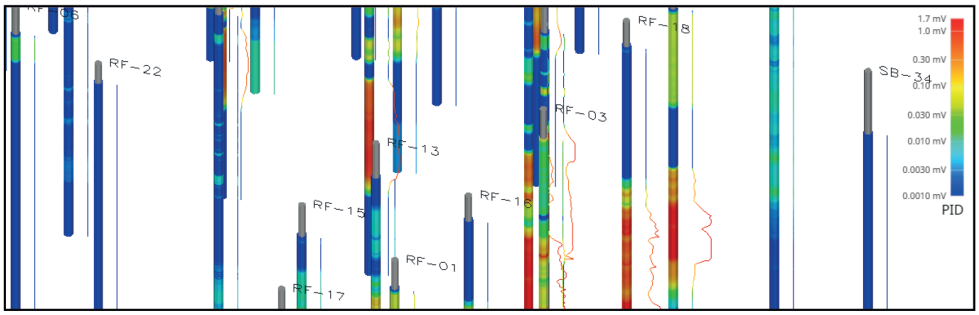


Fig. 3 – *Visualizzazione dei dati e relativo Log*

Questo è il classico caso in cui sono acquisiti un gran numero di dati che, distanziati anche di pochi cm, possono eccedere il centinaio di rilevazioni per singola perforazione.
La percezione comune è che includere tutte le informazioni acquisite sia la procedura preferibile, ma non sempre questa è la strategia migliore. Infatti, se non opportunamente ridotto, il gran numero di dati lungo le singole perforazioni influenza negativamente l'interpolazione tra i dati di una perforazione e l'altra fornendo un risultato a blocchi poco plausibile dal punto di vista fisico. Ad esempio, il metodo di interpolazione *Kriging* per stimare i valori di un parametro in corrispondenza dei singoli nodi della griglia usa le *n* osservazioni più vicine ad ogni nodo con il rischio che quegli *n* dati di *input* vengano da una sola perforazione. Si può ovviare a questo limite aumentando il numero *n* di dati usati nell'interpolazione e/o il numero di nodi della griglia, ma oltre un certo limite la procedura diventa insostenibile dal punto di vista computazionale[2].
A questo proposito EVS fornisce uno strumento denominato *Data Reducing Tool* che permette di rimuovere elementi di ridondanza dall'insieme di dati senza avere impatti negativi sulla qualità e accuratezza dell'elaborato finale. Infatti, tale strumento mantiene i dati analitici

originali dove si hanno forti variazioni sulla verticale e li riduce in zone dove le variazioni sono trascurabili (**Figura 4**).

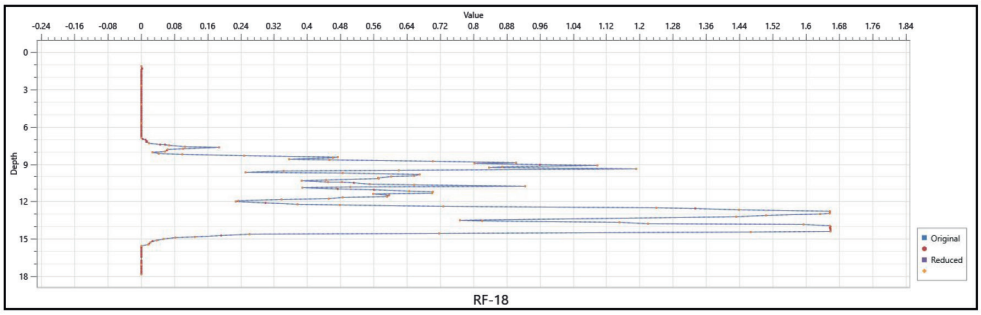


Fig. 4 – *Confronto fra i set di dati originali e quello ridotto*

La possibilità di ridurre il numero di dati senza perdere informazioni permette di condurre con un impegno computazionale accettabile un'interpolazione su una griglia sufficientemente discretizzata da compensare la grande differenza di densità di dati sull'asse Z rispetto alla direzione orizzontale. La differenza tra i risultati ottenibili tra un dataset originale e uno ridotto è riportata in **Figura 5**.

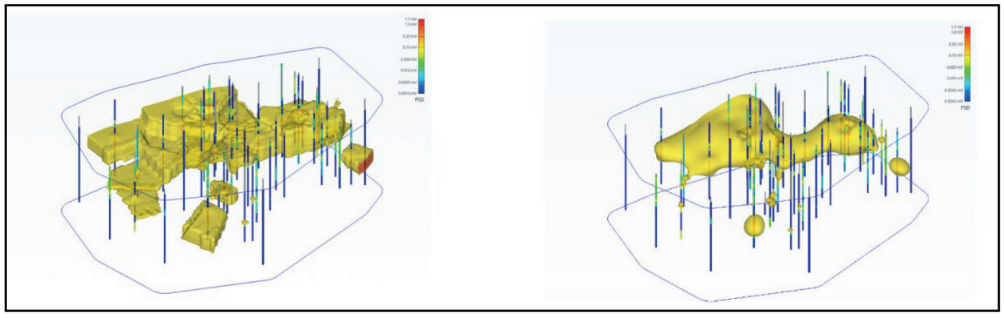


Fig. 5 – *Confronto fra la ricostruzione 3D con set di dati originali e set ridotto [1]*

Come sopra illustrato, utilizzare tutti i dati senza una previa razionalizzazione e senza adattare le impostazioni del programma al caso in esame porta a conclusioni ben distanti dall'ottimale. Poiché non sempre i risultati rendono evidente, come in questo caso, la scarsa rappresentatività dell'elaborazione fornita dal programma, è importante saper gestire i dati e il processo di interpolazione in modo adeguato.
Lo stesso tipo di approccio deve essere applicato anche nell'ambito della ricostruzione dei modelli geologici. In funzione dell'obiettivo individuato, bisogna gestire i dati in accordo con gli strati da prendere in considerazione.
Ad esempio, se il modello 3D è costruito a supporto di uno studio di modellazione del flusso sotterraneo, è consigliato focalizzarsi sulle unità idrostratigrafiche piuttosto che procedere con la ricostruzione di tutte le singole lenti individuate durante la fase di perforazione, a condizione che queste ultime non influenzino significativamente lo studio del flusso sotterraneo.

4. Conclusioni

Per presentare in modo chiaro e conciso le informazioni tecniche, è utile accompagnare le descrizioni quantitative con descrizioni qualitative. In tale contesto Arcadis ha promosso a livello internazionale la formazione di un team tecnico specializzato nella gestione e visualizzazione dei dati acquisiti durante la gestione dei progetti condotti nei vari ambiti in cui si trova ad operare.

Tra i diversi strumenti utilizzati da Arcadis a tale scopo, *Earth Volumetric Studio* (*EVS*), sviluppato da *C Tech Development Corporation*, si distingue come uno dei più completi e versatili. Questo strumento permette di elaborare in modo efficiente dati 3D complessi, facilitando la modellazione e la visualizzazione di informazioni cruciali per la valutazione ambientale.

Grazie a questo software e alle competenze acquisite nel corso del tempo, Arcadis ha accresciuto la sua capacità di sviluppare soluzioni innovative ed efficaci per la gestione ambientale sostenibile e la tutela del territorio.

Bibliografia

[1] Earth Volumetric Studio Help System, 1994-2024 ctech.com

[2] P. K. Kitanidis, 1997, Introduction To Geostatistics: Applications to Hydrogeology, Cambridge University Press

Nuovo disoleatore Discoil "designed for longevity"

Laura Badalucco, laurabada@iuav.it, Rosa Chiesa (Università Iuav di Venezia, Venezia) – Roberto Bertolin, Lorenzo Grivellaro, Elisa Marchetto (OCS – Officine Costruzioni Speciali S.p.A., Albignasego) – Giorgio Gaino, Chiara Silvestri (Synthesis design, Este)

Riassunto
Il contributo presenta l'iter e gli esiti di un'attività di ricerca applicata, finanziata su bando competitivo e svolta nel 2022-23, volta alla riprogettazione di un sistema a basso impatto ambientale per il recupero di oli e idrocarburi. Il gruppo di lavoro, formato da un team interdisciplinare dell'azienda OCS, da docenti di design dell'Università Iuav di Venezia e da designer professionisti ha portato all'analisi, valutazione e riprogettazione in ottica di Ecodesign del disoleatore Discoil, un macchinario per la separazione degli idrocarburi dall'acqua in impianti industriali o in caso di sversamento in acque libere, senza l'utilizzo di sostanze chimiche o di materiali assorbenti. La sperimentazione applicativa delle strategie di Ecodesign e Circular Design ha permesso di accrescere i livelli di circolarità del macchinario secondo le logiche di durabilità, manutenibilità, aggiornamento, personalizzazione, flessibilità d'uso e semplicità nell'assemblaggio e nel disassemblaggio.

Summary
The contribution presents an applied research activity, funded on a competitive call and carried out in 2022-23, for the redesign of a low environmental impact system for the recovery of oils and hydrocarbons. The work group, made up of an interdisciplinary team from the company OCS, design professors from the Iuav University of Venice and professional designers, led to the analysis, evaluation and redesign from an Ecodesign perspective of the Discoil oil separator, a machine for separating hydrocarbons from water in industrial plants or in the case of spills in open water, without the use of chemicals or absorbent materials. The application experimentation of the Ecodesign and Circular Design strategies allowed the machinery's circularity levels to be increased according to the logics of durability, maintainability, upgradeability, customisation, flexibility of use and simplicity in assembly and disassembly.

1. Introduzione

Il recupero di oli e idrocarburi in aree soggette al rischio di inquinamento come impianti industriali, raffinerie, porti o in acque libere ha portato, negli anni, alla realizzazione di diversi sistemi che utilizzano soluzioni di tipo chimico o meccanico, che non sempre possiedono, nella loro struttura, forma e composizione, un livello di attenzione alla sostenibilità ambientale congruo con la funzione cui sono preposti.
Nel 1970 l'ingegnere Giancarlo Ravagnan, fondatore dell'azienda OCS – Officine Costruzioni Speciali di Albignasego (PD), inventa e produce, invece, un disoleatore compatto "a basso impatto ambientale" (**Fig. 1**), un macchinario adatto a risolvere il problema della separazione dell'acqua dagli idrocarburi in impianti industriali o in caso di sversamento in acque libere senza l'utilizzo di sostanze chimiche o di materiali assorbenti. Il prodotto *Discoil,* ancora in

produzione, utilizza un sistema idraulico e dischi in acciaio inossidabile appositamente progettati per recuperare in modo efficace tutto l'olio presente su una superficie d'acqua senza creare emulsioni: il 98% di olio con solo il 2% di acqua. Questa caratteristica permette alle sostanze prelevate di essere facilmente e velocemente reimmesse nel ciclo produttivo o riutilizzate in altro modo.
L'applicazione più frequente è la separazione e il recupero degli idrocarburi (benzina, gasolio, oli combustibili, oli lubrificanti, petrolio greggio, ecc.) e delle sostanze grasse in genere (grassi animali e vegetali, ecc.) dall'acqua. Il principio di funzionamento si basa sull'adesione dell'olio alle superfici di dischi che realizzati in acciaio inossidabile, opportunamente trattato, sono disposti perpendicolarmente e parzialmente immersi nell'acqua da trattare, mentre sono mantenuti in rotazione sul proprio asse orizzontale. Grazie a questa adesione e coesione, vengono recuperati i prodotti oleosi allo stato naturale a notevole distanza dalla macchina, anche nelle zone classificate (zone Atex).



Fig. 1 – *La struttura a dischi del disoleatore Discoil*

Oltre all'utilizzo in impianti industriali e raffinerie, nel corso degli anni *Discoil* è stato utilizzato in caso di sversamenti di idrocarburi in mare. Ha, infatti, operato in numerosi oil spill, solo per citare alcuni esempi, nel disastro "Haven" nel 1992, "Agip-Abruzzo", "Moby Prince" nel 1991 e in occasione di una collisione tra due navi nei pressi della Corsica nel 2018.
La sua funzione e le sue specificità lo caratterizzano, fin dalla sua prima produzione, come un prodotto naturalmente attento agli aspetti della sostenibilità ambientale. Ma come è possibile adeguare anche il prodotto e la sua progettazione alle specifiche di sostenibilità ambientale e, ancor più, agli aspetti di circolarità in modo da rendere prodotto e funzione totalmente coerenti?
Per adeguare il disoleatore alle istanze dell'economia circolare e alle richieste delle più recenti normative europee e, allo stesso tempo, per accrescere la competenza interna all'azienda sui temi della sostenibilità ambientale in modo che si avvii un processo di miglioramento continuativo, nel 2022 è stata impostata una ricerca-progetto in ottica rigenerativa, in collaborazione con un gruppo di ricerca formato da docenti di vari ambiti del design dell'Università Iuav di Venezia e da due designer professionisti, L'ipotesi di ricerca ha vinto un bando competitivo della Regione Veneto (DGR n. 497 del 20/04/2021) e l'attività è stata svolta da settembre 2022 a febbraio 2023.

2. Relazione

2.1 Obiettivi e approccio metodologico

L'obiettivo della ricerca era duplice: da un lato offrire un processo di upskilling interno all'azienda attraverso un approfondimento formativo sui temi dell'economia circolare e della comunicazione ambientale rivolto a un gruppo di dipendenti dell'azienda OCS con competenze trasversali e, dall'altro, applicare queste conoscenze attraverso processi di valorizzazione, attualizzazione e comunicazione di sistemi a basso impatto ambientale per il recupero di oli e idrocarburi, utilizzando come caso studio proprio il *Discoil*, prodotto ad alte prestazioni che, come accennato, aveva la necessità di essere valorizzato e attualizzato secondo le metodologie dell'Ecodesign e del Circular Design [1]. In base alla più recente definizione presente nell'*Ecodesign for Sustainable Products Regulation* (ESPR) per Ecodesign o "progettazione ecocompatibile" s'intende "l'integrazione di considerazioni di sostenibilità ambientale nelle caratteristiche del prodotto e nei processi che si svolgono nell'intera catena del valore del prodotto" (art.2 comma 6) [2]. Tale integrazione deve portare alla definizione di specifiche di progettazione ecocompatibile, ovvero a una serie di "prescrizioni relative alle prestazioni o alle informazioni volte a rendere il prodotto più sostenibile sul piano ambientale" (art. 2 comma 7) sempre però a parità di prestazioni. Obiettivo di questa impostazione progettuale è la riduzione degli impatti ambientali ovvero delle modifiche dell'ambiente (siano esse negative o positive) derivanti anche parzialmente dal prodotto tenendo conto di quanto avviene in tutte le fasi del suo ciclo di vita, dalla progettazione alla gestione della fine della sua prima vita utile e all'avvio alle sue nuove vite. Per meglio comprendere cosa s'intenda, è opportuno mettere a confronto i termini che sono maggiormente utilizzati quando si parla di rapporto tra prodotti e sostenibilità (**Tab. 1**). L'ambito dell'Ecodesign si inserisce, infatti, all'interno delle tematiche del design sostenibile e del Circular Design.

Design sostenibile	Ecodesign	Circular design
Si occupa di **ridurre** il più possibile gli impatti delle produzioni e l'esaurimento delle risorse naturali **lungo tutto il ciclo di vita del prodotto** secondo **le tre direzioni**: • ambientale • economica • sociale	Si occupa di **ridurre** gli **impatti ambientali** del prodotto in ogni fase del suo ciclo di vita. Si basa sull'analisi del ciclo di vita (**LCA** che misura gli impatti per ogni fase del ciclo di vita) e sui dati ad essa collegati. Le strategie di progetto più utilizzate sono: • modularità, • disassemblaggio, • dematerializzazione, • riciclo, • longevità.	Si occupa di progettare oggetti o servizi che **allunghino la vita dei prodotti in modo che siano mantenuti in uso il più a lungo possibile**. L'obiettivo è creare un ciclo chiuso nel quale tutto può essere condiviso, rigenerato, riparato, riutilizzato e, infine, riciclato. Implica un cambiamento nei modelli di business che **privilegino l'utilizzo e il servizio al possesso dei beni**. Si passa dalla valutazione dell'impatto del ciclo di vita del prodotto all'**efficienza nell'utilizzo delle risorse nel tempo**.

Tab. 1 – *Differenza tra design sostenibile, Ecodesign e Circular Design*

Oltre alle indicazioni della ESPR e rispetto agli ambiti del Circular Design, sono state poi utilizzate sia la matrice dello schema a farfalla della Ellen MacArthur Foundation [3], sia la

"ruota delle 30 strategie" (**Fig. 2**), derivata dalle ricerche su questo tema svolte all'interno dell'Università Iuav di Venezia negli anni precedenti [4]. All'interno della ruota del Circular Design, le strategie analizzate più in dettaglio e utilizzate in questo caso specifico sono state quelle degli ambiti "allungamento della vita utile" (*design for longevity*, fulcro della ricerca), "materia" e "flussi di ritorno".

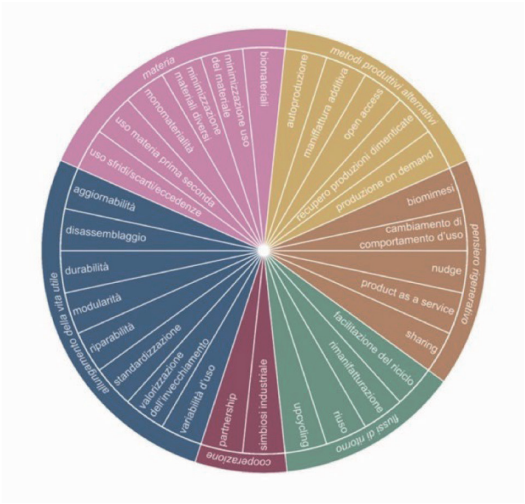


Fig. 2 – *La ruota delle 30 strategie del Circular Design [4]*

Per lo sviluppo delle attività si è costituito un gruppo di lavoro composto da:
– un team di sei persone con differenti mansioni e competenze interdisciplinari nelle aree ricerca e sviluppo, direzionale, commerciale e marketing, ufficio tecnico, ufficio qualità dell'azienda OCS, società specializzata nella produzione di apparecchiature in pressione per il settore Oil & Gas e di tecnologie per il recupero di oli / idrocarburi galleggianti, finalizzati al trattamento delle acque;
– tre docenti dell'Università Iuav di Venezia con competenze specifiche in design del prodotto (con particolare attenzione ai temi dell'Ecodesign e del design per l'economia circolare) e design della comunicazione;
– due designer esterni, dello studio Synthesis design, esperti in progettazione di prodotti industriali e in digitalizzazione e renderizzazione dei progetti.

2.2 Fasi della ricerca
L'attività è stata svolta nell'arco di sei mesi a cavallo tra il secondo semestre del 2022 e i primi mesi del 2023 ed è stata suddivisa in 5 azioni (**Tab. 2**).
La prima azione (mesi 1-2) era funzionale ad aggiornare e riqualificare le competenze interne all'azienda in ambito di sostenibilità ambientale, economica e sociale, di economia circolare e di comunicazione ambientale (tema, quest'ultimo, non trattato nel presente articolo) particolarmente orientata al tema del rischio di greewashing e al greenhushing. Una particolare attenzione è stata data alla formazione sulle strategie proprie dell'Ecodesign e del Circular Design.
La seconda azione (mesi 2-3) si è concentrata sulla definizione e approfondimento del caso studio scelto (il disoleatore) con l'intenzione di valutare e comprendere il contributo che può essere offerto dall'azienda e, in particolare, dal prodotto alla transizione verso un'economia circolare e rigenerativa e ai 17 Sustainable Goals delle Nazioni Unite.

Il terzo intervento di project work (mesi 3-5) è stato dedicato all'analisi e scomposizione del prodotto originario (progetti, variabili, dimensionamento, materiali e funzionamento) con l'obiettivo di un'analisi e rivalutazione in ottica di Ecodesign e Circular Design. Per supportare il processo, si è provveduto anche a supportare il team aziendale nella digitalizzazione dei disegni tecnici del prodotto, rendendo le informazioni tecniche fruibili e condivise a tutta l'organizzazione. L'analisi delle informazioni ha permesso di disporre dei dati necessari all'intervento nelle fasi di project work successive.
La quarta azione (mesi 4-5) è stata dedicata alla definizione delle linee guida del nuovo prodotto o prodotto/servizio per rendere disponibile un primo strumento a supporto delle nuove competenze acquisite e distintive, tool utile a portare un vantaggio competitivo duraturo e stabile in un settore altamente concorrenziale. Le linee guida sono funzionali allo sviluppo e all'attuazione dei possibili interventi di miglioramento, di riconfigurazione, di sostituzione dei materiali o degli spessori e del ripensamento complessivo del design del prodotto in ottica circolare.
Il quinto ed ultimo intervento (mesi 5-6) è stato dedicato all'analisi di dettaglio dei singoli interventi di innovazione di prodotto relativi al *Discoil* con applicazione particolareggiata delle soluzioni ambientalmente preferibili nelle matematiche relative alle superfici dell'oggetto.

Cronoprogramma	mese 1	mese 2	mese 3	mese 4	mese 5	mese 6
Upskill sui temi della sostenibilità e dell'economia circolare						
Analisi del caso studio in ottica rigenerativa						
Studio delle caratteristiche del disoleatore e rivalutazione in ottica di Ecodesign						
Linee guida per il nuovo prodotto o prodotto/servizio						
Analisi dettaglio interventi di Circular Design						

Tab. 2 – *Cronoprogramma della ricerca*

2.3 Risultati ottenuti
L'attività di ricerca applicata ha portato a due sostanziali risultati:
l'accrescimento della sensibilità aziendale sui temi della sostenibilità e dell'economia circolare sui tre livelli: produzione, vita in azienda, prodotto;
l'applicazione delle competenze acquisite per la riprogettazione di uno specifico prodotto dell'azienda, utilizzato come caso di studio.
Per quanto riguarda il tema dell'upskilling e della sensibilità ambientale in azienda, è stata realizzata una matrice di analisi e di riflessione sui possibili miglioramenti, partendo dalle questioni ambientali di base e sviluppando il percorso su tre livelli:
la sostenibilità a livello di impianti produttivi (edifici, attrezzature, forniture);
– la sostenibilità nella vita d'azienda (compreso il servizio mensa, i trasporti, ecc.);
– la sostenibilità del prodotto *Discoil* (elementi di miglioramento del prodotto o della sua produzione, fornitori, certificazioni, vendita e manutenzione).
Ogni componente del team ha individuato almeno 5 azioni per ogni tematica che sono state poi oggetto di analisi, organizzazione in priorità e disseminazione presso il personale dell'azienda in modo da contribuire alla definizione di una precisa strategia aziendale per la sostenibilità (sociale, ambientale, economica, di governance) e per l'accrescimento della sensibilità

e consapevolezza ambientale in tutti i settori dell'azienda. L'applicazione a uno specifico caso aziendale è risultata poi determinante in quanto, ponendo come focus del percorso un prodotto sul mercato da diverse decine di anni, la customizzazione dei singoli interventi di action research è stata significativa ed è stato possibile creare e radicare le competenze con una verifica diretta del livello di upskiling raggiunto.
Il secondo risultato è stata la riprogettazione del disoleatore in ottica di circolarità, con uno specifico focus sugli aspetti di: minimizzazione, longevità e modularità (**Fig. 3**).

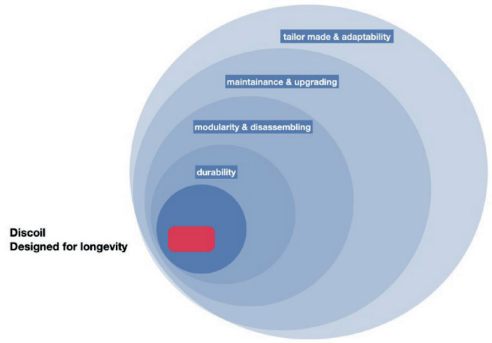


Fig. 3 – *L'applicazione delle strategie del Circular Design al prodotto Discoil*

Per quanto riguarda l'applicazione progettuale nel caso studio, sono state ipotizzate due linee d'intervento. La prima ha previsto il redesign delle scocche per accrescere la facilità di identificazione del parco macchine, ridurre le componenti facilitando così la manutenzione e, assieme, comunicando la semplicità del sistema e l'identità del prodotto. Lo studio della forma con l'ausilio della modellazione 3D ha permesso, inoltre, di ridurre gli spessori della cover della macchina, mantenendo i materiali in uso (necessari per la zona Atex 0) sfruttando la resistenza per forma (**Fig. 4**).

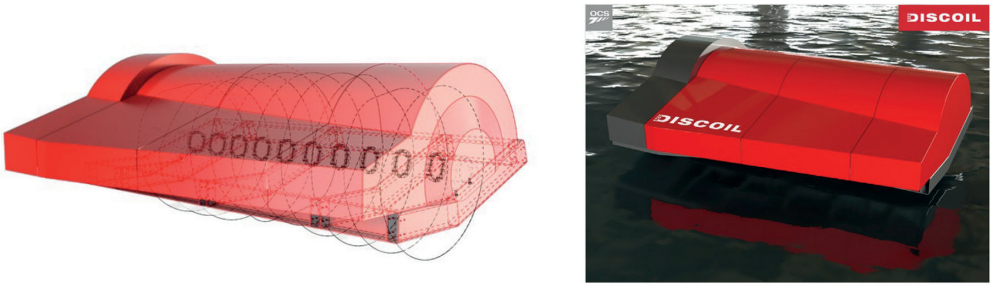


Fig. 4 – *La forma del nuovo disoleatore riduce i materiali utilizzati nella scocca e rende esplicito il funzionamento del prodotto.*

La seconda azione ha permesso di elaborare un intervento architettonico/strutturale volto a ripensare il prodotto in ottica modulare (**Fig. 5**). In questo modo la nuova soluzione ha consentito di valorizzare alcune delle caratteristiche di sostenibilità già presenti nel prodotto esistente e di accrescerne i livelli di circolarità secondo le strategie della durabilità; tra queste la facilità di manutenzione ordinaria e straordinaria (compreso il cambio dei componenti in

situ o con rientro in azienda), la possibilità di aggiornamento, la più veloce personalizzazione (già elemento cardine del prodotto) in fase di produzione e la flessibilità d'uso, la semplicità nell'assemblaggio e nel disassemblaggio. L'uso quasi esclusivo di materiali come l'acciaio e l'alluminio ne rendono già oggi chiaro il fine vita.
Inoltre, la struttura così pensata permette diverse configurazioni secondo due tipi di impianto: simmetrico (con motore centrale) e asimmetrico (con motore laterale).
L'intervento di riprogettazione ha permesso, dunque, di ridurre le componenti e gli spessori delle scocche grazie allo studio e alla verifica della resistenza per forma (mantenendo i materiali in uso necessari per la zona Atex 0) e ha permesso di ripensare il prodotto in ottica modulare. La nuova soluzione consente di valorizzare alcune caratteristiche già presenti nel prodotto esistente e di accrescerne i livelli di circolarità secondo le strategie di durabilità quali la facilità di manutenzione ordinaria e straordinaria (compreso il cambio dei componenti in situ o con rientro in azienda), la possibilità di aggiornamento, la più veloce personalizzazione (già elemento cardine del prodotto) in fase di produzione e la flessibilità d'uso, la semplicità nell'assemblaggio e nel disassemblaggio.



Fig. 5 – *La rielaborazione progettuale del prodotto in ottica di modularità per rendere più semplice la personalizzazione, l'assemblaggio, il disassemblaggio, la manutenzione e l'aggiornamento.*

3. Conclusioni

Le attività svolte si sono poste tre livelli di obiettivi:
sulle persone: il gruppo di dipendenti oggetto di azioni di riqualificazione delle competenze di un gruppo di dipendenti ha contestualmente raccolto anche il compito di disseminare la conoscenza acquisita all'interno dell'azienda,
sull'azienda: avviando una riflessione su una strategia complessiva di sostenibilità che accresca sensibilità e consapevolezza dei dipendenti e per l'individuazione delle prime azioni facilmente attuabili di questo percorso;
sul prodotto che, pur mantenendo la sua identità e il suo principio ispiratore, *Discoil* dimostra di poter acquistare più qualità dal punto di vista della preferibilità ambientale e maggiore longevità con riduzione dei costi di produzione (per diminuzione degli spessori e modularità) e con ricadute positive anche sulla movimentazione delle merci e sull'intera supply chain (sia nel caso dell'acquisto sia nel caso del noleggio).
Per quanto riguarda quest'ultimo punto, la ricerca si è limitata a livello del progetto e della valutazione preliminare per cui sarà necessario un ulteriore passo per arrivare alla produzione del nuovo disoleatore. La ricerca è riuscita però a dimostrare come sia possibile ripensare in ottica di circolarità un prodotto esistente combinando efficacemente sostenibilità ambientale ed economica e ha messo in luce maggiormente come il disoleatore abbia un duplice beneficio che si configura come elemento di notevole valore dal punto di vista ambientale: separando gli oli galleggianti dall'acqua il disoleatore rende l'acqua pulita (circolarità dell'elemento in-

quinato che viene reso salubre) e recupera gli idrocarburi che potrebbero così essere reinseriti nei processi produttivi (circolarità dell'elemento inquinante).

Bibliografia

[1] Franconi, A., L. Badalucco., D. Peck, & N. Nasr (2020). *A multi– hierarchical "Design for X" framework for accelerating circular economy*. Proceedings of the Conference: Product Lifetimes And The Environment, *3*. Berlin, Germany: Technical University of Berlin, pp. 257-266.
[2] Commissione Europea (2022), *Ecodesign for Sustainable Products Regulation,* COM(2022)/142
[3] https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram
[4] Badalucco, L., P. Fortuna (2023), *Circular Design Strategies*, in Officina n. 40-2023, pp. 64-73, Conegliano: Anteferma Edizioni

Il S.I.N. della ex miniera di amianto di Balangero e Corio (Torino): bonifica e prospettive di riqualificazione del sito

Gian Luigi Soldi (Città metropolitana di Torino); Elisa Liliana Pugliaro (RSA Srl); Antonio Ghione (RSA Srl); Giovanni Battista Poma (RSA Srl)
Balangero (TO), rsa@rsa-srl.it

Riassunto
La ex miniera di amianto (crisotilo) di Balangero e Corio (Città metropolitana di Torino), individuata tra i Siti di bonifica di Interesse Nazionale (S.I.N.) con Legge 9.12.1998 n. 426, comprende un territorio montuoso di superficie pari a circa 310 ettari, situato a 30 km a nord-ovest della città di Torino, all'interno del quale è presente un vasto complesso industriale ed estrattivo dismesso.
L'attività estrattiva passata, a seguito della coltivazione a gradoni di scavo in roccia dello spartiacque tra Balangero e Corio, ha comportato il riporto di oltre 45 milioni di m^3 di pietrisco di scarto della lavorazione, ad elevato contenuto amiantifero, nonché la produzione di circa 70.000 m^3 di fanghi contenenti amianto stoccati in bacini di sedimentazione lungo i corsi d'acqua.
La successiva attività di bonifica svolta nel corso degli anni ha portato a sostanziale compimento una prima fase, volta alla messa in sicurezza del sito, con particolare riferimento al rischio idrogeologico dei versanti, dei corsi d'acqua e delle discariche di materiali di scarto della miniera.
Sull'intera area e sugli stabilimenti sono stati pertanto realizzati interventi di contenimento delle situazioni di emergenza e più in generale si è strutturato un presidio di monitoraggio e controllo in grado di fornire dati finalizzati alla comprensione delle caratteristiche dinamiche delle condizioni di rischio, con particolare riferimento alla dispersione di amianto in aria ed alla stabilità degli ammassi di materiali di scarto dell'attività mineraria.
L'avanzamento della attività di bonifica all'interno del perimetro del S.I.N. permetterà di restituire a breve una superficie significativa dell'area interessata e pertanto consente di impostare interessanti prospettive di sviluppo produttivo, culturale e turistico legato alle tematiche ambientali, con particolare riferimento alla produzione di energia da fonti rinnovabili ed alla valorizzazione del patrimonio storico e paesaggistico.

Summary
The former asbestos (chrysotile) mine of Balangero and Corio (Metropolitan City of Turin), identified among the remediation Sites of National Interest (S.I.N.) with National Law 9.12.1998 n. 426, includes a mountain area with a surface of approximately 310 hectares, located 30 km north-west of the city of Turin, which includes a vast abandoned industrial and mining complex.
The past mining activity, following the stepped cultivation of the mine pit in the watershed between Balangero and Corio, involved the dumping of over 45 million m^3 of processed waste stone, with a high asbestos content, as well as the production of approximately 70,000 m^3 of sludge containing asbestos stored in sedimentation basins along watercourses.

The further remediation activity carried out over the years has substantially completed a first phase, aimed at making the site safe, with particular reference to the hydrogeological risk of the slopes, waterways and the dumps of tailings from the mine.
Interventions to contain emergency situations were therefore carried out across the entire area and on the mine production plant and, more generally, a monitoring and control unit was structured capable of providing data aimed at understanding the dynamic characteristics of risk conditions, with particular reference to the dispersion of asbestos in the air and the stability of the dumps of waste materials from mining activity.
The progress of the reclamation activity within the perimeter of the S.I.N. will allow a significant surface area of the affected area to be returned shortly and therefore allows for the setting up of interesting prospects for productive, cultural and tourism development linked to environmental issues, with particular reference to the production of energy from renewable sources and the valorization of the historical and landscape heritage.

Relazione

1. Introduzione
Nell'aprile del 1995 la Regione Piemonte ha affidato alla R.S.A. S.r.l. [1], società pubblica appositamente costituita per la bonifica ed il recupero ambientale del sito, l'incarico di effettuare gli studi, la progettazione e le attività necessarie per il risanamento ambientale del sito minerario dell'ex Amiantifera di Balangero e Corio (Città metropolitana di Torino), la miniera di amianto (crisotilo) più grande d'Europa
L'attività svolta dalla R.S.A. S.r.l., in questi anni ha portato a sostanziale compimento la prima fase di attività, volta alla messa in sicurezza del sito minerario, con particolare riferimento al rischio idrogeologico dei versanti, dei corsi d'acqua e delle "discariche lapidee" contenenti i *tailings* dell'attività mineraria, che presentavano evidenti problematiche di stabilità e di dispersione di fibre di amianto in atmosfera, con impatto sul territorio circostante.
Sono stati pertanto, in via prioritaria, realizzati interventi di contenimento delle situazioni di emergenza e più in generale si è strutturato un presidio di monitoraggio e controllo, in grado di fornire dati finalizzati alla comprensione delle caratteristiche dinamiche delle condizioni di rischio, con particolare riferimento alla dispersione di amianto in aria ed alla stabilità degli ammassi di materiali di scarto dell'attività mineraria.
Nel mese di dicembre 2023 è stato rinnovato l'Accordo di Programma tra il Ministero dell'Ambiente, la Regione Piemonte, la Città metropolitana di Torino, la Comunità Montana Valli di Lanzo e i Comuni di Balangero e Corio "per la prosecuzione degli interventi di messa in sicurezza d'emergenza, caratterizzazione, bonifica e ripristino ambientale ai fini della riqualificazione e sviluppo dell'ex miniera".
Con la fine del 2024 sarà possibile certificare l'avvenuta bonifica per circa 2/3 della superficie dell'intero sito.

2. Il sito
La ex miniera di amianto di Balangero e Corio, individuata tra Siti di bonifica di Interesse Nazionale (S.I.N.) con Legge 9.12.1998 n. 426, comprende un territorio montuoso di superficie pari a circa 310 ettari, situato a 30 km a nord-ovest della città di Torino, all'interno del quale è presente un complesso industriale dismesso con superficie di circa 40.000 m^2; nell'area del bacino estrattivo, dopo la cessazione dell'attività mineraria, si è formato un bacino lacustre con volume di invaso di oltre 2 milioni di m^3 di acqua e della profondità di oltre 50 m.
L'attività estrattiva del crisotilo, effettuata mediante la coltivazione a cielo aperto mediante lo scavo in roccia dello spartiacque tra Balangero e Corio, ha comportato il riporto di oltre 45

milioni di m³ di pietrisco di scarto della lavorazione mineraria, con il rimodellamento dei versanti ed il riempimento di intere valli, nonché la produzione di circa 70.000 m³ di fanghi contenenti amianto stoccati in bacini di sedimentazione posti lungo i corsi d'acqua (*vasche fanghi*) [1].

2.1. Gli interventi

I primi studi effettuati sul sito hanno portato a conoscere le problematiche indotte sul territorio dalla pregressa attività mineraria.

Il sito ha una orografia complessa: i 310 ettari contaminati ricompresi nel perimetro del S.I.N. sono posti a cavallo di uno spartiacque, comprendono tre monti, e presentano un dislivello di circa 400 mt. Le trasformazioni dovute all'attività estrattiva hanno modificato in modo importante l'andamento del terreno. Inoltre la distribuzione diffusa e la tipologia di inquinamento hanno permesso di identificare le priorità di intervento in modo da dare la precedenza alle situazioni più critiche.

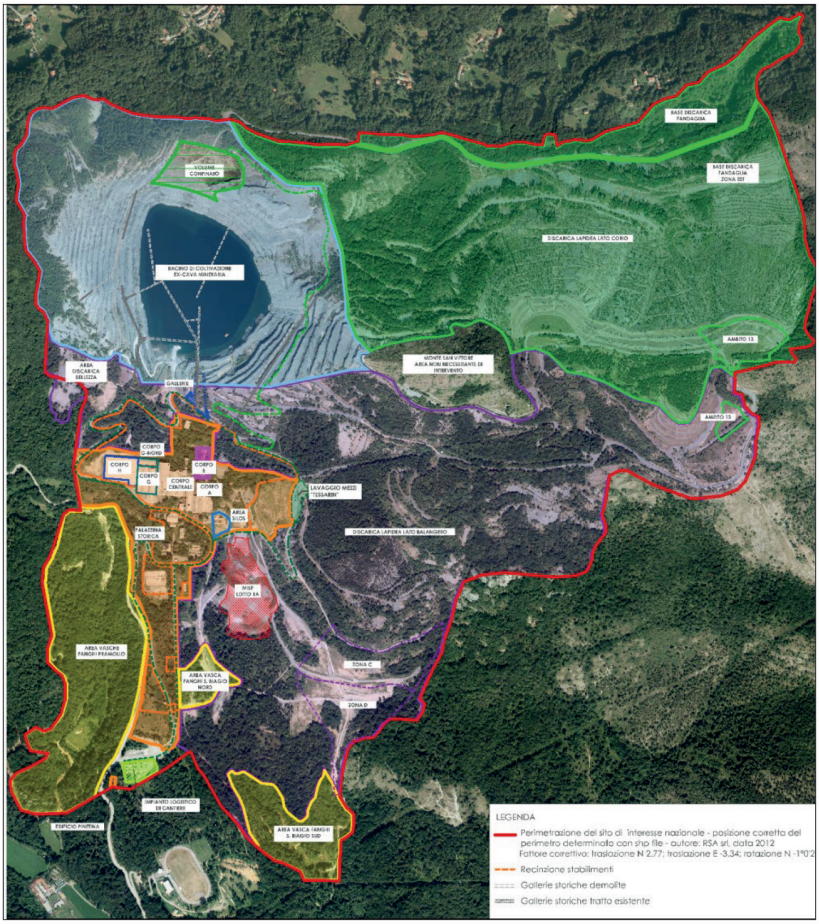


Fig. 1 – *Planimetria del Sito di Interesse Nazionale*

Gli interventi di immediata attivazione sono consistiti in attività specifiche riguardanti la il tracciamento di un insieme di opere finalizzate alla sistemazione idraulica ed idrogeologica applicando tecniche d'ingegneria naturalistica: gli interventi sono stati divisi seguendo i ver-

santi del sito, intercettando le acque superficiali e regimandole, allo scopo di limitare fenomeni di erosione e d'infiltrazione negli ammassi lapidei.
Per la natura orografica e geologica l'area non presenta acque sotterranee equiparabili a falde acquifere in senso stretto, ma ad una circolazione idrica molto localizzata a livello corticale ed alla fratturazione dell'ammasso roccioso.
L'ammasso lapideo su versante verso il Comune di Corio è stato un intervento tra i più importanti per estensione, pendenza del versante e difficoltà di cantiere. Lo sterile di miniera che occupa il versante è stato messo in sicurezza senza riporto di terra poiché le pendenze molto elevate non ne consentono la permanenza. Si è provveduto, per quanto possibile, ad addolcire il profilo e quindi si è proceduto seminando una selezione di sementi di essenze pioniere autoctone. [2-3] Con interventi di concimazione periodica e idrosemina, a distanza di più di 10 anni, oggi si possono vedere i risultati del lavoro svolto ammirando giovani betulle e salici, insieme a muschi e ed erbacee che colonizzano la discarica e contribuiscono alla messa in sicurezza permanente delle superfici, originariamente esposte e con conseguente dispersione di fibre di amianto in aria e nelle acque.



Fig. 2. – *Interventi versante Corio appena terminati i lavori e ad oltre 10 anni dalla realizzazione*

Il versante verso il Comune di Balangero è stato oggetto di simili interventi di regimazione delle acque con la realizzazione di opere di canalizzazione e copertura delle aree di dispersione delle fibre di amianto con riporto di terra.
La possibilità di stendere del materiale organico ha facilitato la colonizzazione da parte delle specie vegetali, restituendo superfici con una copertura vegetale fitta. La prima copertura vegetale adottata è di tipo erbaceo integrata con la piantumazione di talee delle specie arboree, le quali garantiscono la crescita nel tempo. La dove l'attecchimento non risulti sufficiente, si procede con progressivi infoltimenti della vegetazione. [4-5]
Sono state selezionate tipologie di piante pioniere, come salici e betulle e con il tempo stanno ritornando essenze tipiche del territorio, come ciliegi selvatici, castagni e quercie.



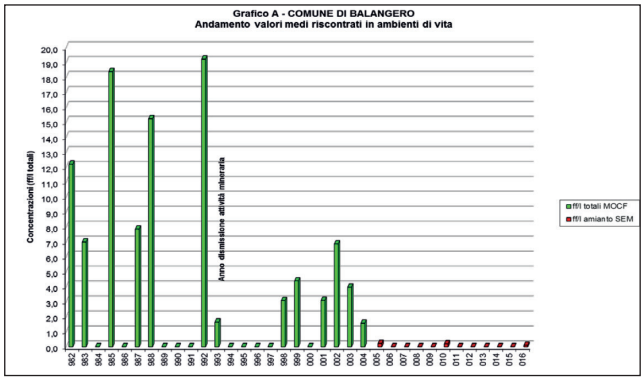
Fig. 3 – *Interventi versante Balangero durante le lavorazioni ed a oltre 5 anni dalla realizzazione*

A seguito degli interventi di sistemazione, è necessaria una costante manutenzione della viabilità e delle canalizzazioni realizzate per la regimazione delle acque meteoriche e di ruscellamento.
Le opere eseguite hanno risolto importanti fenomeni erosivi che movimentavano materiale di scarto, caratterizzato ancora da significativa presenza di amianto, e ne limitano in modo significativo la loro nuova formazione.
In tale ambito ha un ruolo centrale la puntuale sorveglianza dell'integrità delle opere per intervenire tempestivamente dove gli agenti atmosferici, sempre più impattanti, possono creare dei danni, portando a intervenire in modo tempestivo per riparare quanto riscontrato nelle aree interessate dai dissesti.
Parallelamente alla sorveglianza visiva delle superfici, il sito è periodicamente monitorato con una rete di capisaldi GPS per la registrazione di eventuali movimenti gravitativi delle discariche lapidee nonché con una rete di monitoraggio geotecnico mediante inclinometri.
Sia i dati di monitoraggio topografico/geotecnico che i dati del monitoraggio ambientale sono di supporto alla gestione del sito e consentono di indirizzare le modalità di attuazione e gestione dei successivi cantieri.
Le opere di messa in sicurezza stanno consolidando una nuova configurazione del territorio e limitando significativamente l'impatto, come confermato dai risultati delle attività di monitoraggio svolte.
L'obbiettivo di ridurre la dispersione nelle matrici ambientali delle fibre di amianto in aria ha portato ad alternare interventi diffusi sulle superfici, con interventi più puntuali sulle sorgenti più significative, come ad esempio le attività di bonifica delle aree a maggior criticità della zona stabilimenti e lo svuotamento e la riduzione a terra di due silos contenenti amianto puro denominato "filler", la cui stabilità strutturale risultava particolarmente precaria.
La messa in sicurezza di una porzione dei fabbricati industriali ha permesso la realizzazione di un deposito temporaneo autorizzato (D15) per lo stoccaggio dei rifiuti provenienti dalle stesse attività di bonifica. Tali rifiuti saranno collocati all'interno di un volume di discarica per il loro confinamento definitivo: tale volume, già autorizzato nel 2021 con Autorizzazione Integrata Ambientale dalla Città metropolitana di Torino ai sensi del D.lgs 36/2003 come discarica per rifiuti pericolosi, sarà realizzato nei prossimi due anni all'interno del sito, in una zona all'interno del bacino di cava, che consente di salvaguardare non solo l'ambiente, ma anche il paesaggio.
Il bacino di cava, in parte ora occupato da un lago, ha una conformazione a gradoni particolarmente suggestiva ed imponente ed è, insieme alla zona degli stabilimenti, l'elemento più scenografico e caratteristico del sito minerario
Con lo studio di Caratterizzazione del Sito contaminato è stato definito il quadro degli obiettivi di bonifica, confermando le aree su cui intervenire con opere di Messa in Sicurezza Per-

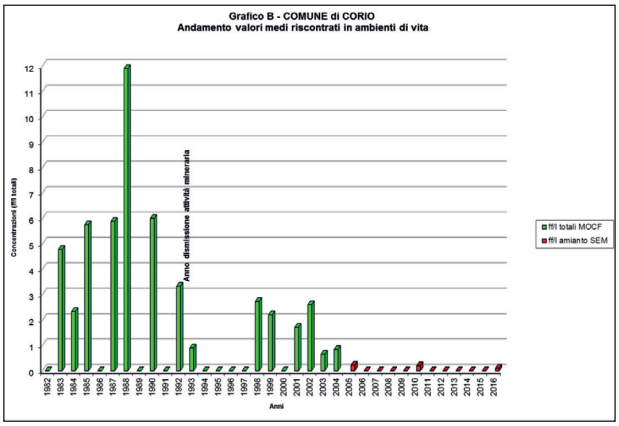
manente, atte a confinare gli scarti amiantiferi accumulati. Tali opere non sono state completamente concluse: i prossimi interventi saranno di carattere più puntuale e concentrati su elementi precisi quali: i bacini di sedimentazione dei fanghi dell'attività mineraria e la zona degli stabilimenti di produzione.
Con la fine dell'anno corrente (2024) si chiuderanno cantieri diffusi sulle superfici, che consentono di raggiungere la messa in sicurezza di circa 2/3 dell'area contenuta nel perimetro del S.I.N..

2.2. I risultati

Gli interventi condotti hanno fornito risultati importanti nella limitazione della dispersione di fibre di amianto, in particolare nella matrice aria.
La società RSA srl ha in sede un laboratorio certificato ACCREDIA ISO/IEC 17025:2005 che conduce quotidianamente da più di 20 anni monitoraggio sulla qualità dell'aria con particolare attenzione nei confronti delle fibre di amianto disperse in aria.[6]
I dati ad oggi ottenuti sono confortanti: dopo gli interventi di messa in sicurezza e bonifica effettuati, anche in condizioni di vento, è difficile rilevare valori superiori a 1f/l di amianto presso le stazioni di monitoraggio ubicate nel territorio circostante (valore guida indicato per l'ambiente di vita cittadino dall'O.M.S.) [tab.1] [tab.2]



Tab. 1 – *Valori medi fibre di amianto disperse in ambienti di vita Comune di Balangero (1982-2016)*



Tab. 2 – *Valori medi fibre di amianto disperse in ambienti di vita Comune di Corio (1982-2016)*

Le operazioni di messa in sicurezza e bonifica condotte, oltre a garantire la tutela della salute pubblica, hanno trasformato nuovamente il paesaggio della miniera: da un luogo triste e grigio, in cui la pietra era protagonista, si è tornati a un ambiente con una importante componente verde. In questi anni si è assistito al progressivo crescere della copertura vegetale ed alla colonizzazione di questi spazi da parte della fauna selvatica autoctona.

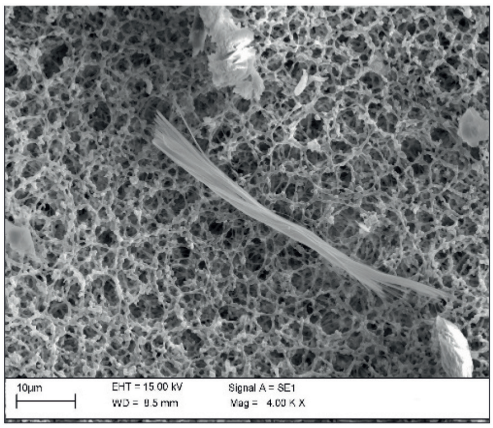


Fig. 4 – *Fibre di crisotilo visualizzate con il SEM*

2.3. Un futuro per il sito

Nonostante i risultati evidenti e incoraggianti ad oggi ottenuti, sono necessarie ulteriori attività.
In particolare gli interventi programmati per i prossimi anni ed in parte contemplati in un nuovo Accordo di Programma siglato alla fine del 2023, consistono sostanzialmente nella bonifica e *decommissioning* degli stabilimenti, nella Messa in Sicurezza Permanente e riqualificazione delle vasche fanghi e del bacino di coltivazione della ex cava mineraria, mediante la ricollocazione dei materiali contaminati all'interno del "volume confinato" autorizzato individuato all'interno del sito stesso, che coinvolge anche le altre installazioni presenti in sito e funzionali alla bonifica, l'Impianto di Depurazione per le acque contaminate (D9) e Deposito Preliminare per rifiuti pericolosi (D15).[7-8]

La riqualificazione del sito non termina tuttavia con il completamento della bonifica; infatti questa fase di messa in sicurezza è necessaria per dare corso ad una fase successiva di reimpiego di questi spazi con attività compatibili alle caratteristiche del sito.
Per la particolarità del sito è importante ridare funzionalità economica e nel contempo integrare percorsi di valorizzazione, che considerino anche vie di sviluppo legate alla tutela della memoria storica, alla conoscenza dell'ambiente, della geologia spaziando fino alla botanica e all'incentivo di un turismo lento che apprezzi le caratteristiche dei territori circostanti la ex miniera, caratterizzati da una presenza antropica diffusa, lontani dalle dinamiche cittadine e punteggiati da un patrimonio artistico minore ma comunque affascinante.
Oltre al progetto di valorizzazione culturale e l'attenzione all'ambiente, le attuali considerazioni si orientano verso una riconversione legata alla produzione di energie "green" da fonti rinnovabili.
Per conformazione orografica si possono dedicare ampi spazi alla tecnologia consolidata di produzione di energia elettrica da fotovoltaico e si stanno valutando tecnologie diverse, con una attenzione alle innovazioni.

3. Conclusioni

L'esecuzione degli interventi di messa in sicurezza delle discariche lapidee ha consentito di perseguire una progressiva riduzione dell'esposizione ad amianto aerodisperso, sia dei residenti nel territorio limitrofo, sia degli addetti alle operazioni di bonifica. Le attività di monitoraggio ambientale per la determinazione delle fibre aerodisperse, svolte sotto il controllo di ARPA Piemonte per le attività di validazione e contro-analisi, hanno consentito di consolidare la dotazione la base di dati strumentali e confermare i risultati ottenuti dalla bonifica.
L'avanzamento della attività di bonifica all'interno del perimetro del S.I.N. permetterà di restituire a breve una superficie significativa dell'area interessata e pertanto consente di impo-

stare interessanti prospettive di sviluppo produttivo, culturale e turistico legato alle tematiche ambientali, con particolare riferimento alla produzione di energia da fonti rinnovabili ed alla realizzazione di progetti ed a attività di valorizzazione del patrimonio storico e paesaggistico.



Fig. 5 – *Vedute dell'area*

Bibliografia

[1]https://www.rsa-srl.it/

WATER CYCLE AND BLUE ECONOMY

RELAZIONE FRA ACQUE E SALUTE: METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO, MONITORAGGIO, FINANZA SOSTENIBILE, OPPORTUNITÀ DI BUSINESS E ADEGUAMENTO TECNOLOGICO

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Istituto Superiore di Sanità, EC/JRC, UT ILIT ALIA, Università Politecnica delle Marche, ASSOARPA**

Il nesso acqua-salute è passato dalle problematiche legate principalmente all'acqua pro-contaminata e alle carenze igienico-sanitarie a diverse opportunità che spaziano dalle tecnologie innovative, agli investimenti e alle imprese, al supporto per il monitoraggio avanzato per prevenire possibili pandemie. Il workshop metterà in evidenza come l'approccio basato sul rischio sia ora integrato nelle nuove direttive e regolamenti dell'UE, in modo da aprire la strada a un cambiamento di paradigma. Inoltre, i risultati delle interfacce tra esperti del settore idrico e sanitario consentiranno di definire l'attuale stato dell'arte e le prospettive di sviluppo industriale congiunto dei settori.

Presidenti di sessione:
Bernd Gawlik, Ecomondo STC and Joint Research Centre, European Commission
Luca Lucentini, Ecomondo STC and Italian National Health Institute
Francesco Fatone, Ecomondo STC and Marche Polytechnic University

Farmaci nelle acque reflue: l'EPR potrebbe danneggiare le aziende?

Adriano Pistilli, pistilli.ambiente@gmail.com
Responsabile Tecnico Gestione Rifiuti – Libero Professionista, Napoli

Riassunto
Il settore farmaceutico non vive un momento roseo: il Covid e la guerra in Ucraina hanno assestato duri colpi; basti pensare ai pesanti aumenti del costo dei carburanti, ma anche dell'energia, che è andato a incidere pesantemente soprattutto sulle medie-piccole imprese specializzate in prodotti low cost. Hanno rischiato l'out of stock anche i materiali di confezionamento e imballaggio. Oppure pensiamo alle difficoltà nell'approvvigionamento di alcune materie prime, come il Palladio o l'Ammoniaca. A tutto ciò potrebbe aggiungersi anche un "colpo ambientale" a seguito della modifica della Direttiva sulle acque reflue urbane. Con la futura entrata in vigore della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), le aziende farmaceutiche e cosmetiche dovranno finanziare per almeno l'80% l'introduzione del trattamento quaternario per la rimozione dei microinquinanti (che però provengono da tutti i settori industriali).

Summary
The pharmaceutical sector is not experiencing a rosy moment: Covid and the war in Ukraine have dealt hard blows; just think of the heavy increases in the cost of fuel, but also of energy, which has had a heavy impact especially on medium-small businesses specializing in low cost products. Wrapping and packaging materials also risked going out of stock. Or let's think about the difficulties in the supply of some raw materials, such as Palladium or Ammonia. To all this there could also be an "environmental blow" following the modification of the Urban Wastewater Directive. With the future entry into force of Extended Producer Responsibility (EPR), pharmaceutical and cosmetic companies will have to finance at least 80% of the introduction of quaternary treatment for the removal of micropollutants (which however come from all industrial sectors).

1. Introduzione

La resistenza antimicrobica è la resistenza sviluppata da alcuni microrganismi a un medicinale antimicrobico a cui erano precedentemente sensibili, mediante mutazioni o acquisizione di elementi genetici di resistenza.
I microrganismi resistenti (tra cui batteri, virus, funghi, protozoi ed elminti) sono quindi in grado di resistere all'azione di farmaci come antibiotici, antivirali e antiparassitari e di causare infezioni persistenti. Pertanto, la resistenza antimicrobica è una grave minaccia per la salute umana.
La resistenza antimicrobica determina l'aumento dei costi sanitari legati a degenze prolungate, necessità di terapie spesso più costose e maggior utilizzo di tecniche diagnostiche, complicanze, decessi e contenziosi.
L'uso eccessivo e improprio di antibiotici in medicina umana e veterinaria ha promosso lo sviluppo e la proliferazione di resistenze specifiche nelle comunità batteriche esposte agli effetti delle attività umane in tutto il pianeta.

Questa situazione vede un ruolo diretto dell'ambiente. Batteri resistenti, metaboliti di antibiotici e residui di medicinali finiscono nelle acque reflue urbane e negli impianti di depurazione delle acque, e poiché neanche le tecnologie più avanzate riescono a eliminarli del tutto, contaminano corsi d'acqua, inclusi laghi e mari, acque irrigue e acqua potabile. Antibiotici e metaboliti vengono quindi immessi in corsi d'acqua, laghi o mare con le acque trattate oppure in suoli tramite l'utilizzo dei fanghi di depurazione come concime nei campi. Dai suoli possono infine raggiungere nuovamente le acque superficiali o le acque di falda per percolazione [1].

2. Relazione

Negli ultimi anni, attraverso le Watch List in Europa è cominciato il monitoraggio dei farmaci all'interno delle acque reflue. Per impedire lo sviluppo dell'antibiotico resistenza, a seguito della modifica della Direttiva Europea sulle acque reflue, si è deciso di introdurre il trattamento quaternario negli impianti di depurazione e per tale motivo sarà istituito un regime di Responsabilità Estesa del Produttore per l'industria cosmetica e farmaceutica, che dovranno contribuire almeno per l'80% l'introduzione di tale trattamento.

2.1 Contaminanti convenzionali e microinquinanti emergenti

Dividiamo i contaminanti in due macro categorie:

– contaminanti convenzionali, normati secondo la WFD, sono sostanze pericolose e prioritarie per l'ambiente acquatico;

– contaminanti emergenti e loro metaboliti non normati: composti di sintesi non ancora normati. Entrambe le categorie possono essere classificate come alteratori endocrini (ormoni steroidei, plasticizzanti, metaboliti e composti di sintesi) che interferiscono col sistema endocrino degli organismi producendo danni biologici a diversi livelli.

Gli inquinanti emergenti sono composti xenobiotici non necessariamente sconosciuti o di "nuova generazione", il cui significato ambientale è poco conosciuto a causa delle difficoltà di tipo analitico e della carenza di informazioni su impatto ed effetto sugli ecosistemi. Non sono regolamentati dalle normative europee e non sono inclusi in programmi di monitoraggio; vi sono anche alcuni metaboliti di sostanze normate che possono essere più persistenti e più tossici dei composti parentali.

Possono essere suddivisi in quattro classi principali: interferenti endocrini, farmaci e prodotti per la cura e l'igiene personale, acidi perfluorurati e i fitofarmaci.

Alcuni inquinanti emergenti sono:

– Interferenti endocrini (ormoni sintetici, ormoni naturali, plasticizzanti);

– Farmaci (analgesici, antibiotici, anticonvulsivi, antidepressivi, antidiabetici, antinfiammatori, ansiolitici, beta-bloccanti, sedativi);

– Droghe (cocaina, codeina, morfina, metaboliti della nicotina);

– Fragranze (canfora, terpineolo);

Prodotti per la cura personale (schermi solari, repellenti per insetti, eccipienti, parabeni);

– Nanoparticelle (fullerene, nanotubi, carbon black); PFOS (Acido Perfluoroottansulfonico);

– Pesticidi di nuova generazione (e loro metaboliti);

– Prodotti per la disinfezione di acque potabili (acidi aloacetici, bromato).

È utile per il presente lavoro soffermarsi sui farmaci: l'uso di antibiotici, soprattutto se inappropriato, induce una pressione selettiva sui batteri presenti nel nostro corpo, che possono sviluppare una resistenza a questi farmaci. Espulsi principalmente attraverso feci e urine, questi batteri resistenti possono contaminare l'ambiente e trasmettere i determinanti genetici dell'antibiotico-resistenza ad altri microrganismi presenti nell'ambiente e al microbioma di animali e piante. Va anche considerato che ogni anno vengono vendute nel mondo decine di migliaia di tonnellate di farmaci per uso umano o veterinario, ma le quantità non utilizzate non vengono smaltite in maniera adeguata, contribuendo così a contaminare l'ambiente.

Una volta nell'ambiente, il farmaco, a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche, viene degradato oppure può accumularsi. Alcuni antibiotici hanno una vita media nell'ambiente superiore ad 1 anno, altri possono contaminare l'ambiente per decenni.
L'Italia è uno dei Paesi europei con più elevato consumo di antibiotici e sviluppo di resistenze sia in ambito veterinario che medico ospedaliero. In particolare, in uno studio dedicato agli antibiotici è stato stimato che in Italia, circa 7 – 14 tonnellate di antibiotici sono immesse annualmente nell'ambiente tramite i reflui urbani trattati [1].

2.2 La Watch List n. 1
Gli antibiotici più abbondanti nelle acque reflue sono i macrolidi (Claritromicina, Deidro-eritromicina) e fluorochinoloni (Ciprofloxacina, Ofloxacina). Tracce di questi composti sono state rilevate anche nelle acque di falda indicando una presenza ubiquitaria degli antibiotici nell'ambiente. Nel 2015 si è giunti all'elaborazione della Watch List n.1, riportata nella Tab. 1.

Denominazione della sostanza o del gruppo di sostanze	Numero CAS (1)	Numero UE (2)	Metodi di analisi indicativi (3) (4) (5)	Limite massimo ammissibile del metodo di rilevazione (ng/l)
17-alfa-etinilestradiolo (EE2)	57-63-6	200-342-2	SPE — LC-MS-MS su grandi volumi	0,035
17-beta-estradiolo (E 2), estrone (e 1)	50-28-2, 53-16-7	200-023-8	SPE — LC-MS-MS	0,4
diclofenac	15307-86-5	239-348-5	SPE — LC-MS-MS	10
2,6-di-terz-butil-4-metilfenolo	128-37-0	204-881-4	SPE — GC-MS	3 160
4-metossicinnamato di 2-etilesile	5466-77-3	226-775-7	SPE — LC-MS-MS oppure GC-MS	6 000
Antibiotici macrolidi (6)			SPE — LC-MS-MS	90
Metiocarb	2032-65-7	217-991-2	SPE — LC-MS-MS oppure GC-MS	10
Neonicotinoidi (7)			SPE — LC-MS-MS	9
Ossadiazone	19666-30-9	243-215-7	LLE/SPE — GC-MS	88
Tri-allato	2303-17-5	218-962-7	LLE/SPE — GC-MS oppure LC-MS-MS	670

(1) Chemical Abstracts Service
(2) Numero Unione europea — non disponibile per tutte le sostanze
(3) Per garantire la comparabilità dei risultati provenienti da diversi Stati membri, tutte le sostanze sono monitorate nell'intero campione d'acqua.
(4) Metodi di estrazione:
LLE — estrazione liquido-liquido
SPE — estrazione in fase solida
Metodi analitici
GC-MS — Gascromatografia-spettrometria di massa
LC-MS-MS — cromatografia liquida, spettrometria di massa (tandem) a triplo quadripolo
(5) Per il monitoraggio del 2-etilexil 4-metossicinnamato nel particolato sospeso (SPM, *suspended particular matter*) o nei sedimenti (dimensione < 63 µm), viene utilizzato il seguente metodo analitico: SLE (estrazione solido-liquido) — GC-MS, con un limite di rilevazione massimo di 0,2 mg/kg.
(6) Eritromicina (numero CAS 114-07-8; numero UE 204-040-1), claritromicina (numero CAS 81103-11-9), azitromicina (numero CAS 83905-01-5; numero UE 617-500-5)
(7) Imidacloprid (numero CAS 105827-78-9/138261-41-3, numero UE 428-040-8), tiacloprid (numero CAS 111988-49-9), tiametoxam (numero CAS 153719-23-4; numero UE 428-650-4), clotianidin (numero CAS 210880-92-5; numero UE 433-460-1), acetamiprid (numero CAS (135410-20-7/160430-64-8)

Tab. 1 – *Watch List n.1 [2]*

Nel corso del 2017 la Commissione ha analizzato i dati relativi al primo anno di monitoraggio per le sostanze presenti nella Watch List n. 1 del 2015. Ad aprile 2018 è stato pubblicato il

rapporto del Joint Research Centre (JRC) della Commissione UE sulla revisione della Watch List n. 1 in cui sono discussi i risultati del monitoraggio.
Il rapporto JRC 2018 raccomandava di inserire due nuovi antibiotici, l'Amoxicillina e la Ciprofloxacina, come mostrato nella Tab. 2.

Amoxicillina	26787-78-0	248-003-8	SPE - LC-MS-MS	78
Ciprofloxacina	85721-33-1	617-751-0	SPE - LC-MS-MS	89

Tab. 2 – *Antibiotici aggiunti alla Watch List [3]*

2.3 La Watch List n. 2
Ad agosto 2020 è stato pubblicato il rapporto del JRC della Commissione UE sulla revisione della Watch List n. 2 (riportata nella Tab. 3) nel quale, tra i criteri per la selezione delle sostanze da monitorare, oltre a tossicità, persistenza, bioaccumulabilità, cancerogenicità, mutagenicità e capacità di interferenza col sistema endocrino, è stato incluso anche il potenziale contributo delle sostanze alla diffusione e alla persistenza dell'antimicrobico resistenza.

Denominazione della sostanza o del gruppo di sostanze	Numero CAS (1)	Numero EU (2)	Metodi di analisi indicativi (3) (4)	Limite massimo ammissibile di rilevazione del metodo (ng/l)
17-alfa-etinilestradiolo (EE2)	57-63-6	200-342-2	SPE — LC-MS-MS su grandi volumi	0,035
17-beta-estradiolo (E2), estrone (E1)	50-28-2, 53-16-7	200-023-8	SPE - LC-MS-MS	0,4
Antibiotici macrolidi (5)			SPE - LC-MS-MS	19
Metiocarb	2032-65-7	217-991-2	SPE - LC-MS-MS oppure GC-MS	2
Neonicotinoidi (6)			SPE - LC-MS-MS	8,3
Metaflumizone	139968-49-3	604-167-6	LLE - LC-MS-MS oppure SPE – LC-MS-MS	65
Amoxicillina	26787-78-0	248-003-8	SPE - LC-MS-MS	78
Ciprofloxacina	85721-33-1	617-751-0	SPE - LC-MS-MS	89

(1) Chemical Abstracts Services
(2) Numero Unione europea – non disponibile per tutte le sostanze
(3) Per garantire la comparabilità dei risultati provenienti da diversi Stati membri, tutte le sostanze sono monitorate in campioni integrali d'acqua.
(4) Metodi di estrazione:
LLE — estrazione liquido-liquido
SPE — estrazione in fase solida
Metodi di analisi:
GC-MS — Gascromatografia-spettrometria di massa
LC-MS-MS — Cromatografia liquida, spettrometria di massa (tandem) a triplo quadripolo
(5) Eritromicina (numero CAS 114-07-8; numero UE 204-040-1), claritromicina (numero CAS 81103-11-9), azitromicina (numero CAS 83905-01-5; numero UE 617-500-5)
(6) Imidacloprid (numero CAS 105827-78-9/138261-41-3, numero UE 428-040-8), tiacloprid (numero CAS 111988-49-9), tiametoxam (numero CAS 153719-23-4; numero UE 428-650-4), clotianidin (numero CAS 210880-92-5; numero UE 433-460-1), acetamiprid (numero CAS (135410-20-7/160430-64-8)

Tab. 3 – *Watch List n.2 [3]*

2.4 La Watch List n. 3

Nella Watch List n. 3 (riportata nella Tab. 4) sono stati inseriti antibiotici come il Sulfametossazolo e il Trimetoprim e antifungini come Clotrimazolo, Fluconazolo e Miconazolo, a causa del loro largo impiego e facilità di rilascio in acqua, della loro tossicità nei confronti della vita acquatica e del loro possibile contributo alla diffusione e alla persistenza dell'antimicrobico e antifungino resistenza.

Si tratta di composti che possono essere monitorati utilizzando lo stesso metodo analitico LC/MS/MS Liquid Chromatography with tandem Mass Spectrometry (cromatografia liquida accoppiata alla spettrometria di massa tandem).

È da notare che nella Watch List n. 3 sono stati inseriti il Sulfametossazolo e il Trimetoprim classificandoli come antibiotici. In passato erano classificati come chemioterapici (farmaci di sintesi che agiscono come antimetaboliti); gli antibiotici invece erano di origine naturale (provenivano dal metabolismo di miceti/muffe o da quello di determinati batteri/streptomiceti).

Denominazione della sostanza o del gruppo di sostanze	Numero CAS (1)	Numero EU (2)	Metodi di analisi indicativi (3) (4)	Limite massimo ammissibile di rilevabilità del metodo (ng/l)
Metaflumizone	139968-49-3	604-167-6	LLE-LC-MS-MS oppure SPE-LC-MS-MS	65
Amoxicillina	26787-78-0	248-003-8	SPE-LC-MS-MS	78
Ciprofloxacina	85721-33-1	617-751-0	SPE-LC-MS-MS	89
Sulfametossazolo (5)	723-46-6	211-963-3	SPE-LC-MS-MS	100
Trimetoprim (5)	738-70-5	212-006-2	SPE-LC-MS-MS	100
Venlafaxina e O-desmetilvenlafaxina (6)	93413-69-5 93413-62-8	618-944-2 700-516-2	SPE-LC-MS-MS	6
Composti azolici (7)			SPE-LC-MS-MS	
Clotrimazolo	23593-75-1	245-764-8		20
Fluconazolo	86386-73-4	627-806-0		250
Imazalil	35554-44-0	252-615-0		800
Ipconazolo	125225-28-7	603-038-1		44
Metconazolo	125116-23-6	603-031-3		29
Miconazolo	22916-47-8	245-324-5		200
Penconazolo	66246-88-6	266-275-6		1 700
Procloraz	67747-09-5	266-994-5		161
Tebuconazolo	107534-96-3	403-640-2		240
Tetraconazolo	112281-77-3	407-760-6		1 900
Dimossistrobina	149961-52-4	604-712-8	SPE-LC-MS-MS	32
Famoxadone	131807-57-3	603-520-1	SPE-LC-MS-MS	8,5

(1) Chemical Abstracts Services
(2) Numero Unione europea
(3) Per garantire la comparabilità dei risultati provenienti da diversi Stati membri, tutte le sostanze sono monitorate nell'intero campione d'acqua.
(4) Metodi di estrazione:
LLE — estrazione liquido-liquido
SPE — estrazione in fase solida
Metodi di analisi:
LC-MS-MS — Cromatografia liquida, spettrometria di massa (tandem) a triplo quadrupolo.
(5) Il sulfametossazolo e il trimetoprim sono analizzati insieme negli stessi campioni ma comunicati come concentrazioni individuali.
(6) La venlafaxina e l'O-desmetilvenlafaxina sono analizzate insieme negli stessi campioni ma comunicate come concentrazioni individuali.
(7) I composti azolici sono analizzati insieme negli stessi campioni ma comunicati come concentrazioni individuali.

Tab. 4 – *Watch List n.3 [4]*

2.5 Il trattamento quaternario e la Responsabilità Estesa del Produttore

Con l'entrata in vigore della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), le aziende farmaceutiche e cosmetiche dovranno finanziare per almeno l'80% l'introduzione del trattamento quaternario per la rimozione dei microinquinanti (che però provengono da tutti i settori industriali).

Le tecniche che hanno riscontrato un maggiore successo sono i processi di ossidazione avanzata (Advanced Oxidation Processes, AOP); tra questi vanno ricordati: processi di ozonizzazione, processi di Fenton o foto-Fenton, processi catalitici e foto-catalitici, processi con H2O2, raggi UV e processi con Ultrasuoni.

Secondo l'Agenzia Tedesca per l'Ambiente, le stime dei costi annuali solo in Germania sono comprese tra 885.000.000 euro e 1.025.000.000 euro, che sono solo di poco inferiori ai costi stimati dalla Commissione Europea (1.213.000.000 euro per l'intera Europa). Poiché la Germania rappresenta meno del 20% della popolazione totale dell'UE, ciò implica un costo effettivo per l'intera popolazione UE da 4.425.000.000 a 5.125.000.000 euro [5].

3. Conclusioni

L'introduzione del trattamento quaternario negli impianti di depurazione è sicuramente necessario per contribuire a fermare l'antibiotico resistenza ma non si è tenuto conto che tassando le aziende farmaceutiche potrebbero esserci sere ripercussioni per i malati (anche oncologici). Ad esempio, il Tamoxifene, un importante medicinale antitumorale utilizzato nel trattamento di alcune forme di tumore al seno, che in Germania scarseggiava a causa del suo prezzo basso, viene venduto a meno di 3€ a confezione. I produttori di Tamoxifene dovranno pagare la tariffa EPR.

Nel frattempo, i farmaci orfani più costosi in Europa, che vengono venduti a circa 20.000 – 30.000 euro, non subiranno in modo rilevante le tariffe EPR a causa dei loro bassi volumi di vendita.

In poche parole, se applicata la EPR su base volumetrica, i farmaci di largo consumo e basso prezzo potrebbero subire (in virtù dei grossi quantitativi venduti) un significativo aumento dei prezzi; mentre prodotti orfani con prezzi rilevanti saranno soggetti a tariffe EPR quasi nulle.

Nulla vieta che le industrie farmaceutiche potrebbero decidere di sospendere la produzione di alcuni farmaci di largo consumo e basso prezzo con disagio per l'utente. È auspicabile un tavolo di confronto tra le istituzioni europee, i tecnici ambientali e l'industria farmaceutica per trovare una via comune per garantire sia la tutela dell'ambiente sia le casse dell'industria farmaceutica. Meglio confrontarsi prima di produrre danni.

Bibliografia

[1] **Giardina S., Castiglioni S., Corno G., Fanelli R., Maggi C., Migliore L., Sabbatucci M., Sesta G., Zaghi C., Zuccato E.** (2021). *Approccio ambientale all'antimicrobico-resistenza*. Roma: Istituto Superiore di Sanità (Rapporti ISTISAN 21/3).

[2] **Decisione di esecuzione (UE) 2015/495** della Commissione del 20 marzo 2015 che istituisce un elenco di controllo delle sostanze da sottoporre a monitoraggio a livello dell'Unione nel settore della politica delle acque in attuazione della direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio.

[3] **Decisione di esecuzione (UE) 2018/840** della Commissione del 5 giugno 2018 che istituisce un elenco di controllo delle sostanze da sottoporre a monitoraggio a livello dell'Unione nel settore della politica delle acque in attuazione della Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio e che abroga la Decisione di esecuzione (UE) 2015/495 della Commissione.

[4] **Decisione di esecuzione (UE) 2020/1161** della Commissione del 4 agosto 2020 che istituisce un elenco di controllo delle sostanze da sottoporre a monitoraggio a livello dell'Unione nel settore della politica delle acque in attuazione della Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio.

[5] **Pistilli A.** (2024). *Le politiche ambientali faranno aumentare i prezzi dei farmaci*, su Quotidiano Sanità.

PFAS nelle acque: carboni attivi e plasmaferesi per contrastarli

Adriano Pistilli, pistilli.ambiente@gmail.com
Responsabile Tecnico Gestione Rifiuti – Libero Professionista, Napoli

Riassunto
Le sostanze alchiliche perfluorurate e polifluorurate (PFAS) sono un gruppo di sostanze chimiche artificiali ampiamente utilizzate, che nel corso del tempo si accumulano negli esseri umani e nell'ambiente. Possono avere effetti negativi sulla salute come danni al fegato, malattie della tiroide, obesità, problemi di fertilità e cancro. La Direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano entrerà in vigore in Italia nel gennaio 2026 e prevede i seguenti limiti: PFAS Totale 0,50 µg/l e Somma di PFAS 0,10 µg/l. Le maggiori concentrazioni si sono registrare in Veneto, ma di recente anche in Lombardia e Piemonte. Evidenze scientifiche recenti dimostrano che la plasmaferesi e lo scambio plasmatico potrebbero contribuire ad abbassare i livelli di PFAS nel sangue in modo significativo; ma per evitare che entrino in contatto con noi umani attraverso l'acqua dovremmo installare dei filtri a carboni attivi negli acquedotti.

Summary
Perfluorinated and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) are a group of widely used man-made chemicals that accumulate in humans and the environment over time. They can have adverse health effects such as liver damage, thyroid disease, obesity, fertility problems and cancer. Directive (EU) 2020/2184 concerning the quality of water intended for human consumption will come into force in Italy in January 2026 and provides for the following limits: Total PFAS 0.50 µg/l and Sum of PFAS 0.10 µg/l. The greatest concentrations were recorded in Veneto, but recently also in Lombardy and Piedmont. Recent scientific evidence shows that plasmapheresis and plasma exchange could contribute to significantly lowering PFAS levels in the blood; but to prevent them from coming into contact with us humans through the water we should install activated carbon filters in the aqueducts.

1. Introduzione

Le sostanze alchiliche perfluorurate e polifluorurate (PFAS), oltre 4.700 in numero, sono un gruppo di sostanze chimiche artificiali ampiamente utilizzate, che nel corso del tempo si accumulano negli esseri umani e nell'ambiente. Sono note come "sostanze chimiche permanenti", in quanto sono estremamente persistenti nel nostro ambiente e organismo. Possono avere effetti negativi sulla salute come danni al fegato, malattie della tiroide, obesità, problemi di fertilità e cancro.
Anche l'iniziativa di biomonitoraggio umano dell'UE (HBM4EU) si occupa dei PFAS. Tali iniziativa rappresenta uno sforzo congiunto di 30 Paesi, dell'Agenzia Europea dell'Ambiente e della Commissione europea, cofinanziato nell'ambito di Orizzonte 2020. L'HBM4EU, il cui periodo di attività va dal 2017 al 2021, genera conoscenze per informare la gestione sicura delle sostanze chimiche e, pertanto, proteggere la salute umana in Europa.

L'iniziativa HBM4EU coordina e promuove il biomonitoraggio umano in Europa ed è in grado di fornire prove più affidabili della reale esposizione dei cittadini alle sostanze chimiche. Inoltre, il progetto fornisce una valida interpretazione dei dati sul biomonitoraggio umano e del possibile impatto dell'esposizione chimica sulla salute umana, utilizzando gli strumenti scientifici più aggiornati [1].
È stata evidenziata una correlazione tra l'esposizione ai PFAS e la disfunzione endocrina umana. I risultati hanno suggerito che i PFAS possono interferire con il sistema endocrino, causando alterazioni nei livelli di ormoni tiroidei e sessuali. Questi disturbi endocrini possono influenzare la fertilità, la crescita e lo sviluppo, nonché aumentare il rischio di malattie come il diabete e alcuni tipi di cancro.
I PFAS possono ridurre la risposta immunitaria e aumentare la suscettibilità alle infezioni. Questo comporta un aumento nella diffusione delle malattie infettive e una maggiore difficoltà nel contrastarle. Numerosi studi hanno evidenziato che l'esposizione ai PFAS può portare danni al fegato, come la steatosi epatica non alcolica o l'insufficienza epatica, che possa influire sul sistema riproduttivo umano riducendo la qualità del seme negli uomini e durante la gravidanza può aumentare il rischio di parto prematuro e di ritardo nella crescita fetale [2].

2. Relazione
La maggior parte dell'acqua viene utilizzata per uso industriale e agricolo. Su circa 8 miliardi di persone si stima che il 30% non abbia accesso diretto all'acqua, in particolare in Africa, Sud America e nel Sud Est Asiatico dove si combattono 120 conflitti per avere acqua da utilizzare nell'attività estrattiva di materie prime e terre rare come il Litio e il Cobalto (presente nei nostri cellulari).
Possiamo distinguere 3 macro categorie d'acqua:
– acque da pozzo;
– acque minerali naturali: provengono da un giacimento profondo, protetto, incontaminato, sono batteriologicamente pure all'origine, hanno caratteristiche chimiche costanti, sono imbottigliate alla fonte e possono avere effetti sanitari positivi (dopo i 50 anni per prevenire l'osteoporosi è consigliabile bere acqua ricca di Calcio);
– acque potabili: il gestore del Servizio idrico integrato si occupa della potabilizzazione, fornitura alle abitazioni (con perdite al 50%), gestione del sistema fognario e depurativo.
Abbiamo più controlli sull'acqua dell'acquedotto e vengono analizzati più analiti rispetto alle acque minerali (che sono pure alla fonte, quindi si controlla la conformità all'etichetta).

2.1 Nuova Direttiva sulle acque potabili e utilizzo dei carboni attivi
La Direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano entrerà in vigore in Italia nel gennaio 2026 e prevede i seguenti limiti:
– PFAS Totale 0,50 µg/l;
– Somma di PFAS 0,10 µg/l.
Per PFAS totale si intende la totalità delle sostanze per– e polifluoro alchiliche; per somma di PFAS si intende la somma di tutte le sostanze per– e polifluoro alchiliche ritenute preoccupanti per quanto riguarda le acque destinate al consumo umano [3].
I filtri a carboni attivi (provenienti dalle noci di cocco) riescono a trattenere i PFAS. È necessario sostituirli spesso, avendo questi ultimi una durata di meno di un mese per i PFAS (per gli altri inquinanti hanno una vita maggiore); tutto ciò comporta un aumento del prezzo della bolletta.
I carboni esausti vengono rigenerati attraverso trattamenti termici (+1000°C) che distruggono le molecole presenti sul carbone. Nell'impianto è necessario un efficace sistema di trattamento dei fumi.

Il Politecnico di Milano sta lavorando ad un progetto per la sostituzione dei carboni attivi: una rete di titanio trattata con ossidazione elettrolitica al plasma, permette di rivestire la rete di titanio con Biossido di Titanio che cattura/degrada i PFAS convertendoli in acqua, CO2 e ioni inorganici. In laboratorio si registra un'efficacia del 100% [4].

2.2 PFAS nel sangue

Il sangue è un tessuto composto per il 55% della sua massa da plasma. Il plasma è la parte liquida del sangue, ha un colore giallino ed è una soluzione acquosa di proteine, glucosio, lipidi, sali minerali, enzimi, ormoni, immunoglobuline e quantità minime di altre sostanze.
Nel plasma "galleggia" il restante 45%, che è composto da tre tipi di cellule: i globuli rossi, che trasportano l'ossigeno, servono per le operazioni chirurgiche e per curare la talassemia; i globuli bianchi, che combattono i batteri; le piastrine, che aiutano a riparare le falle e utilizzate per il trattamento del cancro.
La separazione del sangue intero per centrifugazione ci consente di utilizzare i singoli componenti.
La proprietà essenziale del sangue è di coagulare quando esce dai vasi.
Questo avviene proprio grazie alle proteine presenti nel plasma in forma inattiva, i "fattori di coagulazione", contrassegnati per convenzione con numeri romani. Il plasma è la frazione del sangue che contiene tutti i fattori.
Dal frazionamento del plasma è possibile ottenere albumina (fondamentale in caso di shock, ustioni, traumi, e in chirurgia), gammaglobuline (per le carenze immunitarie, ereditarie o acquisite, e per infezioni come l'epatite, la rabbia, il tetano e tante altre), sieri per i diversi gruppi sanguigni e fattori della coagulazione per gli emofilici [5].
La prima procedura di plasmaferesi terapeutica è stata descritta nel 1960 dagli statunitensi Alan Solomon e John L. Fahey. Nel 1964 la plasmaferesi viene introdotta come metodica per il prelievo del plasma.
Prima che il sangue venga prelevato da un donatore deve superare il test di Wassermann per vedere se è libero da tracce di malattie. Il donatore deve poi sottoporsi a un emocromo: un test per vedere se il suo sangue rientra in uno standard qualitativo. Il test richiede poco tempo. Il campione di sangue viene generalmente preso dal lobo dell'orecchio con una sottile incisione e una provetta. A quel punto il candidato deve rientrare nello stesso gruppo sanguigno del paziente.
La plasmaferesi è utilizzata per trattare una varietà di disordini immunitari, inclusa la sindrome di Goodpasture (emorragia renale e/o polmonare), la miastenia grave (debolezza dei muscoli volontari), la sindrome di Guillain-Barré (debolezza e alterata percezione della sensibilità ai diversi stimoli sensitivi), il lupus (manifestazioni eritematose cutanee e mucose), la porpora trombotica trombocitopenica TTP (formazione patologica di aggregati di piastrine/trombi che, ostruendo i vasi sanguigni, provoca una pericolosa diminuzione dell'apporto di ossigeno a diversi organi come i reni, fegato, cuore, cervello, ecc.); è utilizzata anche per trattare la Macroglobulinemia di Waldenström con iperviscosità (aumentata viscosità del sangue). In questo caso lo scopo della plasmaferesi è di ridurre la quantità plasmatica di Immunoglobuline M (IgM), la cui maggior parte si trova nel sangue.
Durante la plasmaferesi, il sangue è inizialmente prelevato dal corpo utilizzando aghi di maggiore dimensione inseriti nelle vene degli arti, solitamente le braccia, oppure con un catetere inserito in una grande vena del collo (vena giugulare interna), nel torace (vena succlavia o ascellare), o nell'inguine (vena femorale). Se è usato un catetere, deve essere inserito in anticipo in anestesia locale o con leggera sedazione. Il catetere di Hickman è il più comunemente scelto negli USA per questo scopo. Durante la procedura di plasmaferesi vengono utilizzati farmaci anticoagulanti per prevenire la coagulazione del sangue fuori dal corpo.

Il plasma è separato dagli altri componenti del sangue attraverso uno di questi tre metodi:
– centrifugazione a flusso continuo: sono usate due linee venose. Questo metodo in ogni momento richiede una più ridotta quantità di sangue fuori dal corpo, rispetto al flusso discontinuo di centrifugazione. Questo è il metodo più usato attualmente;
– centrifugazione a flusso discontinuo: è utilizzata una sola linea venosa. Usualmente a sessione una quantità di circa 300 ml di sangue viene rimossa e centrifugata per separare il plasma dalle cellule del sangue;
– filtrazione del plasma: sono usate due linee venose. Il plasma è filtrato usando l'apparecchiatura standard per emodialisi.
Una volta che il plasma è stato rimosso il sangue rimanente viene reinfuso nel paziente diluendolo con un sostituto del plasma come l'albumina o un composto di albumina e soluzione salina. Durante il corso di una seduta possono essere rimossi 3 – 4 litri di plasma. Anche una singola seduta di plasmaferesi può essere efficace, sebbene sia più comune essere sottoposti a più procedure nell'arco di 1 – 2 settimane [6].
Il valore massimo consigliato dall'Istituto Superiore di Sanità di PFAS nel flusso sanguigno è di circa 8 ng per grammo di sangue.
Una delle poche misure di prevenzione è ridurre il contatto quotidiano con gli PFAS a livello personale, ad esempio scegliendo prodotti privi di PFAS e bevendo solo acqua correttamente filtrata.
In alcuni Comuni del Veneto si è verificato un inquinamento da PFAS delle acque a partire dagli anni '70. Le Strutture regionali della Sanità sono venute a conoscenza di tale fenomeno nel 2013 attraverso la relazione elaborata dall'Istituto di Ricerca sulle Acque – CNR. Da subito la Regione ha messo in atto numerose azioni, come l'individuazione dell'area di contaminazione e della principale fonte responsabile, la messa in sicurezza della distribuzione dell'acqua potabile e la mappatura ed il controllo dei pozzi privati, l'avvio di uno studio di biomonitoraggio, l'avvio di studi retrospettivi ed ecologici sulle patologie tumorali, l'istituzione di Gruppi di Lavoro e di una specifica Commissione sul tema.

2.3 Plasmaferesi e scambio plasmatico
È un dato certo che nei soggetti dell'area di massimo impatto sanitario PFOA e PFOS sono presenti nel sangue circolante, in forma legata alle proteine e in particolare all'albumina. Tale condizione costituisce il razionale di intervento con tecniche di sola rimozione o di scambio del plasma per abbassare il livello di PFAS nei soggetti con valori ematici particolarmente elevati.
Lo screening prevedeva: un'intervista per individuare abitudini di vita non salutari e informazioni e consigli su come proteggere la propria salute; misurazione della pressione arteriosa; alcuni semplici esami del sangue e delle urine per valutare lo stato di salute di fegato, reni e tiroide e l'eventuale presenza di alterazioni del metabolismo dei grassi e degli zuccheri; il dosaggio di dodici sostanze PFAS nel siero.
Se dai risultati dello screening emergeva che i PFAS e gli esami ematochimici erano nella norma, il soggetto veniva richiamato per un successivo screening dopo 24 mesi; se i PFAS erano elevati e gli esami ematochimici erano alterati, il soggetto poteva usufruire del "trattamento per alte concentrazioni di PFAS", che prevedeva la Plasmaferesi o lo Scambio Plasmatico come possibili trattamenti per ridurre le concentrazioni di queste sostanze.
La Plasmaferesi è una procedura che consiste nella rimozione del plasma senza necessità di sostituzione per il basso volume sottratto.
Lo Scambio plasmatico (Pex), consiste invece nella rimozione di elevati volumi di plasma con sostituzione di equivalente volume di soluzione di sostituzione (fisiologica albuminata 4%) ed è una procedura utilizzata a scopo terapeutico.
Le linee guida della Società Americana di Aferesi (ASFA 2016) prevedono l'utilizzo dello Scam-

bio plasmatico nel trattamento di avvelenamento da funghi o da sostanze chimiche o da farmaci che si leghino a proteine plasmatiche: il grado di evidenza e la forza della raccomandazione, Cat. II-III, 2C, sono ovviamente bassi, in quanto tali situazioni per motivi etici non si prestano a studi randomizzati e controllati, unico strumento per raggiungere evidenze superiori.
PFOA e PFOS non sono specificamente citati tra le sostanze tossiche suscettibili di rimozione e d'altra parte nessuna sostanza è citata; peraltro i casi di contaminazione da sostanze perfluoroalchiliche sono stati finora un numero limitato.
Non possono esistere evidenze scientifiche circa l'efficacia della plasmaferesi sulla rimozione delle sostanze PFAS.
Ovviamente il limite della salasso terapia è dato dalla piccola quantità di plasma sottratto ad ogni salasso e dalla necessità di limitare il numero delle procedure per evitare l'anemizzazione dei soggetti. Nelle procedure di salasso terapia, posto un ematocrito di 45%, la quantità di plasma sottratto a fronte di un salasso di 450 ml è pari a circa 250 ml; nelle procedure di plasmaferesi, per soggetti di peso superiore a 50 kg, secondo quanto previsto dalle normative che regolano la donazione di sangue ed emocomponenti (D.M. 02/11/2015), è possibile sottrarre fino a 600 ml di plasma ad ogni procedura e tali procedure possono essere ripetute a distanza di 14 giorni per un volume massimo annuale pari a 12 L. Anche nelle procedure di scambio plasmatico il volume sottratto e, in questo caso, sostituito, varia a seconda del peso e dell'ematocrito del soggetto: in un adulto con parametri medi normali (65 Kg di peso corporeo, 45% di ematocrito) il volume plasmatico è pari a 2300 mL: ad ogni procedura viene rimosso l' 80% del plasma circolante (1850 mL), determinando, per il fattore diluizione, uno scambio effettivo pari al 55% del volume plasmatico.
Il programma regionale, al quale l'adesione era su base volontaria, era così articolato:
– i soggetti maggiorenni che presentavano valori di PFOA allo screening compresi tra 150 e 200 ng/ml e i soggetti minorenni (nati prima del 31/12/2002) che presentavano valori di PFOA allo screening compresi tra 100 e 200 ng/ml erano invece invitati a contattare il Centro Trasfusionale di Vicenza per una valutazione in merito alla procedura di plasmaferesi. Lo schema di trattamento prevedeva 6 Plasmaferesi, 1 ogni 15 giorni. Ad ogni seduta la rimozione di plasma era pari a 616 ml nei soggetti di peso ≥ 50Kg e proporzionalmente inferiore per peso corporeo minore;
– i soggetti che presentavano valori di PFOA allo screening maggiori di 200 ng/ml erano invitati tramite consegna al soggetto di un'informativa a contattare il Centro Trasfusionale di Padova per una valutazione in merito alla procedura di scambio plasmatico. Lo schema di trattamento prevedeva 3 procedure di scambio plasmatico, 1 a settimana. Ad ogni procedura la rimozione di plasma era pari all'80% del volume plasmatico e il liquido rimosso veniva sostituito con soluzione fisiologica più albumina al 4% [7] [8].
La plasmaferesi e lo scambio plasmatico, le due tecniche utilizzate dai sanitari del Veneto per abbattere la presenza di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS e PFOA) nella popolazione interessata al grave inquinamento di queste sostanze verificatosi in alcuni Comuni delle province di Vicenza, Verona e Padova, funzionano e, sinora, con un centinaio di casi trattati, senza il verificarsi di effetti collaterali, hanno determinato una discesa media di presenza di inquinanti nel sangue pari al 35% con la Plasmaferesi, e del 68% con lo scambio plasmatico [9].

2.4 Uno studio americano conferma (2022)
Di recente sul Journal of the American Medical Association è stato pubblicato uno studio, condotto dai ricercatori della Macquire University di Sydney, in Australia, che sembra andare proprio in questa direzione. L'indagine ha permesso di scoprire che la donazione periodica contribuirebbe ad abbassare i livelli di PFAS in circolazione.
Lo studio in questione ha coinvolto 285 vigili del fuoco appartenenti al Fire Rescue Victoria che hanno regolarmente donato sangue e plasma più volte nel corso di un anno. Una scelta

non casuale, visto l'utilizzo dei PFAS per le schiume ignifughe, che rende i pompieri ancora più a rischio rispetto al resto della popolazione.
I ricercatori hanno suddiviso i pazienti in tre gruppi da 95 ciascuno: il primo ha donato sangue ogni 12 settimane, il secondo plasma ogni 6 e il terzo né l'uno e né l'altro. Mentre nell'ultimo i livelli di PFAS sono rimaste uguali, negli altri due, in particolare in quello che ha donato il plasma, si è registrata una riduzione fino al 30%. La spiegazione dei risultati di questo studio, il primo nel suo genere, starebbe nel fatto che i PFAS si legano alle proteine sieriche del sangue, cioè il plasma: ecco allora che una sua riduzione contribuirebbe ad abbassare il livello di queste sostanze [9].

3. Conclusioni
Gli studi effettuati fino ad oggi sono un ottimo punto di partenza ma certamente saranno necessari ulteriori approfondimenti.
Va certamente segnalato che i soggetti trattati non hanno avuto effetti collaterali, ma per correttezza scientifica si riportano sinteticamente quali sono gli effetti collaterali della plasmaferesi: emorragia o ematoma nel punto di inserimento dell'ago.
Se è stato inserito un catetere, può avvenire una emorragia intorno alla zona di inserzione; l'uso del catetere facilita le infezioni batteriche e i batteri possono entrare nel circolo ematico e causare sepsi; deve essere posta grande attenzione a tenere il catetere pulito e asciutto; l'anticoagulante comunemente usato nella plasmaferesi è il citrato che ha la tendenza a legarsi al Calcio nel sangue, causando bassi livelli di Calcio che possono essere pericolosi. Come prevenzione il Calcio deve essere somministrato endovena o per bocca durante la procedura; un'altra complicazione possibile durante il trattamento è l'abbassamento della pressione del sangue. I pazienti possono accusare vertigini, giramenti di testa, svenimenti; dato che il plasma contiene i fattori di coagulazione del sangue, la sua rimozione può causare temporaneamente una ridotta capacità del sangue a coagulare.
Va infine segnalato che la plasmaferesi e lo scambio plasmatico sono misure "tampone", è invece necessario agire a monte, ovvero sull'acqua. È auspicabile che, terminata la mappatura dei PFAS nelle acque italiane, quando entrerà in vigore la nuova Direttiva, dove verranno registrare criticità verranno installati filtri a carboni attivi negli acquedotti.

Bibliografia

[1] **European Environment Agency**. *Cosa sono i PFAS e quanto sono pericolosi per la mia salute*.
[2] **Nano system** (2023). *PFAS nel sangue: effetti sulla salute delle sostanze perfluoroalchiliche*.
[3] **Direttiva (UE) 2020/2184** del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano.
[4] **Pigato E.** (2022). *PFAS: il Politecnico di Milano ha scoperto come eliminarli definitivamente dall'ambiente*, su L'Eco Vicentino.
[5] **Broccoli A. et al.** (2020). *Ematologia. Corso di malattie del sangue e degli organi emolinfopoietici*. Società editrice Esculapio.
[6] **International Waldenstrom's Macroglobulinemia Foundation** (2015). *Plasmaferesi – scheda informativa*.
[7] **Azienda Ospedaliera Universitario di Padova** (2017). *Primi risultati aggiornati al 14.12.2017 relativi all'applicazione II livello del protocollo di screening della popolazione esposta a sostanze perfluoroalchiliche a seguito dell'utilizzo della plasmaferesi per i soggetti con alte concentrazioni di PFAS*.
[8] **Linee Guida della Società Americana di Aferesi ASFA** (2016). *Guideline on the clinical use of apheresis procedures for the treatment of patients and collection of cellular therapy products*.
[9] **Regione Veneto** (2017). *Comunicato stampa n. 1714 del 15 dicembre 2017 PFAS. Presentato studio sanitario in Veneto. Plasmaferesi e Scambio Plasmatico funzionano. Abbattimento medio nel sangue tra 35% e 68%*.
[10] **Gasiorowski R.** (2022). *Effect of Plasma and Blood Donations on Levels of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in Firefighters in Australia.A Randomized Clinical Trial*, su Journal of the American Medical Association.

PIANI, STRATEGIE E SOLUZIONI PER ATTUARE LA NUOVA DIRETTIVA SULLE ACQUE REFLUE URBANE E AFFRONTARE LE SFIDE DELLA FUTURA DIRETTIVA SUI FANGHI: CASI DI STUDIO EUROPEI E ITALIANI

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA-CNR), Università di Brescia, UT ILIT ALIA, Università Politecnica delle Marche**

La nuova direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane apre la strada a una gestione intelligente, sostenibile e circolare delle acque reflue, tenendo conto delle nuove fonti di inquinamento urbano, sempre più diffuse (come i piccoli agglomerati, le infrastrutture decentrate o le acque meteoriche), nonché dei nuovi inquinanti emergenti, tra cui le microplastiche e i microinquinanti. Inoltre, il settore delle acque reflue sarà neutrale dal punto di vista energetico e climatico e contribuirà all'economia circolare migliorando la qualità dei fanghi e delle acque reflue trattate, consentendo un maggiore riutilizzo in agricoltura e garantendo che le risorse preziose non vadano perse. Nel fare ciò, gli Stati membri dovranno rispettare anche la nuova Direttiva sui fanghi di depurazione, in attesa di un'imminente revisione. La conferenza intende dare un contributo per delineare il quadro di ciò che è già in corso in questi settori e con quali prospettive e soluzioni tecniche. Il passaggio alla circolarità e all'inquinamento zero richiede una complessa combinazione di un quadro normativo adeguato, di nuove tecnologie e di un coordinamento efficace tra diversi settori e stakeholder, qui rappresentati.

Presidenti di sessione:
Camilla M. Braguglia, IRSA-CNR
Giorgio Bertanza, Università di Brescia
Tania Tellini, Utilitalia

Tecnologia e Regolazione spingono lo sviluppo dello smart metering

Francesco Albasser – francesco.albasser@gmail.com – Milano

Riassunto

L'articolo, dopo una sintesi dello status del sistema idrico con le maggiori criticità, esamina le ragioni del potenziale effetto sullo sviluppo dello smart meterig della tecnologia e dei recenti provvedimenti regolatori: mentre la tecnologia ha reso disponibili sistemi di misura con alta precisione metrologica e facile interfaccia con i sistemi di trasmissione, ora disponibili a prezzi competitivi, contestualmente la regolazione della qualità tecnica (RQTI) introduce nuovi parametri al sistema: il parametro M0 resilienza per monitorare l'efficacia attesa dell'articolato e complesso sistema degli approvvigionamenti idrici dei Gestori.

Summary

The article, after a summary of the status of the water system with the most critical issues, examines the reason potential effect on the development of smart meterig technology and up to date regulatory rules: while technology has made available metering systems with high metrological accuracy and easy interface with transmission systems,now available at competitive prices, at the same time the regulation of technical quality (RQTI) introduces new parameters to the system: the M0 resilience parameter to monitor the expected effectiveness of the articulated and complex system of water supplies of the Utilities.

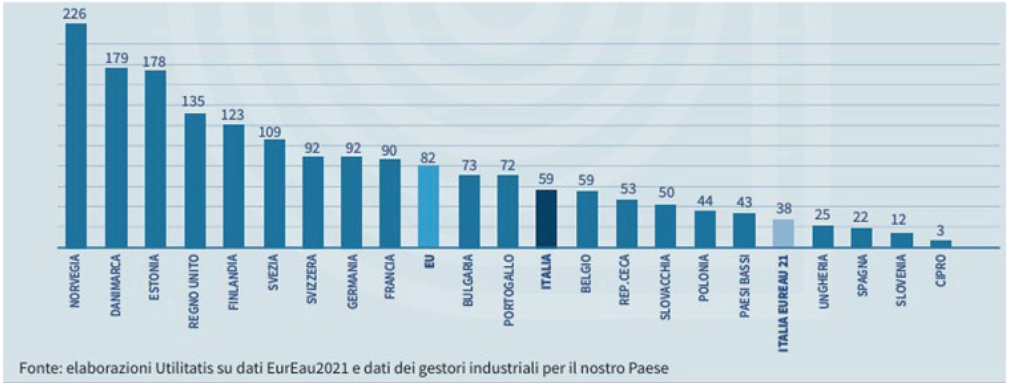
1. Il contesto attuale del ciclo idrico

Le recenti emergenze climatiche stanno imprimendo una decisa accelerazione verso la risoluzione delle criticità strutturali del sistema idrico, ma alcuni dei temi critici sono rimasti sul tappeto. La frammentazione gestionale permane, in proporzione, un tema rilevante anche se ormai con valore ad un solo decimale: dalla edizione 2023 del Blue Book si rileva la dimensione del tema del nanismo gestionale (Tab.1) tuttora esistente ancora con un consistente mix, quantificato in termini di popolazione servita nel 9,4 %, di Gestioni in Economia, corrispondenti a circa 1519 Comuni.



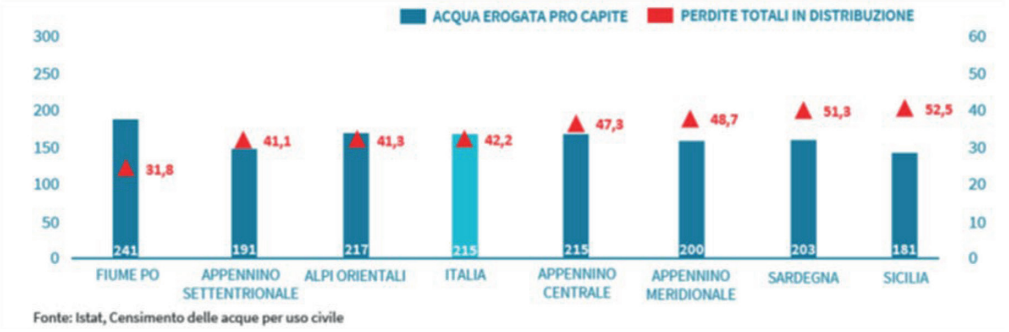
Tab. 1 – *Situazione gestionale per tipologia e per classe di popolazione (Blue Book 2023)*

La maggior parte delle gestioni in economia interessa il Sud Italia dove sono ben 1.206 i Comuni (il 79% dei Comuni sul dato nazionale) che gestiscono il servizio idrico in proprio, pari a circa 7,7 milioni di persone (il 39% della popolazione della macroarea).
A parte questo trend a due velocità tipico dell'Italia, in assoluto critica rimane la situazione delle infrastrutture del sistema idrico italiano: il grafico riportato (Tab.2) dà conto dell'indice del trend degli **investimenti pro capite** in Italia per le realtà pubbliche rispetto a quello medio UE (59 su 82 €/ab) per il 2021: su tale criticità si inserisce il recente sforzo derivante dalla disponibilità dei fondi del PNRR dell'obiettivo 4.2, che hanno reso disponibili 900 Ml € oltre ai 476 del React EU al Sud. Il gap con i valori medi della UE, pur essendo in progressiva riduzione, grazie anche all'utilizzo dei fondi PNRR, mostra mediamente la fragilità del sistema idrico italiano rispetto alla media UE, pur dovendosi tenere conto delle difficoltà orografiche del nostro paese.
In termini prospettici nel prossimo futuro per fronteggiare gli effetti della crisi climatica, responsabile dell'ulteriore criticità geografica locale dell'approvigionamento idrico, con riferimento diretto agli interventi infrastrutturali, una recente analisi di Utilitalia, associazione dei player del settore pubblico, ha indicato un fabbisogno di 10 MLD € per i prossimi 10 anni.



Tab. 2 – *Target degli investimenti pro capite (€/ab)in Italia e nella UE (Blue Book 2024)*

Passando dai valori economici ad una disamina gestionale, la criticità dirimente che condiziona lo sviluppo del sistema distributivo è sicuramente rappresentato dal tema delle perdite.

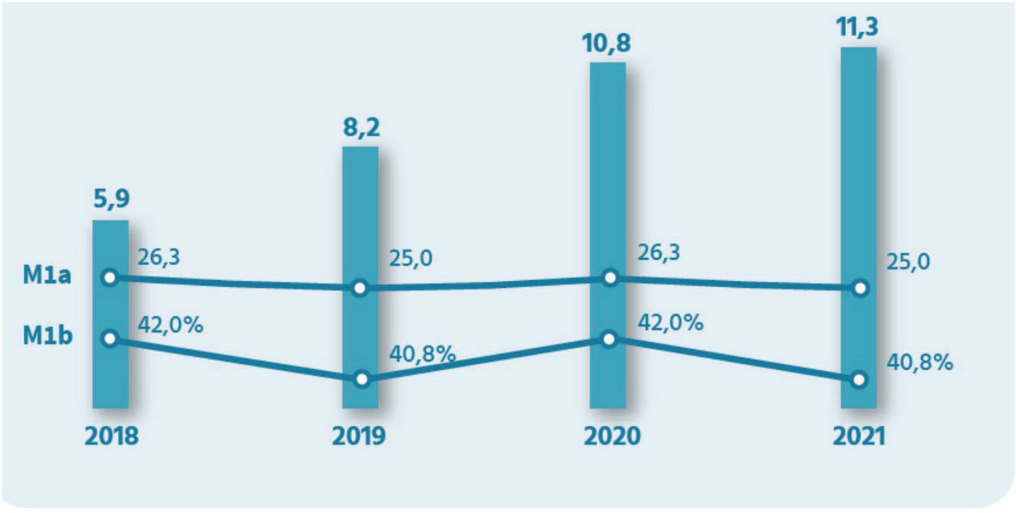


Tab. 3 – *Perdite totali medie Italia e nei distretti idrici e volume di acqua erogata giornalmente(Istat 2023)*

Il grafico riportato (Tab.3) da Istat 2023, mostra il livello Italiano di perdite totali nella distribuzione riferito al 2020 ed il consumo medio pro capite pari a 215 litri abitante /giorno, valore che è quasi il doppio del consumo medi dei paesi EU (120 l/ab/gg).
Per avere una idea delle dimensioni del problema basti pensare che, con il rateo dei volumi delle perdite annuali, si potrebbero alimentare circa 30 Ml/anno di utenti.
Il duplice fattore di criticità costringe i Gestori a emungere dalle fonti sia superficiali che sotterranee una quantità di acqua 2 volte superiore a quella necessaria se rispettassimo gli standard UE sulle perdite e sui consumi, con uno speco energetico facilmente quantificabile.

2. I macro indicatori del sistema qualità Regolatorio

I segmenti del ciclo idrico, che sono stati il focus dell'attività Regolatoria, sono la adduzione e la distribuzione acqua insieme alla fognatura e depurazione: con il provvedimento 2023 la Regolazione introduce un parametro riferito alla captazione, ma in generale a tutto il segmento acqua.
Con la introduzione del sistema dei 6 **parametri tecnici** ARERA fin dal 2017 ha previsto un monitoraggio ed incentivi verso la efficienza dei vari macro indicatori riferiti ai segmenti acqua fognatura e depurazione.
Il macro indicatore che tipicamente misura la efficienza idrica è quello delle **perdite** di rete sia % che rapportate alla lunghezza di rete: infatti il suo monitoraggio su base annuale consente di verificarne lo stato, ed incentiva i Gestori a performances migliorative, consentendo di godere di volumi di fatturato incrementali.
A distanza di qualche anno ci si sta rendendo conto del rapporto tra gli sforzi economico-finanziari dedicati dalle Utilities negli anni 2018 2021 (€/ab) al settore (circa il 15% del totale) e l'andamento conseguente dei macro indicatori tecnici **M1a** (perdite /km rete) ed **M1b** (%) rilevato nell'anno (Tab.4).
Trattandosi di un sistema complesso, il processo risulta lungo e articolato: l'obiettivo di efficientare tutto il sistema richiede quindi un **progetto** e l'uso di tecnologie idonee.
Gli strumenti per misurare i vari parametri richiedono un sistema di monitoraggio in tempo reale: solo un sistema **integrato** di smart metering può supportare con precisione e affidabilità i parametri di riferimento richiesti.



Fonte: Elaborazioni Utilitatis su predisposizioni tariffarie e RQTI gestori

Tab. 4 – *Correlazione tra trend degli standard RQTI Mb1a ed M1ib (perdite) e investimenti dedicati (Ml€) tra il 2018 ed il 2021 (Blue Book)*

3. La tecnologia

Un forte impulso all'inserimento massivo di contatori smart è rappresentato anche dagli effetti del provvedimento DM 93/2017: infatti la *dead line* metrologica introdotta dal D.M. 93/2017,ormai scaduta, comporta che la misura conteggiata dal misuratore dopo il superamento della vita legale metrica, non è più una **misura legale utilizzabile** per la fatturazione. In altri termini il contatore fornirà una stima e non una misura legale per la fatturazione con tutti gli effetti conseguenti. Tale rischio, che dovrebbe costituire un convincente **deterrente** avverso la inazione, sinora rappresenta un rischio per le utilities: ora è chiaro che **tutti i contatori installati** devono esser oggetto di sostituzione in base al solo parametro della età, ormai stabilita per tipologia di contatore.

Lo sviluppo massivo degli smart meters, cui stiamo assistendo, è sicuramente determinato dai fattori citati, ma è stato favorito da due elementi che hanno influito sulle scelte e decisioni delle utilities: la tecnologia e la dead line Regolatoria.

Ricordiamo che la disponibilità di sistemi di trasmissione con protocolli interoperabili (NB IOT, Lora Wan, 868 MHz., 169 MHz.) di recente disponibilità, consente la raccolta dei dati sia da utenze che da punti di captazione e alimenta una SAC che governa l'archivio dei *big data,* in grado di elaborare standard e macro indicatori-parametri utili per la gestione.

Storicamente gli smart meters sono comparsi in Italia sin dal 2012 anni con particolari caratteristiche: i primi avevano tecnologia elettromagnetica e disponevano di precisione metrologica elevata (R800) e nel contempo disponevano di radio per trasmissione dei big data.

E potevano, se opportunamente settati, fornire dati certificati per individuazione perdite oltre a supportare la gestione morosità e il rilevo di prelievi anomali in tempo reale.

Indubbiamente dopo quei primi sviluppi commerciali ad opera di market leaders mondiali con la tecnologia elettromagnetica, molti sono i costruttori, anche italiani, che hanno reso disponibili smart meters con alta qualità metrologiche e con tecnologia prevalentemente ultra sonica: solo però il combinato disposto di poter avere un sistema di trasmissione radio con protocolli interoperabili quali NB IOT, Lora Wan, 868 MHz., 169 MHz. ha reso possibile lo sviluppo di sistemi in grado di abbinare oltre ai vantaggi di acquisire consumi in tempo reale, per il billing, di elementi per la digitalizzazione dei consumi, in grado di raccogliere un data base essenziale per programmare le scelte del segmento distribuzione.

La tecnologia oggi rende disponibili, a prezzi decisamente interessanti, sia la tecnologia della trasmissione dati che quella della metrologia, spinta verso valori di precisione molto elevati quali quelli di R800, in grado di misurare la goccia.

Al 2024 traguardando le sperimentazioni di questi anni, incentivate sin dal lontano 2013 dalla Regolazione, ci si chiede perché digitalizzare possa portare significativi vantaggi alle Utilities Italiane. Proviamo a trovare una risposta elencando le motivazioni:

• La rete idrica distributiva dell'acqua potabile ha infrastrutture che per il 24% hanno più di 50 anni e il 36% ha una età tra 31-50 anni a fronte di una vita utile (ARERA) di 40 anni: ciò significa che il 25% delle tubazioni posate ha superato la vita utile (cfr. Mambretti Poli Mi)

• Il rateo di sostituzione della rete è oggi di circa 4 metri/km/anno: servirebbero **62 anni** per raggiungere il rateo di 100% di sostituzione, senza contare il regresso di invecchiamento.

• Il fabbisogno idrico pro capite è circa il doppio di quello medio europeo (215/120 l/ab/gg): considerando il valore del 42% di perdita medio delle reti la captazione e la distribuzione devono immettere volumi di quasi il **200% superiori** a quelli necessari alla media UE

• I sistemi di misura hanno al 34 % mediamente una **età > di 15 anni** e forniscono dati solo puntuali affetti da errori metrologici consistenti (perdite app.)

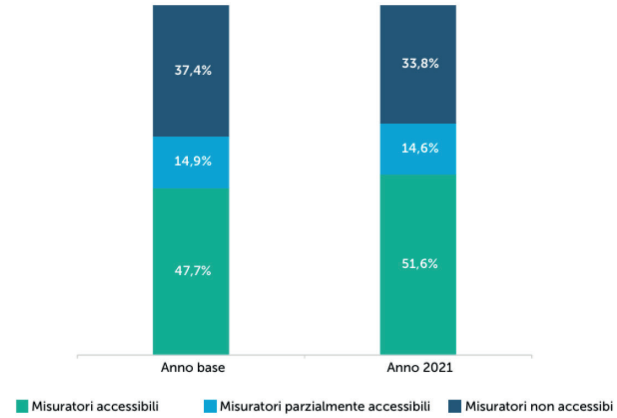
• La digitalizzazione dunque può supportare i dati riguardo sia alle **infrastrutture** provenienti dalle tecniche BIM di progettazione che da parametri **gestionali** che pervengono solo dagli

smart meters, se opportunamente archiviati nel SAC, per indirizzare gli interventi necessari alla efficienza gestionale
• Non potendo disporre di risorse infinite, solo la digitalizzazione può consentire di finalizzare le risorse finanziarie esistenti ad un oculato utilizzo per la sostituzione delle infrastrutture e un razionale turno over

4. La Regolazione
Quanto al ruolo della Regolazione, la istituzione del sistema qualità RPQI ha sin dal 2017 tracciato un percorso di incentivazione verso la efficienza gestionale che sta dando, con un particolare rapporto costi benefici (Tav. 4), i risultati attesi.
Tanto che nel corso del 2023 i provvedimenti tariffari introducono altri due incentivi: un'estensione dell'approccio già adottato nel MTI-3 per valorizzare interventi per la sostenibilità energetica e ambientale e la resilienza, a fronte del "Climate Change", al fine di potenziarne l'efficacia, con l'ausilio di un primo impiego delle risorse del Fondo per la promozione dell'innovazione di cui all'articolo 36-bis del MTI-3, del riutilizzo delle acque reflue depurate (nel rispetto del principio di "Water Conservation") e la minimizzazione delle quantità di energia elettrica acquistata (incentivando il risparmio energetico e/o l'autoproduzione di energia).Le motivazioni di tale innovazione derivano dal "Climate change" in atto ed in particolare anche dall'obiettivo di favorire la realizzazione di opere volte ad incrementare la resilienza dei sistemi idrici con introduzione di un nuovo macro-indicatore, denominato "**M0-Resilienza idrica**", che monitori l'efficacia attesa dell'articolato e complesso sistema degli approvvigionamenti: a fronte delle previsioni, in ordine al soddisfacimento della domanda idrica nel territorio gestito, includendo anche gli usi diversi dal civile, si terrà conto del rapporto tra la sommatoria dei consumi richiesti dai diversi usi della risorsa (civili, irrigui e industriali) e la disponibilità idrica totale del territorio. Per la determinazione di questa ultima si potrà fare riferimento alle concessioni di prelievo di acqua superficiale o sotterranea, ed ai conseguenti "moduli" prelevati o volumi autorizzati.
Nasce quindi la idea di una maggiore integrazione tra chi utilizza la risorsa idrica potabile e la pianificazione sovraordinata che viene fatta dalla Autorità di Distretto, che ha il compito del monitoraggio di tutti gli usi della risorsa sul territorio.
Queste novità individuano per i Gestori una diversa connotazione del segmento rispetto al passato: viene infatti ricompresa nel perimetro delle competenze regolatorie del Gestore anche quella relativa all'emungimento di acqua per tutti gli usi oltre quello potabile (M0b). Si introducono quindi due variabili, la prima tesa a valutare la fase di emungimento di materia prima rendendo disponibile agli usi potabile e l'altra prevista per tutti gli usi idrici.
Con il provvedimento 26 – 2024 infine si presenta il quadro degli aggiornamenti del RQTI con il nuovo parametro M0 declinato su M0a – *Resilienza idrica a livello di gestione del servizio idrico integrato*, e M0b *Resilienza idrica a livello sovraordinato* e si provvede inoltre a rimodulare in quantità e peso gli indici obiettivi presenti come i macro indicatori M1-M6 istituiti alla fine del 2017 sia in termini di una incentivazione coerente con i nuovi obiettivi derivanti dal *climate change,* ma anche per poter gestire numericamente i 7 parametri tecnici al posto dei 6 a partire dal biennio 2024 2025 con peso adeguato per il parametro M0, demandando le corrispondenti incentivazioni al successivo biennio 2026 2027.
La estensione del campo regolatorio nel segmento della captazione spinge i Gestori a utilizzare le tecnologie del metering anche in questo settore, al fine di poter meglio raggiungere l'obiettivo di carattere generale di ogni acquedottistica, di poter disporre degli elementi numerici di un bilancio idrico del sistema dalla captazione alla distribuzione con cadenza giornaliera.

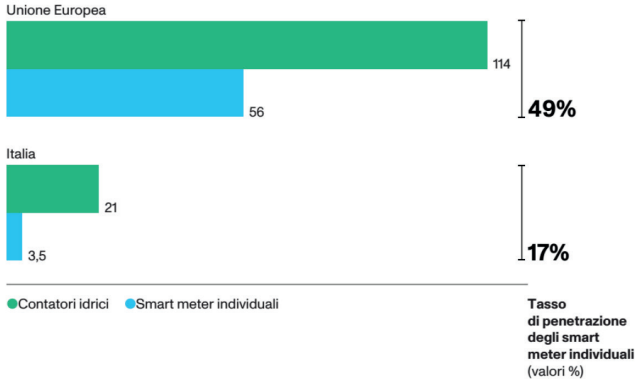
5. Le conclusioni
Una analisi dei risultati raggiunti al 2022 deve partire dalle condizioni al contorno che riguardano il settore delle misure. Partendo dallo stato delle misure, il grafico con dati 2022 (Tab.5) mostra

un incremento medio nazionale della quota di volumi di processo misurati (WP) del 2% e, al contrario, una riduzione –seppure lieve – della quota di volumi di utenza misurati (WU) dello 0,6%.
Rispetto all'anno 2016, si registra al 2022 inoltre un incremento nel tasso di utenze dotate di misuratori accessibili agli operatori(4%), come mostrato nel grafico, anche se questo aspetto non è stato sufficientemente esteso da bilanciare il sopra citato calo di misurazione dei volumi di utenza rilevato con riferimento ai medesimi anni.
Gli smart meter sono la tecnologia abilitante per la digitalizzazione: infatti l'accesso a informazioni precise e di dettaglio permette, oltre alla digitalizzazione, di sensibilizzare i cittadini alla riduzione dei consumi idrici.



Tab. 5 – *Evoluzione dei parametri di accessibilità dei contatori italiani (Arera)*

Il loro sviluppo in Italia è ancora limitato: il Libro Bianco 2024 riporta una penetrazione smart del 17% (3 Ml cont.) sul totale del parco contatori individuali nel 2022, quasi 3 volte meno della media dell'Unione Europea pari al 49%(Tab.6).
È però da ricordare che solo qualche anno fa la penetrazione stimata era del 4%: il che da conferma che, sia in termini rateo sostitutivo che di scelta del tipo di contatore, l'indirizzo ormai univoco dei gestori sia verso un programma di sostituzione massivo con smart meters di ultima generazione, connessi alle reti informatiche dedicate.



Tab. 6 – *Tassi di penetrazione degli smart meters individuali in Italia ed in UE al 2023 (Libro Bianco2024)*

6. Le criticità residue

Il quadro che abbiamo tracciato lascerebbe pensare che, nel settore della misura, avviata verso la smartizzazione dei contatori, ci siano solo rose e fiori: ma non è così.

Infatti non avendo la Regolazione mai stabilito degli standard tecnici sia per la metrologia ma soprattutto per la trasmissione dati, al contrario di quanto avvenuto per i contatori di gas, si tratterà di capire, al momento di sintetizzare tutti i dati a livello nazionale, che cosa succederà.

Allo scopo UNI ha istituito un gruppo di lavoro che analizza le tematiche derivanti dalla mancanza di una standardizzazione tecnica del settore: infatti il Gruppo di lavoro "Smart meters e smart grids" della Commissione tecnica "Metrologia" (UNI/CT 027/GL 03) è chiamato ad elaborare una Specifica tecnica che si propone di definire i criteri di interoperabilità per apparati di differenti costruttori relativi alle funzioni a valore aggiunto in un contesto di smart grid e smart city.

Si tratta di capire se i risultati potranno evitare un proliferare di soluzioni tecniche nel settore del metering che, non comunicando tra loro, possano in parte vanificare i risultati che l'attuale diffusione di smart meters potrebbe apportare, non solo a livello di singola utility ma a livello nazionale.

La fattibilità dei laghetti collinari per il riuso delle acque reflue urbane

Ernesto Infusino ernesto.infusino@unical.it, Giuseppe Frega Dipartimento Ingegneria dell'Ambiente Università della Calabria Ponte P. Bucci cubo 42B Rende (CS)

Riassunto

I laghetti collinari hanno avuto in Italia un grande sviluppo nella seconda metà del secolo scorso contribuendo al fabbisogno idrico in agricoltura e zootecnia in aree svantaggiate; infatti hanno permesso la sostituzione degli ordinamenti colturali a basso reddito basati sulla cerealicoltura estensiva con i più remunerativi ordinamenti ortofrutticoli. I laghetti collinari possono oggi trovare un nuovo sviluppo, attesa la crescente crisi idrica, nell'accumulo, in tutto o in parte, di acque non convenzionali quali i reflui depurati provenienti dai piccoli centri abitati. Si propongono quindi alla luce dell'attuale normativa criteri per la fattibilità di tali impianti.

Summary

Hilly ponds have had a great development in Italy in the second half of the last century, contributing to the water needs in agriculture and livestock farming in disadvantaged areas; in fact, they have allowed the replacement of low-income cultivation systems based on extensive cereal cultivation with more profitable fruit and vegetable systems. Hilly ponds can now find a new development, given the growing water crisis, in the accumulation, in whole or in part, of unconventional waters such as purified wastewater from small towns. In light of current legislation, criteria for the feasibility of such plants are therefore proposed.

1. Introduzione

Le Nazioni Unite nell'Agenda 2030 hanno posto l'accento su come: "*circa il 70% dell'acqua estratta da fiumi, laghi e acquedotti è usata per l'irrigazione*" e auspicano di "*Aumentare considerevolmente entro il 2030 l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua*" (Obiettivo 6), al fine di affrontare la carenza idrica incombente anche attraverso il riciclaggio delle acque reflue trattate. Il riutilizzo delle acque è infatti attualmente poco praticato: basti pensare che la Water Reuse-Ambiente della Commissione Europea lamenta che solo $1x10^9$ m^3/anno di acque reflue urbane provenienti dai Paesi membri è riutilizzato contro un potenziale stimato di $6x10^9$ m^3/anno.

I laghetti collinari sono una specifica categoria di piccoli invasi di origine artificiale che accumulano per lo più acqua piovana e di ruscellamento e i cui sbarramenti hanno un'altezza <10 m e capacità di accumulo <100.000 m^3; essi sono in genere a servizio di aziende agricole che l'utilizzano per l'irrigazione. Sono presenti in Italia 12.000-14.000 laghetti collinari con un volume totale invasato di circa 500 $x10^6$ di m^3 di cui più di 1/3 sono in Lombardia, segue la Sicilia, l'Emilia Romagna e il Veneto (fig.1), assicurando un volume irriguo, in genere di qualità, di circa il 4,68% del totale; la loro realizzazione è da sempre improntata secondo criteri di semplicità. In Italia tali impianti sono normati dal D.P.R. 1363/59, dalla Legge 36/94 e dal D.P.R. 238/99, art. 6 della l. 08/07/1986 n. 349, N.T. del D.M. 26/06/2004.

2. Fabbisogno idrico in agricoltura

L'utilizzo di acqua dolce per vari scopi civili è in aumento in tutto il mondo in conseguenza della crescita della popolazione, dello sviluppo economico e del cambiamento dei modelli di consumo: basti pensare che la richiesta mondiale attualmente è stimabile in 4,6 $x10^{15} m^3$/anno con una previsione per il 2050 di 6.0 $x10^{15} m^3$/anno volumi, difficili da garantire, a causa dei cambiamenti climatici in corso, e già oggi l'11% dei paesi Europei è colpito da stress idrico [1].

In particolare in Italia i volumi d'acqua destinati all'irrigazione nel 2010 erano di circa $11,6x10^9$ m^3/anno a fronte di una superfice irrigata di poco inferiore a 25.000 km^2 (fig. 2) e quindi un volume medio specifico consumato annualmente di 4.457 m^3/Ha; i consumi presentano una forte variabilità da regione a regione [2], variazione non strettamente dovuta al clima, ma piuttosto alle colture praticate, alla disponibilità della risorsa idrica e alle diverse tecniche irrigue; infatti le regioni che consumano maggiori quantità di acqua per ettaro irrigato sono la Lombardia, con circa 8000 m^3/Ha, seguita dal Piemonte con circa 5.000 m^3/Ha, regioni in cui è maggiore la disponibilità idrica.

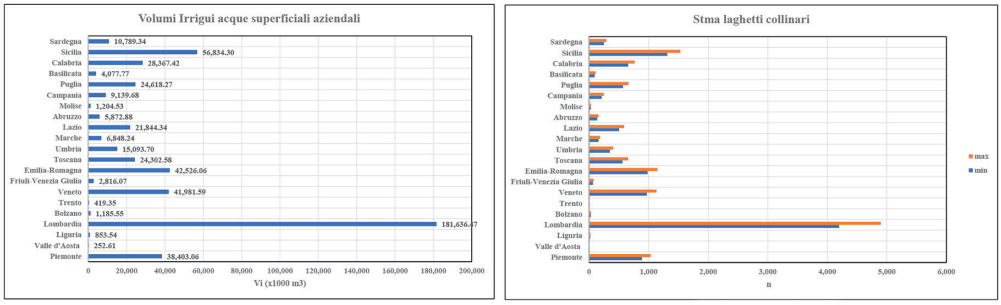


Fig. 1 – *Volumi irrigui da invasi aziendali (2010);stima del numero dei laghetti collinari per regione.*

Le regioni che consumano meno acqua sono quelle il cui territorio è prevalentemente montano. La superficie irrigua nazionale nel 2020 (7° censimento ISTAT dell'agricoltura) è aumentata del 3,7%, soprattutto nella regione Veneto, dove si è verificato un aumento di 107.358 Ha di superficie irrigata, con una maggiore richiesta di acqua per irrigazione stimabile in circa 267 $x10^6$ m^3/anno, e, in minor misura, delle regioni Emilia Romagna con 30.994 Ha (circa $90x10^6$ di m^3/anno) e Friuli Venezia Giulia con 24.163 Ha (circa $41x10^6$ m^3/anno). Molte delle restanti regioni hanno diminuito la loro superficie irrigua, in particolare nell'Italia centrale e nel Mezzogiorno, a causa della riduzione della risorsa idrica (fig.2). In Veneto, come anche in Emilia Romagna, per irrigare le maggiori superfici agricole si è ricorso al prelievo massiccio dalle falde (fonte ARPAV), prelievi che potrebbero aumentare il pericolo della subsidenza e dell'intrusione salina.

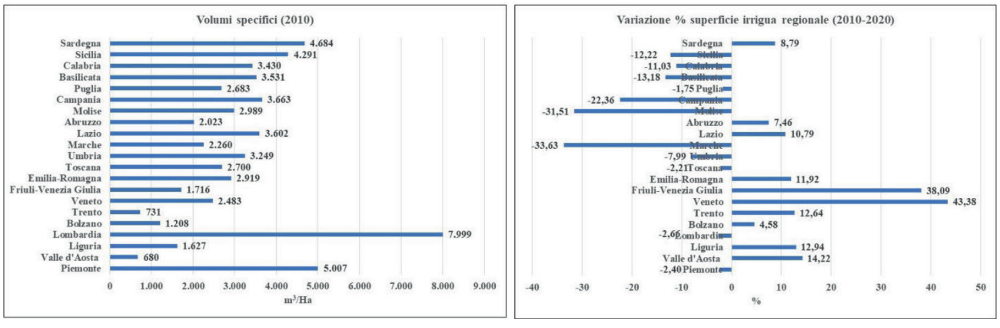


Fig. 2 – *Volumi specifici irrigui per regione e variazione % della superficie regionale registrata tra il censimento del 2010 e quello del 2020*

Attualmente l'acqua per irrigazione proviene per il 63% da acquedotti e consorzi di irrigazione, il 17,9% da acque sotterranee prelevate all'interno o nelle vicinanze delle aziende, l'11,0% da acque superficiali presenti al di fuori dell'azienda come laghi, fiumi o corsi d'acqua e, infine, il 4,7% da acque superficiali incluse nel perimetro aziendale (interne). Si evidenzia poi che il 62% dell'acqua è distribuito alle colture mediante sistemi di irrigazione a bassa efficienza (scorrimento superficiale, infiltrazione laterale e sommersione), mentre sono poco adottati quelli più efficienti quali aspersione (26,8%), microirrigazione (9,6%) e altro (1,5%). Si stima poi che le perdite idriche dovute al sistema di trasporto, ecc. siano dell'ordine del 30-40%.
Per mantenere produttivi gli ordinamenti irrigui è necessario quindi, ridurre in primo luogo le perdite idriche, aumentare l'efficienza e ricorrere a risorse non convenzionali quali il riutilizzo di acque reflue depurate, per come auspicato dal Regolamento UE 2020/741. I laghetti collinari possono oggi avere un ruolo importante nel sistema del riuso soprattutto nella raccolta dei reflui dei piccoli impianti urbani, potendo invasare in tutto o in parte, i reflui depurati dai piccoli comuni con popolazione <2.000 A.E., che in Italia sono 3.541 con una popolazione residente di 3.304.932 (tab.1). Il volume d'acqua potenzialmente riutilizzabile è quindi stimabile in circa 241×10^6 m^3/anno [3].

Fascia demografica	Comuni			Popolazione residente		
	Nord	Centro	Mezzogiorno	Nord	Centro	Mezzogiorno
da 1.000 a 1.999 ab.	796	179	547	1.157.926	263.942	790.664
da 500 a 999 ab.	631	113	378	461.179	84.730	283.934
meno di 500 ab.	622	64	211	174.414	19.388	68.755
Totale	2.049	356	1.136	1.793.519	368.060	1.143.353

Tab. 1 – *Distribuzione della popolazione in comuni <2.000 abitanti al 01/01/2022 (rielaborazione dati ISTAT).*

In base alla normativa vigente (D.L. 2/5/2006) si possono prospettare due utilizzi dei laghetti collinari: 1) come parte integrante dell'impianto di trattamento o recupero (c.1 l.b art. 2) e come tale le acque in uscita devono possedere requisiti di qualità chimico-fisici e microbiologici inferiori a quelli di cui alla tabella allegata al D.L. 2/5/2006; 2) come parte della rete di irrigazione (c.1 l. c art. 2), e quindi a valle del sistema di affinamento; in quest'ultimo caso l'uso delle acque affinate è liberamente consentito (Art. 14 c.2).
Criteri di dimensionamento
Per il dimensionamento degli stagni collinari si può ricorrere al bilancio idrico:

$$\Sigma Q_i - \Sigma Q_0 = dV/dt \quad (1)$$

dove: Qi=portata ingresso; Q_0=portata uscita; V=volume accumulo; t=tempo.
Le perdite dovute per evaporazione dalla superficie liquida devono essere prese in debita considerazione; a tal fine si possono utilizzare le formule di Valentini:

$$E = 75\ T \text{ per altitudine fino a } 200 \text{ m slm} \quad (2)$$

$$E = 90T \text{ per altitudine da } 200\text{-}500 \text{ m slm} \quad (3)$$

$$E = 90T + 300 \text{ per altitudine superiore i } 500 \text{ m slm} \quad (4)$$

dove E indica l'evaporazione annua [mm/m^2] e T la temperatura media annua [°C]. Atteso che la superficie dello specchio libero varia nel corso dell'anno le formule prima indicate possono essere applicate su base mensile per tener conto di dette oscillazioni.
Ulteriori perdite dovute a processi infiltrativi potranno essere contenute utilizzando in fase realizzativa sistemi di impermeabilizzazione.
All'interno dell'invaso si instaurano processi di: biodegradazione, precipitazione, scomparsa microbica, ecc. [4]. In considerazione dell'altezza d'acqua, le reazioni sono di tipo aerobico

nello strato superficiale per la presenza di O_2 (scambio atmosferico e fotosintesi) mentre a profondità via via crescenti, all'attenuarsi dell'energia radiante, diminuisce il contenuto di ossigeno, influenzato dalla stratificazione termica, e le reazioni biologiche sono prima a carico dei batteri facoltativi per poi passare a quelli anaerobici con un andamento dinamico tra notte e giorno a causa della respirazione algale [5] [6]. I processi anaerobici generano come sottoprodotti gas molesti che nel risalire gli strati sono bloccati dai processi aerobici. Negli invasi, a causa della presenza dei nutrienti (fosforo, azoto, potassio, ecc.) si possono istaurare delle condizioni trofiche con proliferazione di alghe verdi e brune mentre le alghe rosse sono rare. In prima approssimazione il laghetto, se alimentato con un basso fattore di carico superficiale, può essere assimilato a un reattore plug flow [7] [8]. Assumendo reazioni di primo ordine, la degradazione del substrato è rappresentata dalla seguente equazione:

$$(Co-C^*) /(Ci-C^*) = e^{-K1\, t} \quad (5)$$

dove: Ci=carico ingresso (mg/l); C_0=carico in uscita (mg/l); C*=concentrazione di fondo; K_1=tasso medio di reazione (d^{-1}) dell'inquinante alla generica temperatura T; t (d)=tempo medio di residenza idraulica. Con:

$$K_1=K_{1,20}\, \theta^{(T-20)} \quad (6)$$

dove: $K_{1,20}$ (d^{-1})=tasso medio di reazione alla temperatura di 20 °C; T=temperatura minima operativa, θ=1.085. $K_{1,20}$ per il BOD_5 dipende dal fattore di carico superficiale Fcs ($kgBOD_5$/ha/d); elaborando i dati forniti dall'U.S.E.P.A. si ottiene [9], [10], [11]:

$$K_{1,20}=0{,}0009Fcs+0{,}0272 \quad (7)$$

La formula (6) dipende dalla temperatura del liquido che secondo Mara [9] può essere assunta quella media del mese più freddo. La temperatura media dell'acqua dell'invaso, atteso che si istaura una stratificazione termica del liquido, è in genere di circa 2 o 3 °C più calda della temperatura dell'aria del periodo freddo; l'inverso si verifica nel periodo caldo; tale valore è confermato dalle rilevazioni di temperatura effettuate sull'invaso di Tarsia (altezza max 6 m) in cui si è riscontrata una differenza media rispetto a quella esterna di 1.8-2 °C [6].

Nel caso di sbarramento in terra, la morfologia del terreno di imposta del laghetto deve consentire un rapporto ottimale terra/acqua "R" e comunque dell'ordine di 0,25-0,35, anche se esso potrà in casi particolari raggiungere il valore 0,5. Il suddetto rapporto dipende dall'allargamento a monte della sezione di sbarramento e dalla pendenza del fosso nella zona di invaso che non dovrebbe superare il 7-8%. Per valutare in prima approssimazione il valore di R, nel caso di forma triangolare, stabilita l'altezza della diga, detta L la lunghezza massima dello specchio liquido e λ la lunghezza del coronamento, la superficie A dello specchio liquido potrà essere posta uguale a

$$A=L\, \lambda /2 \quad (8)$$

Il volume del laghetto potrà porsi approssimativamente pari a

$$V=Ah/2 \quad (9)$$

con h [m] altezza massima dello specchio liquido. La sezione massima della diga è:

$$\Omega=(B+b)H/2 \quad (10)$$

dove B e b sono la larghezza alla base e al coronamento [m] e H [m] l'altezza della diga che è data dall'altezza h aumentata del franco f [m]. La larghezza b al coronamento può essere determinata con la formula di Preece [12]:

$$b=1\div 1{,}1H^{0,5} \quad (11)$$

con b che non deve essere inferiore a 3 m.

Il franco è determinabile con la formula di Mallet e Pacquant:

$$f=0{,}5 + ((L)^{0,5}/3)+v^2/2g \quad (12)$$

con L [km], v [m/s] è la velocità di propagazione dell'onda e g l'accelerazione di gravità [m/s^2]. La componente cinetica è in genere trascurabile.

Il volume del rilevato di sbarramento potrà porsi pari a

$$Vr= \Omega\, \lambda /2 \quad (13)$$

Il rapporto terra/acqua è quindi pari a

$$R=(B+b)H/(Lh) \quad (14)$$

In prima approssimazione la (14) può essere semplificata come:

$$R\approx(B+b)/L \quad (15)$$

La (15) fornisce valori approssimati che potranno servire come indici di uno studio di fattibilità; infatti minore è il valore di R, minori saranno i costi di realizzazione dell'invaso, a parità di volume invasato.

La natura del terreno nella zona di imposta della diga deve essere tale da consentire carichi dell'ordine di 20-30 N/cm^2. La zona di imposta e le sponde del laghetto non devono presentare fenomeni franosi [13].

La distanza della zona da irrigare deve essere contenuta entro modesti limiti e non dovrebbe di norma superare i 700-800 m, anche nel caso di irrigazione a gravità che consente una notevole economia di esercizio. In una situazione ottimale si dovrebbe prevedere un laghetto a quota superiore di 30-35 m rispetto alla zona irrigua, onde consentire un'irrigazione senza sollevamenti, per ridurre le spese di gestione [13]. Se poi il sistema adottato di irrigazione è di tipo flessibile e di precisione si può aumentare la resa in termini di prodotto, anche del doppio, accompagnata sia da un minor consumo della risorsa idrica (circa il 30-40%) che dal recupero di nutrienti ancora presenti nelle acque [14] [15].

Il costo medio per metro cubo invasato è di circa 2,72 €/m^3 per R di circa 0,30: è evidente che i costi unitari diminuiscono all'aumentare del volume di invaso. L'invaso tende naturalmente all'interrimento, dovuto all'accumulo di fango trasportato dalle acque depurate che presentano ancora una aliquota di solidi sedimentabili non trattenuti dai processi, aliquota che può variare da 50 a 150 g/m^3. Nel caso in cui il laghetto raccolga anche acque di ruscellamento si deve tener conto del trasporto solido proveniente dal bacino imbrifero sotteso, il cui contributo dipende dallo stato del bacino e mediamente può stimarsi in 300/400 m^3/Km^2/anno, tanto da determinare un accumulo da 0,3-2% annuo [16]. Tutto ciò riduce la vita dell'impianto.

Sperimentazione concentrazione di fondo

La concentrazione di fondo C* (5) deve essere tenuta in debita considerazione; infatti, alcune sostanze presentano valori elevati nelle rocce, nei suoli e nelle acque superficiali e profonde anche con concentrazioni potenzialmente tossiche e a volte incompatibili con i limiti di cui al D.M. 02/05/2006 [17], [18], [19]. Per valutare la concentrazione di fondo si è effettuata una sperimentazione su quattro laghetti collinari siti sull'altopiano Silano in Calabria (Italia) posti tra 1.100– 1.300 m s.l.m., alimentati solo con acqua piovana e di ruscellamento. Si sono analizzate le acque superficiali (20 cm) e quelle prossime al fondo determinando le concentrazioni di BOD_5, COD, nutrienti e metalli pesanti secondo le metodiche APAT CNR IRSA. In tab.2 sono riportati i valori dei principali parametri analizzati; non sono riportati gli ulteriori parametri analizzati quali Be, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Se, Va, Zn le cui concentrazioni sono al di sotto dei limiti di rilevabilità strumentale. I valori più bassi di detta tabella si riferiscono ai campioni provenienti dalle acque superficiali. Da detta tabella si evidenzia che la concentrazione di fondo del Fe, Mn e N-NH_4, dovute alle caratteristiche geogeniche del sottobacino di alimentazione e delle terre di imposta degli argini, superano in alcuni casi i valori di cui alla tab.1 del D.M. 02/05/2006. Senza una attenta analisi si potrebbe concludere che le acque invasate nei laghetti dell'indagine non siano inidonee all'irrigazione. È necessario quindi che nel recepimento del regolamento CE 2020/741 (in vigore a giugno 2023), nel riuso delle acque in ambito agricolo (art.1) si tenga conto delle concentrazioni di fondo [20] dei parametri di cui all'Allegato 1.

Parametro	u.m.	valore	tab.1 (*)	Parametro	u.m.	valore	tab.1 (*)
pH		6,5-7,5	6-9,5	Al	mg/l	0,037-0,043	1
BOD_5	mg/l	5-7	20	Fe	mg/l	0,3097-5,994	2
COD	mg/l	12-17	100	Ba	mg/l	0,0022-0,0085	10
$N\text{-}NH_4$	mg/l	0,05-4,8	2	Bo	mg/l	0,01-0,0107	0,1
$N\text{-}NO_2$	mg/l	<0,01		Hg	mg/l	0,0008-0,0009	0,001
$N\text{-}NO_3$	mg/l	0,1-6,2		Mn	mg/l	0,0831-2,825	0,2
$P\text{-}PO_4$	mg/l	<0,01		Escherichia coli	UFC/ml	2-5	100
Ptotale	mg/l	<0,001	2				
*D. M. 02/05/2006							

Tab. 2 – *Principali parametri analizzati e limiti di cui al D.M. 02/05/2006.*

3. Conclusioni

I laghetti collinari, i cui costi di realizzazione sono contenuti, potrebbero essere utilizzati per invasare acque depurate provenienti dai piccoli centri urbani contribuendo così ad aumentare la risorsa idrica in agricoltura. È necessario però tenere in debita considerazione l'accettazione da parte del pubblico del riuso e i problemi connessi ai limiti imposti alle acque per fini irrigui.

Bibliografia

[1] **ISPRA**, "Le risorse idriche nel contest geologico del territorio Italiano". Rapporti 323, 2020.

[2] **ISTAT**, "6° Censimento Generale dell'Agricoltura utilizzo della risorsa idrica a fini irrigui in agricoltura". Istituto nazionale di statistica. Roma, 2014.

[3] **Infusino E.**, "Modalità di riutilizzo delle acque reflue ai sensi della legislazione vigente". L'ACQUA 3: 49-59, 2023.

[4] **Barbagallo S., Brissaud F., Cirelli G.L.S., Consoli, Xu P.**, "Modelling of bacterial removal in wastewater storage reservoir for irrigation purposes: a case study in Sicily, Italy". Water Supply 3 (4): 169–175, 2003.

[5] **Infusino E., Nigro G.**, "The influence of phytoplankton on lentic water quality". International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering URL 9th Edition, Milano, 26.-29 June. ANDIS 11: 1-4, 2012.

[6] **Infusino E., Callegari G., Cantasano N.**, "Il Trofismo delle acque lentiche. Il caso dell'invaso di Tarsia sul fiume Crati (Calabria)". AGRIREGIONIEUROPA, 10: 72-76, 2014.

[7] **De Rosa S., Infusino E.**, "Accertamento della funzionalità degli impianti di depurazione". Tecniche per la Difesa dall'inquinamento. Ed. BIOS. 20: 77-94, 2000.

[8] **Kadlec R. H., Wallace S. D.,** "Treatment wetlands". Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

[9] **Mara D.D.**, "Design manual for waste stabilisation ponds in India". Lagoon Technology International Ltd. Leed., 1997.

[10] **U.S.E.P.A.**, "Design manual: municipal waste stabilization ponds". EPA-625-1-83– 0115. Office of Water. Cincinnati Ohio, 1983.

[11] **U.S.E.P.A.**, "Principles of Design and Operations principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators". Engineers, and Managers. EPA/600/R-11/088. Cincinnati Ohio, 2011.
[12] **Pallaria A.,** "Manuale di progettazione di opera d'irrigazione e drenaggio". BIOS Cosenza 2001.
[13] **Frega G.**, "Aspetti idrologici e idraulici della pianificazione nei bacini idrografici". Collana Difesa del Suolo e pianificazione territoriale. Editoriale BIOS, Cosenza, 1987.
[14] **Gaglioti S., Infusino E., Caloiero T., Guagliardi I.**, "Vulnerability to Nitrate Occurrence in the Spring Waters of the Sila Massif (Calabria, Southern Italy)", Journal Toxics 7. Publisher MDPI. 10:13, 2022.
[15] **Infusino E., Callegari G., Cantasano N.**, "Release of nutrients into a forested catchment of southern Italy". Rendiconti Lincei, Springer International Publishing.17: 127-134, 2016.
[16] **Bazzoffi P., Vanino S.,** "L'interrimento degli invasi ad uso irriguo nelle regioni meridionali: Rilievi diretti metodologie e modellistica". Rapporto INEA, 2009.
[17] **Gaglioti S., Infusino E., Caloiero T., Callegari G., Guagliardi I.,** "Geochemical characterization of spring waters in the Crati river basin, Calabria (Southern Italy)". Journal Geofluids, Publisher Hindawi, 2019.
[18] **Guagliardi I.**, **Gaglioti S., Infusino E., Caloiero T., Ricca N.,** "Chlorides' Concentration Assessment in the Waters of the Sila Massif (Calabria, Southern Italy)". Recent Research on Sedimentology, Stratigraphy, Paleontology, Tectonics, Geochemistry, Volcanology and Petroleum Geology. MedGU 2021. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham, 2023.
[19] **Ietto F., Cantasano N., Froio R., Infusino E., Callegari G, Cipriani M.G.**, "Hydrogeological and geochemical assessment of some spring waters in the municipal area of Chiaravalle Centrale (Calabria, southern Italy)". Rendiconti online Società Geologica Italiana. 21: 869-871, 2012.
[20] **Infusino E., Luci C.**, "Individuazione e caratterizzazione dei siti contaminate". Tecniche per la difesa dall'inquinamento. Edilbios (CS), 36: 397-436, 2015.

Unleashing the full potential of sequencing batch reactors

Dr. Marcus Hoefken, Megan House**, Dr. Peter Huber*, and Walter Steidl**
** INVENT Umwelt und Verfahrenstechnik AG, Am Pestalozziring 21, 91058 Erlangen, Germany (mhoefken@invent-uv.de)*
*** INVENT Environmental Technologies Inc., 218 Little Falls Rd., Cedar Grove, NJ 07009, United States of America*

Summary
Sequencing Batch Reactors (SBRs) have evolved from traditional fill-and-draw systems into advanced, efficient wastewater treatment solutions. Initially developed over a century ago, SBRs now benefit from innovations such as Aerobic Granular Sludge (AGS) technology and continuous flow operations, which enhance their effectiveness and reduce costs. The INVENT iSBR® process showcases these advancements with its cascaded reactor design and integrated approach, optimizing performance and minimizing expenses. This summary underscores the significant improvements in SBR technology and its role in providing high-quality, cost-effective wastewater treatment solutions.

1. Introduction

A Sequencing Batch Reactor (SBR) is a fill-and-draw type of conventional activated sludge treatment system. This approach, developed over a century ago, has consistently demonstrated its effectiveness in treating both municipal and industrial wastewater. By alternating between filling, reacting, settling, and decanting within a single vessel, the SBR offers a flexible and reliable solution for various wastewater treatment needs.

Recent advancements in wastewater treatment technology have further enhanced the advantages of SBR systems. Innovations such as the integration of continuous flow operations and advanced aeration techniques have significantly improved their efficiency and versatility. These developments make the SBR an increasingly attractive option compared to traditional continuous flow systems.

With a wide array of technologies available today, understanding the specific attributes and challenges associated with SBRs is crucial for optimizing their performance. Properly addressing these factors ensures that SBR systems can deliver the best possible outcomes for diverse wastewater treatment projects. As the field continues to evolve, ongoing research and technological improvements will likely expand the capabilities and applications of SBR systems, reinforcing their role as a key component in modern wastewater management.

2. Paper

The iSBR process, a modern evolution of fill-and-draw batch processes, has transformed wastewater treatment by leveraging advances in automation and control systems since its early adoption in the 1900s.

2.1. Introduction to Fill-and-Draw Batch Processes

Fill-and-draw batch processes have been applied in wastewater treatment since the early 1900's when Ardern, Lockett, and Fowler developed the activated sludge process (ASP) in their laboratories in Manchester, UK ([1] & [2] Ardern and Lockett 1914, [3] Ardern and Lockett 2015). Since the development of the ASP[1], continuous flow activated sludge plants dominated over fill-and-draw batch processes due to the lack of modern automation. In years past, manually adjusting valves, switching on and off pumps and the lack of level controls etc. made the process onerous. Development of control systems and mechanical equipment in the 1960's, 1970s, and 1980's ([4] Pasveer 1958, [5] Irvine 1971, [6] Wilderer and Schroeder 1986) laid the foundation for reviving the SBR process as a solution for municipal and industrial wastewater treatment.

2.2. Cyclic Activated Sludge Process

While the SBR process was quickly becoming more popular in small and medium sized plants, another approach to the SBR process was developed: the cyclic activated sludge process ([7] Goronszy 1979, 1985, [8] Demoulin and Goronszy 1997, [9] Demoulin et. al 1999). It was developed and applied in larger wastewater treatment plants using the process names CASS[2] and ICEAS[3]. Similarly, more recently developed processes incorporate cyclic activated sludge reactors which are continuously fed with fresh wastewater while treated water is intermittently decanted from the reactor.

2.3. Aerobic Granular Sludge (AGS) Process

In more recent years was the development of a new SBR process, the Aerobic Granular Sludge (AGS) Process Technology, ([10] de Bruin et. al 2004, [11] Pronk et. al 2015, [12] Pronk et. al 2017) which has received a lot of attention. An advantage of this process is the production of larger sludge granules than that of conventional activated sludge flocs. Larger flocs mean faster sludge settling. Larger floc size also allows for an anaerobic core, an anoxic mid layer and an aerobic outer layer in a single sludge granule compiling anaerobic, anoxic and aerobic driven process steps (e.g. P-Removal, Denitrification, and Nitrification) (see Figure 1).

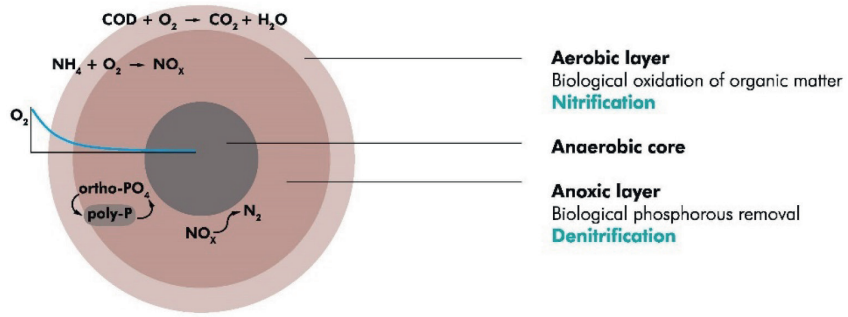


Fig. 1 – *Schematic Representation of an Aerobic Granular Sludge Floc*

[1] ASP: Activated Sludge Process
[2] CASS: Cyclic Activated Sludge System
[3] ICEAS: Intermittent Cycle Extended Aeration System

2.4. Benefits of AGS Applications

If properly designed, AGS applications offer the potential for achieving:

– Higher MLSS without the use of plastic carriers
– Better settleability
– Reduced reactor volumes
– Smaller footprints
– Shorter cycle times
– Lower capital investments
– Higher process safety
– No need of internal re-circulation pumps
– Less sludge production
– Decreased energy consumption
– Reduced operating costs

2.5. Market Development and Challenges

This is why more than a few commercial wastewater treatment system providers, other than the Dutch pioneer Royal Haskoning DMV, have attempted to develop, establish, and market their own adaptions of the AGS. All current AGS advancements are based on the SBR principle of using one or more complete mixed reactors where the AGS is supposed to develop. This means to unleash the potential advantages of the AGS process, challenges which come along with the SBR concept, listed below, must be mastered.

– Precise hydraulic and load equalization of the flow is required and usually leads to large upstream mixing and equalization basins.
– It is necessary to overdesign the mechanical equipment because of limited runtime per process cycle and day.
– Accurately scaling up from lab-scale and/or pilot scale to life-size and large-scale plants is challenging and requires in-depth understanding of fluid mechanics to be more reproducible.
– The prerequisite of obtaining completely mixed reactors can significantly limit the reactor, process, and equipment design.

2.6. Controlled Anaerobic Feeding

Controlled anaerobic feeding of raw wastewater into the settled sludge blanket is crucial for the kick-off of granular sludge formation. To achieve this, the most common approach is to feed the reactor through a bottom feeder with flow throughout the bottom of the entire reactor and install a static decanter at the water surface as illustrated in Figure 2. This approach works best in smaller circular or rectangular tanks with pipe works providing equal distribution of the raw wastewater throughout the bottom of reactor with the use of a static decanter at the top and when the required piping does not become too complex and expensive and does not result in too much of a hydraulic loss. The approach limits the volume per reactor module to smaller volumes and is the reason why these plants require large equalization basins upstream of the biological reactors, because an equal flow distribution at the bottom can only be achieved for the one exact hydraulic flow to the reactor for which the feed systems was designed for. The slightest deviations from the designed influent flow will lead to non-uniform feed and distribution of raw wastewater in the sludge blanket, improper functioning of the static decanter and the operation of the plant as a whole. A further disadvantage of the bottom feeder system is the high hydraulic loss which is required to achieve equal flow distribution across the bottom of the reactor. Treatment dependence on precise flow makes treatment performance sensitive to minor flow fluctuations which can be caused by something as simple as sludge clogging the feeder piping.

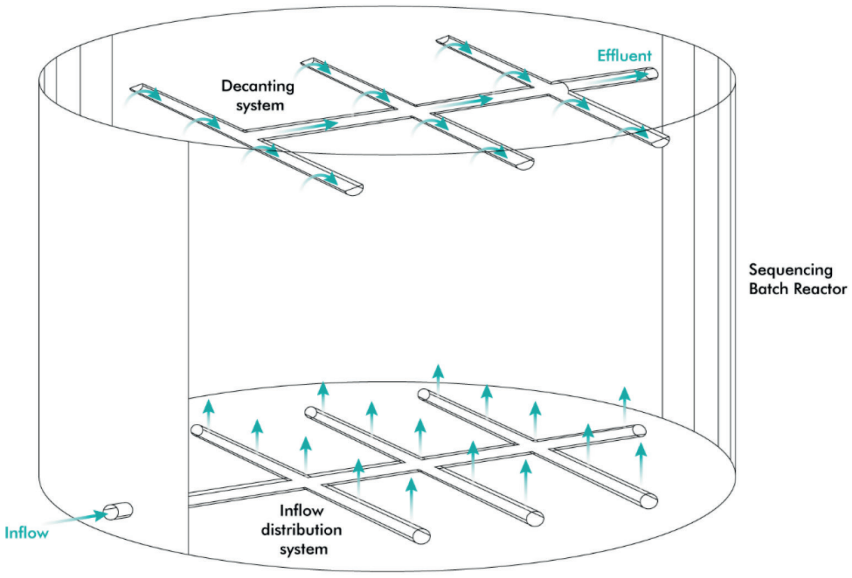


Fig. 2 – *Typical AGS Reactor Configuration with Bottom Feeder and Static Surface Decanter*

2.7. Overdesign of Equipment

Overdesigning may be necessary for different types of equipment. An example is the challenge in designing aeration systems for wastewater treatment for continuous flow processes. In this scenario, the aeration system is designed based on the daily oxygen demand, with hourly capacity calculated by dividing the daily value by 24. However, in systems with cyclic processes, like a typical SBR cycle lasting 3 or 6 hours, the aeration time per day is reduced to 16 hours or less. This necessitates a 1.5 times higher capacity for the aeration system compared to a continuous flow reactor. Consequently, more diffuser elements, blowers, and installed power are required. Additionally, some SBR processes' aeration phases overlap with the fill phases resulting in lowered aeration water depth in the reactor further reducing the overall aeration efficiency which the aeration system design must compensate for. Similar effects may apply to other equipment such as pumps and piping. This example highlights the potential for substantial improvements in process efficiency and the importance of a holistic approach to process, reactor, and equipment design.

2.8. Challenges in Scale-Up

In laboratory-scale experiments, basic principles are often tested in small circular vessels, typically 100 or 200 mm in dimension, with volumes measured in liters. Equipment for mixing, aeration, and pumping is sourced from laboratories or local aquarium shops. The transition from lab-scale to pilot-scale is the initial challenge, as larger-scale equipment is not readily available at the pilot stage. Consequently, pilot-scale setups often use large-scale equipment, leading to dissimilarities between lab and pilot scales. Moving from pilot-scale to large-scale, such as from 20m³ to 1,500m³, presents additional challenges. Geometrical similarity is compromised due to limited availability of large-scale basins, and factors like floor coverage and piping must adhere to real-life constraints. The aeration system design faces challenges as well, with the air bubble diameter remaining constant despite scale changes, leading to unexpected mixing limitations in larger scales. This often results in suboptimal process performance, highlighting the importance of addressing mixing issues in large-scale applications. This is usually the moment when proper scale-up stops because the step from large to larger

scale can only be made by changing reactor footprint because otherwise the side water depth becomes unrealistically high.
The SBR process is based on a complete mix reactor behavior. To comply with this basic requirement feeding and decanting becomes more and more demanding with scaling up to larger reactors. At times, this requirement is neglected and the process performance suffers for example. This is why some processes that work successfully at smaller scales sometimes face severe challenges in scaling up from large to larger scale.

2.9 Solutions for AGS Processes
To overcome these challenges an AGS process and reactor design should incorporate the following four considerations.
– Continuous flow with intermittently decanted reactors has advantages because it has less water level fluctuations between low (end of decanting phase) and normal operating level. A more stable water depth helps to minimize hydraulic losses, reduce pumping energy requirements and optimize aeration system efficiency.
– Staged reactor designs are advantageous because they allow larger reactor volumes without making the common errors made during the up-scaling phase while offering a new special dimension of process design, especially if combined with a continuous flow approach.
– The overall design and operation should incorporate the ability to share mechanical equipment between each reactor to reduce additional equipment such as e.g. diffusers, blowers, pumps etc. to avoid overdesign and reduce overall investment costs. An example is the use of blower stations which can switch between reactor modules.
– The whole system including key equipment should be flexible and be able to react to different flow and load scenarios to avoid the need for upstream mixing and equalization.

2.10 Experience and Implementation
These considerations represent a condensed summary of collective experience gathered at the Department of Fluid Mechanics of the Friedrich-Alexander University Erlangen- Nuernberg ([13] Hoefken et. al. 1991, [14] & [15] Hoefken, 1994, [16] Manzolli 1994, [17] Bischof et. al. 1995, [18] Waechter et. al. 1996,) and at INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG [19] Hoefken et al. 1995, [20] & [21] Hoefken et. al. 1996, [22] & [23] Hoefken et. al. 2003, [24] Hoefken et. al. 2004) since the 1990s. The practical realization has been a long process with step-by-step improvements from project to project. Finally resulting in the INVENT iC^3 Process which stands for
– Cascaded reactor design
– Continuous operation, and
– Cyclic process
This process leverages the unique features of the HYPERCLASSIC®-Mixing and Aeration System ([25] Hoefken et. al. 1991, [26] Hoefken et. al. 1993, [27] & [28] Hoefken 1994, [29] Hoefken et. al. 2001) which is ideally suited for intermittent processes. The INVENT SBR is characterized by the iC^3 reactor module which is a drawn-out rectangular basin with multiple HYPERCLASSIC®-Mixing and Aeration Systems mounted in series to create individual complete mixed zones (cascaded). Wastewater continuously enters through a specially designed inflow distributor at one end and clear treated water intermittently leaves the reactor through operated decanting systems on the opposite end. This design makes it possible to develop and operate an optimized SBR cycle strategy, which can vary from zone to zone.

INVENT differentiates five different process phases, which happen at different times and in four or more different spatial zones. These zones are defined by the four different spatial

zones of equal size in which we can divide each SBR tank. In Figure 3 the five basic cycle phases of the INVENT SBR process are shown schematically.
1. Fill/Mix (FM): Initial phase with slower mixing and no aeration, generating anaerobic conditions in zones 1 and 2 and anoxic conditions in zones 3 and 4.
2. Fill/Mix/Aerate (FMA): High-speed mixing and aeration cycle, supplying oxygen for BOD and COD removal, nitrification, and maintaining aerobic conditions.
3. Fill/Degas (FDg): Short period of strong mixing for effective degassing of sludge flocs, improving settling properties and preventing foam collection.
4. Fill/Settle/Slow Mix 1 (FSPh1): Low-speed mixing during settling phase, promoting denitrification and anaerobic conditions for Bio-P release and rbCOD conversion.
5. Fill/Decant/Slow Mix 2 (FDPh2): Continued low-speed mixing to create anaerobic conditions for Bio-P, decanting of treated effluent, and removal of excess sludge to maintain process efficiency.
After phase 5 the cycle repeats itself and jumps back to phase 1.

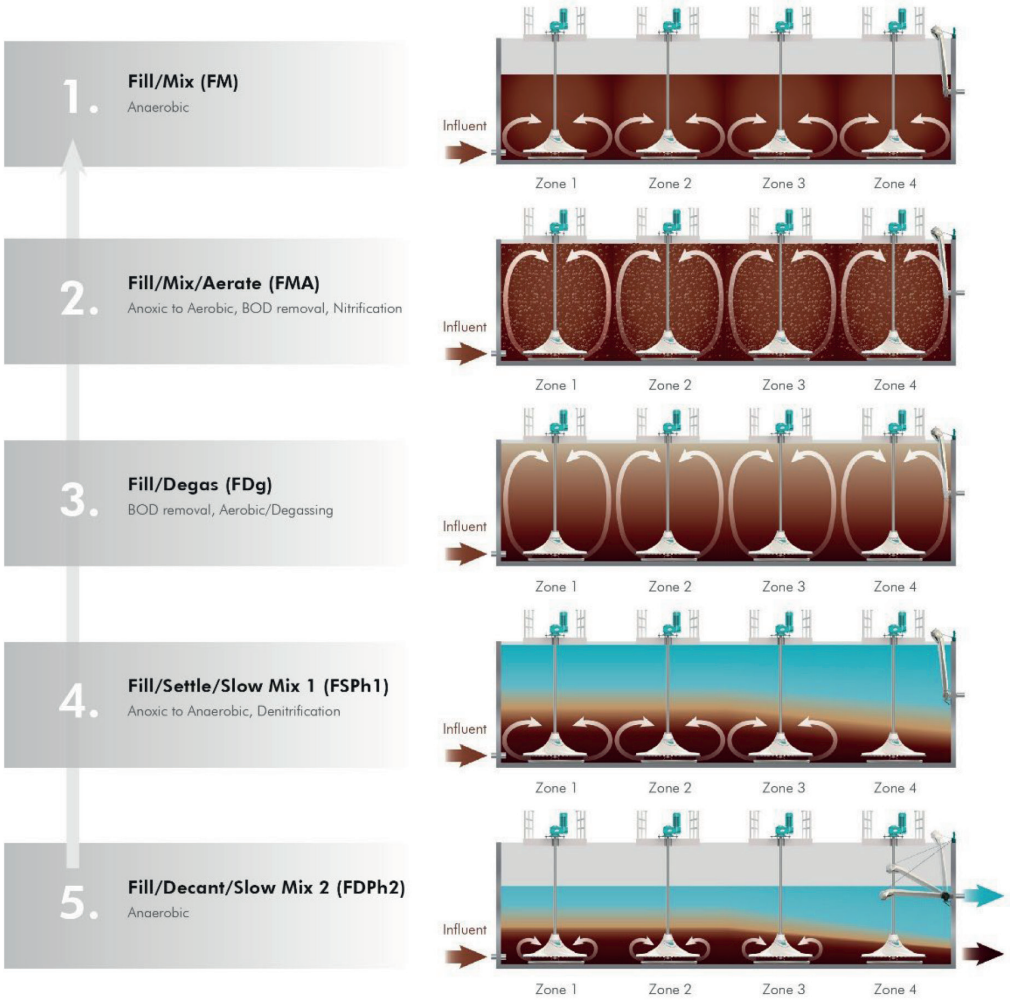


Fig. 3 – *iC³ – Reactor Module and typical Cycle Sequence*

2.11 Case Study

One example of a successful implementation of the iC³ process is a municipal/industrial wastewater treatment plant which was designed and built between the years 2015 and 2019 in two steps in the Middle East. In the first step two iC³ reactor modules were built with a capacity of 4,000 m³/d for BOD/COD removal, nitrification, and denitrification. Each iC³ reactor module had a volume of 3,000 m³ and was 55m long. In the second step three iC³ reactor modules were built with a volume of 20,000 m³ each and a length of 72m. All iC³ reactor modules have been achieving excellent effluent values since start up with BOD well below 3 mg/l, COD below 20 mg/l, TSS below 5 mg/l, total nitrogen below 10 mg/l, and phosphorus below 1 mg/l.

2.12. Typical INVENT iSBR® Package

The typical INVENT iSBR® package includes the basic and detailed design and engineering, HYPERCLASSIC®-Mixing and Aeration System, iDEC®-SBR Decanting System, the iTURBO®-Blowers, the control system and, if required, the iFILT® post filtration. The civil works and delivery of standard equipment, piping, steelworks, etc. is usually done by the client and/or local partners.

3. Conclusions

The evolution of Sequencing Batch Reactors (SBRs) and the development of the INVENT iSBR®/iGSR® process reflect over 30 years of addressing design and scaling challenges in wastewater treatment. Modern SBR systems, particularly those incorporating continuous flow and cascaded reactors, offer substantial benefits in efficiency and cost. Key features include:

– Continuous flow with intermittent decanting: This approach stabilizes operation, reduces hydraulic losses, and enhances aeration efficiency by minimizing water level fluctuations.

– Multiple cascaded complete mix reactors per module: This design improves scalability, facilitates better process control, and supports the treatment of larger volumes without compromising performance.

– A holistic approach to process, reactor, and equipment design: Integrating these elements ensures optimized system operation, cost efficiency, and reduced capital and operational expenditures.

Additionally, the practical success of the iSBR® process in various real-world applications highlights its capability to meet stringent treatment standards while adapting to varying operational conditions. The system's flexibility in handling different flow and load scenarios further underscores its robustness and reliability. As wastewater treatment demands evolve and become more stringent, the advancements embodied in the iSBR®/iGSR® process provide a forward-looking solution that combines technical sophistication with economic viability, positioning SBR technology as a leading choice for high-performance wastewater treatment.

Abbreviations

ASP	Activated Sludge Process
AGS	Aerobic Granular Sludge
BOD	Biological Oxygen Demand
CASS	Cyclic Activated Sludge System
COD	Chemical Oxygen Demand
GSR	Granular Sludge Reactor
ICEAS	Intermittent Cycle Extended Aeration System
rbCOD	readily biodegradable Chemical Oxygen Demand
SBR	Sequencing Batch Reactor
TSS	Total Suspended Solids

Bibliography

[1] Ardern, E. & Locket, W.T., 1914, **"Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters"**, J. Soc. Chem. Ind. 33, 523-539.

[2] Ardern, E. & Locket, W.T., 1914, **"Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters, Part II",** J. Soc. Chem. Ind. 33, 1122-1124.

[3] Ardern, E. & Locket, W.T., 1915, **"Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters, Part III"**, J. Soc. Chem. Ind. 34, 937-943.

[4] Pasveer, A., 1958, **"Abwasserreinigung in Oxidationsgraben"**, Bauamt und Gemeindebau 31.

[5] Irvine, R. and others, 1971, **"Use of Sequencing Batch Reactors for Waste** Treatment**"**, Texas

[6] Wilderer, P., Schröder, E., 1986, **"Anwendung des Sequencing Batch Reactors (SBR)-Verfahrens zur biologischen Abwasserreinigung"**, Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Techn. Universität Hamburg-Harburg, 4.

[7] Goronszy, M.C., 1979, **"Intermittent Operation of the Extended Aeration Process for Small Systems."**, Journal Water Pollution Control Federation, 51, 2, 274.

[8] Demoulin, G., Goronszy, M.C., Wutscher, K., Forsthuber, E., 1997, **"Co-Current Nitrification/ Denitrification and Biological P-Removal in Cyclic Activated Sludge Plants by Tedox Controlled Cycle Operations."**, Wat. Sci. Tech., 35 (1).

[9] Demoulin, G., Goronszy, M.C., 1999, **"Das zyklische Belebtschlammverfahren – eine moderne Technologie für die weitergehende Nährstoffelimination auf der Kläranlage Neubrandenburg."**, LGT der ATV Nord-Ost, Neubrandenburg 08./09. Juni 1999.

[10] De Bruin, L.M.M., de Kreuk, M.K., von der Roest, H.F.R., Uijterlinde, C. and can Loosdrecht, M.C.M., **"Aerobic granular sludge technology: an alternative to activate sludge?"**, Water Sci. Technol., 49, 1-7.

[11] Pronk, M., de Kreuk, M.K., de Bruin, B., Kamminga, P., Kleerebezem, R. and van Loosdrecht, M.C.M., 2015, **"Full scale performance of the aerobic granular sludge process for sewage treatment."**, Water Res., 84, 207-217.

[12] Pronk, M., Giesen, A., Thompson, A., Robertson, S. and van Loosdrecht, M.C.M., 2017, **"**Aerobic **granular biomass technology: advancements in design, applications and further developments."**, Water Pract. Technol. 12(4), 987-996.

[13] Höfken, M., Bischof, F., and Durst, F., 1991, **"Novel Hyperboloid Stirring and Aeration System for Biological and Chemical Reactors"**, Industrial Applications of Fluid Mechanics, FED-Vol. 132, pp. 47-56, ASME-Winter Annual Meeting, Atlanta, UA.

[14] Höfken, M., 1994, **„Abwasserreinigungskonzepte müßen intelligent sein"**, Umwelt, Nr. 2/94, VDI-Verlag, Düsseldorf.

[15] Höfken, M., 1994, **„Moderne experimentelle Methoden für die Untersuchung von** Strömungen **in Rührbehältern und für Rührwerksoptimierungen"**, Doktorarbeit am Lehrstuhl für Strömungsmechanik (LSTM) der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg.

[16] Manzolli, J., Cortés, S., Spemann, R., Wächter, P., and Höfken, M., 1994, **"The Sewage Treatment Station in Bueno de Andrada, Araraquara"**, Report for Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara by University of São Paulo, Brazil, School of Engineering in São Carlos, Department of Hydraulics and Sanitary Engineering and University of Erlangen-Nuremberg, Germany, Department of Fluid Mechanics, LSTM.

[17] Bischof, F., Charatjan, M., Habelski, N., Höfken, M., Junge, K. und Kohlmann, J., 1995, „**Das SBR-Verfahren zu Reinigung kommunaler Abwässer für Kläranlagen < 5.000 EGW**", Chemische Technik, Jhg. 47, Nr. 1, S. 31-38, Leipzig.

[18] Wächter, P., Höfken, M., Steidl, W., and Durst, F., 1996, **"The Application of the SBR Process in Modular Designed Small Wastewater Treatment Plants"**, First IAWQ Specialized Conference on SEQUENCING BATCH REACTOR TECHNOLOGY, March 18 – 20, 1996, Munich.

[19] Höfken, M., Bischof, F., and Durst, F., 1995, **"Energy Savings in the Biological Treatment of Sewage"**, The Future of the Baltic Sea, Metropolis Verlag, Marburg.

[20] Höfken, M., Huber, P., Schäfer M., and Steiner, R., 1996, **"Membrane Aerators and** Stirring **Systems for the Operation in Large and Small Wastewater Treatment Plants"**, Water Science and Technology, Vol. 34, No. 3-4, Elsevier Science Ltd., UK.

[21] Höfken, M., Bischof, F., and Durst, F., 1996, **"On the Mixing and Aeration in Sequencing Batch Reactors"**, First IAWQ Specialized Conference on SEQUENCING BATCH REACTOR TECHNOLOGY, March 18 – 20, 1996, Munich.
[22] Höfken, M., Frey, T., and Steidl, W., 2003, **"About the Design of efficient Membrane Aeration Systems"**, Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 9th IWA Specialized Conference, 1 – 4 September 2003, Prague, Czech Republic.
[23] Höfken, M., Steidl, W., Frey, T., and Huber, P., 2003, **"Mixing Systems in advanced Processes for Large Activated Sludge Treatment Plants"**, Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 9th IWA Specialized Conference, 1 – 4 September 2003, Prague, Czech Republic.
[24] Höfken, M., Steidl, W., Frey, T., and Huber, P., 2004, **"Mixing Systems in advanced** Processes **for Large Activated Sludge Treatment Plants"**, Water Intelligence Online, August 2004, IWA Publishing, UK.
[25] Höfken, M., Bischof, F., and Durst, F., 1991, **"Novel Hyperboloid Stirring and Aeration System for Biological and Chemical Reactors"**, Industrial Applications of Fluid Mechanics, FED-Vol. 132, pp. 47-56, ASME-Winter Annual Meeting, Atlanta, USA.
[26] Höfken, M., Bischof, F., and Durst, F., 1993, **„Kombiniertes Rühr– und Begasungssystem für die Abwasser– und Schlammbehandlung"**, Korrespondenz Abwasser, Nr. 12/93, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef.
[27] Höfken, M., 1994, **„Abwasserreinigungskonzepte müßen intelligent sein"**, Umwelt, Nr. 2/94, VDI-Verlag, Düsseldorf.
[28] Höfken, M., 1994, **„Moderne experimentelle Methoden für die Untersuchung von** Strömungen **in Rührbehältern und für Rührwerksoptimierungen"**, Doktorarbeit am Lehrstuhl für Strömungsmechanik (LSTM) der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg.
[29] Höfken, M., Steidl, W., and Frey, T., 2001, **"The Hyperboloid Mixer/Aerator – Functional Principle, Characterization, and Applications in Wastewater Treatment"**, Mixing XX, 19th Biennial North American Mixing Conference, 15 – 20 August 2001, Lake Placid, USA.

ASIA: una tecnologia innovativa nel quadro della direttiva UE sul trattamento delle acque reflue urbane

Sandra Zoglia s.zoglia@igpeng.it; Mauro Zoglia, IGP Engineering srl, Trieste

Riassunto
Il paper illustra i risultati di un test condotto da CAFC SpA sull'impianto di depurazione acque reflue di Latisana Capoluogo (UD) per la verifica del funzionamento e dell'efficacia di un innovativo algoritmo di controllo del processo biologico all'interno dei bacini di ossidazione.
L'analisi delle prestazioni della tecnologia, sviluppata da IGP Engineering srl, ha avuto una durata di 3 mesi ed ha preso in considerazione i parametri di qualità dell'acqua trattata allo scarico del depuratore, nonché il consumo di energia legato al processo ossidativo ed i risparmi indotti dall'algoritmo. I risultati positivi del test e delle successive applicazioni validano la tecnologia esaminata, che rappresenta quindi una soluzione concreta e già disponibile per l'ottimizzazione dei processi depurativi ed il contenimento dei consumi su impianti di ogni dimensione.

Summary
The paper illustrates the results of a test run by CAFC SpA on the wastewater treatment plant of Latisana Capoluogo (UD) in order to verify the functioning and effectiveness of an innovative algorithm to control the biological process within the oxidation basins.
The performance analysis of the examined technology, developed by IGP Engineering srl, lasted 3 months and took into account the parameters which are necessary to define the quality of treated water, the process-related energy consumption and the side advantages of the firmware. The positive results of the test and of the subsequent applications validate the technology, which can therefore be considered a concrete, already available solution for process optimization on plants of all sizes.

1. Introduzione

Nel quadro della nuova direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane ed in particolare considerando l'estensione dell'obbligo di trattamento secondario per impianti dai 1000 AE in su, nonché la necessità di ridurre le emissioni di azoto e fosforo e di raggiungere la neutralità energetica del settore, l'obiettivo di questo paper è di fornire elementi concreti a sostegno di una nuova tecnologia.
Con un test di tre mesi condotto sul depuratore di Latisana (CAFC SpA) è stato possibile verificare le prestazioni dell'algoritmo in esame, con particolare focus sui rendimenti depurativi e sul risparmio energetico.
Il test è stato condotto monitorando le due linee di ossidazione in parallelo del depuratore (identiche come reflui e portate, ma una con e l'altra senza controllo dell'algoritmo) analizzandone i flussi. Sono stati prelevati regolarmente campioni per determinare la qualità dell'acqua depurata, e sono state rilevate le ore lavoro delle soffianti e dei mixer per comparare i consumi delle due linee.

Il test ha dato esito positivo ed i dati raccolti sono stati illustrati in una relazione certificata [1] sottoscritta da CAFC SpA.
Questo paper presenta sinteticamente i risultati del test, al fine di dimostrare la validità di questa nuova tecnologia, che sono:
– accessibilità in termini di costo, che aumenta l'applicabilità dei trattamenti secondari anche ai piccoli impianti, e permette un veloce ritorno dell'investimento grazie al risparmio energetico;
– semplicità e flessibilità, fondamentali sia per migliorare impianti su cui l'automazione è già spinta, aggiungendosi a quanto esistente, sia per dotare di un controllore di processo anche impianti vetusti;
– velocità di installazione, di messa in servizio e di ottenimento di risultati misurabili;
– possibilità di portare ogni singolo impianto alla massima performance raggiungibile con la sua capacità biologica, al di là dei limiti di legge, stabilizzandone il processo.

2. Relazione

2.1 Premessa

IGP Engineering srl ha sviluppato nel corso degli ultimi 6 anni un innovativo sistema di controllo di processo, denominato ASIA (Advanced System of Intelligent Aeration).
Il cuore del sistema è un algoritmo software proprietario, nato dalle competenze ed esperienze di IGP Engineering nella gestione dei processi di depurazione biologici, che utilizza modelli matematici innovativi, progettati ad hoc per interpretare lo stato biologico del fango attivo solamente tramite l'analisi in continuo dell'andamento della funzione Redox nel tempo.
L'algoritmo agisce alla stregua di un biologo digitale sempre presente sull'impianto, che interpreta automaticamente in tempo reale lo stato del fango e di conseguenza comanda l'accensione e lo spegnimento dei sistemi di aerazione e miscelazione. ASIA non interviene su tutti gli altri parametri di controllo del processo depurativo (età del fango, concentrazione del fango, portate di ricircolo, superi, pH, livello di ossigeno disciolto, eccetera), che continuano ad essere gestiti dal conduttore dell'impianto con la logica di automazione del depuratore.
Il software ASIA è installato in un hardware proprietario (IGP-Core), progettato da IGP Engineering su misura per le funzionalità di ASIA, e della sua piattaforma in cloud (IGP-Platform), che è l'interfaccia di ASIA con gli utenti ed i manutentori del sistema. Ad ASIA serve un'unica sonda Redox, che va posizionata all'interno della vasca di ossidazione, in un punto individuato caso per caso in fase di avviamento. La misura del Redox deve arrivare all'hardware ASIA come segnale 4-20 mA non filtrato.
L'algoritmo ASIA comanda esclusivamente l'accensione e lo spegnimento dei sistemi di aerazione e dei miscelatori presenti nelle vasche di ossidazione / nitrificazione / denitrificazione, interfacciandosi con il sistema di automazione esistente (PLC, logica cablata). ASIA passa i contatti di comando alla logica cablata o al PLC del sistema di automazione esistente. L'attuazione dei comandi è fatta attraverso i teleruttori del quadro elettrico esistente. La logica di ASIA lavora in parallelo alla logica di automazione del depuratore, esclusivamente per l'aerazione e la miscelazione, e quando il dispositivo viene spento o è guasto i comandi tornano in capo ad essa. Attraverso l'accensione e lo spegnimento dei sistemi di aerazione e miscelazione, che regolano i processi di ossidazione e di riduzione, ASIA è in grado di ottimizzare le rese dell'impianto su cui è installato, sia in termini di qualità dell'acqua che di risparmio energetico.
Dal rapporto tra IGP Engineering e CAFC SpA è nato il test oggetto di questo paper. L'obiettivo del test – condotto nell'anno 2019 – era di verificare l'effettiva rispondenza delle funzionalità e dell'entità delle prestazioni di ASIA a quanto dichiarato dal progettista.

Per il test è stato selezionato il depuratore delle acque di scarico civili di Latisana Capoluogo (UD), di media potenzialità, con due linee di ossidazione in parallelo (Fig. 1). Al termine del test l'installazione è diventata permanente.

2.2 Caratteristiche dell'impianto all'epoca del test

La linea acque dell'impianto di depurazione di Latisana è dimensionata per trattare il carico inquinante generato da un comprensorio di 13.000 A.E., con un processo depurativo a configurazione "BNR" (Biological Nutrient Removal). L'abbattimento dell'azoto avviene attraverso la fase di pre-denitrificazione e l'abbattimento del fosforo avviene per precipitazione generata dal dosaggio di cloruro ferrico nel comparto di ossidazione e nitrificazione (prima della fase di separazione solido-liquido che avviene nella stazione di sedimentazione). I quadri elettrici di comando/controllo sono realizzati in logica cablata, la gestione delle macchine viene attuata con temporizzatori. Le soffianti di aerazione della nitrificazione sono comandate da misuratori di ossigeno, ai quali sono abbinati dei valori di soglia minimi e massimi utilizzati per avviare e fermare i compressori.

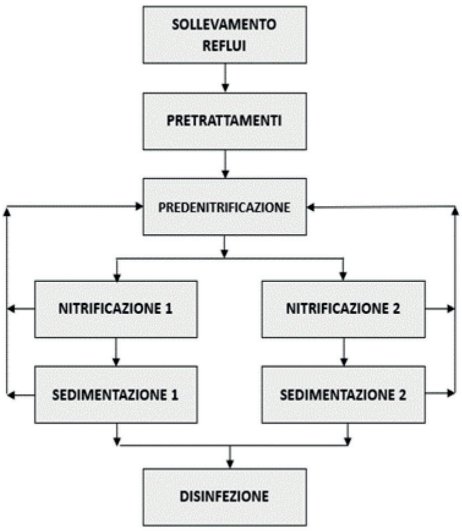


Fig. 1 – *Schema a blocchi del processo depurativo dell'impianto di Latisana Capoluogo*

La scelta di questo impianto per la conduzione del test era legata alla presenza di alcune sue criticità:

– l'autorizzazione allo scarico impone dei limiti da "area sensibile" per i parametri azoto e fosforo, con valori massimi pari a 15 mg/l di azoto totale e a 2,0 mg/l di fosforo totale, entrambi come medie annuali;

– la concentrazione di COD all'ingresso è tendenzialmente bassa e limita le performance di abbattimento della pre-denitrificazione, con conseguente difficoltà a rispettare i limiti;

– l'automazione con logica cablata risulta limitante per lo sviluppo di una automazione avanzata. L'adeguamento richiederebbe un costoso rifacimento dell'intera quadristica;

– lo schema di processo BNR è particolarmente energivoro, a causa della presenza dei ricircoli interni installati nei nitrificatori e del miscelatore sommerso installato nella denitrificazione.

2.3 Dati antecedenti all'applicazione dell'algoritmo

Vengono di seguito riportati i dati relativi a COD, Azoto totale, Azoto ammoniacale, Azoto nitroso ed Azoto nitrico rilevati prima dell'installazione di ASIA (Tab. 1) e gli abbattimenti conseguiti (Tab. 2).

MESE	DATI ANALITICI INFLUENTE					DATI ANALITICI EFFLUENTE				
	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	AZOTO AMMONIACALE mgN4/l	AZOTO NITROSO mgN/l	AZOTO NITRICO mgN/l	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	AZOTO AMMONIACALE mgN4/l	AZOTO NITROSO mgN/l	AZOTO NITRICO mgN/l
Gennaio	115	NR	21	<0,06	<1	34	19,4	<1	0,06	19,3
Febbraio	40	15,3	10	0,35	3,49	25	10,4	<1	<0,06	11,3
Marzo	127	24,6	19	<0,06	<1	20	14,1	<1	<0,06	14,0
Aprile	129	28,8	16	<0,06	<1	19	8,5	<1	<0,06	9,0
Maggio	<10	10,6	6	0,085	3,58	18	9,7	<1	<0,06	8,9
Giugno	49	10,7	9	<0,06	<1	20	12,6	<1	<0,06	11,0
Luglio	47	16,9	13	<0,06	<1	11	12,7	<1	<0,06	13,7
Agosto	87	15,4	15	<0,06	<1	12	14,8	<1	<0,06	16,0
Settembre	35	12,7	11,0	0,07	<1	16	19,6	<1	<0,06	17,8
Ottobre	117	23,8	22,2	<0,06	1,93	-	-	-	-	-
Novembre	40	7,9	NR	0,10	1,5	-	-	-	-	-
Dicembre	39	10,6	NR	0,16	<1	-	-	-	-	-
MEDIA	**75**	**17,5**	**14**	**0,08**	**1,21**	**19**	**13,5**	**<1**	**<0,06**	**13,4**
DEV. STANDARD	**40**	**6,8**	**5,3**	**0,10**	**1,19**	**6,9**	**3,9**	**-**	**-**	**3,7**

Tab. 1 – *Configurazione BNR classica – dati analitici 2019 di influente ed effluente*

MESE	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	AZOTO AMMONIACALE mgN4/l
Gennaio	70,4 %	ND	97,6 %
Febbraio	38,1 %	32,0 %	95,0 %
Marzo	84,2 %	42,7 %	97,4 %
Aprile	85,3 %	70,5 %	96,9 %
Maggio	ND	8,5 %	91,7 %
Giugno	59,2 %	ND	94,4 %
Luglio	76,6 %	24,9 %	96,2 %
Agosto	86,2 %	3,9 %	96,7 %
Settembre	54,3 %	ND	ND
MEDIA	**74,1 %**	**22,5 %**	**96,5 %**

Tab. 2 – *Configurazione BNR classica – abbattimenti % conseguiti nell'anno 2019*

2.4 Installazione del sistema ASIA

Il firmware ASIA è stato installato sulla linea di ossidazione n.2 dell'impianto di depurazione di Latisana Capoluogo, all'interno di un quadro elettrico installato a parete vicino al quadro principale.

Questo ha permesso di sopperire alla mancanza di spazio nel quadro di comando esistente, inoltre in caso di esito negativo del test sarebbe stato molto semplice disinstallare ASIA.

Tra quadro ASIA e quadro principale sono state effettuate le seguenti interconnessioni:

– un segnale analogico (AO) 4-20 mA, in ingresso al modulo logico ASIA, proveniente dal misuratore di Redox installato nella vasca di ossidazione della linea 2;

– un comando digitale in uscita (DO) da ASIA, per il comando della soffiante della linea 2;

– un segnale digitale in ingresso (DI) ad ASIA, per la verifica dello stato della soffiante della linea 2;

– un segnale di stato e/o allarme di ASIA (DO) per permettere di commutare l'automazione da "logica ASIA" alla logica cablata esistente, in caso di suo spegnimento o guasto del dispositivo.

Il quadretto di ASIA dispone inoltre di uscite digitali (DO) utilizzabili per il telecontrollo di CAFC (che supervisiona anche il funzionamento di questo depuratore) e di una uscita analogica 4-20 mA (AO) proveniente da un duplicatore di segnale dello strumento di misura del Redox.

L'installazione di ASIA è durata due giorni e si è conclusa con il collaudo del sistema, l'inserimento delle configurazioni software di base ed il contestuale avviamento dell'algoritmo.

2.5 Variazioni del processo depurativo conseguenti all'inserimento di ASIA

Per poter confrontare i risultati ottenuti dal processo esistente BNR Classico con quelli ottenuti dal nuovo processo BNR & ASIA, sono stati modificati i flussi idraulici in ingresso al depuratore, inserendo una seconda stazione di pompaggio iniziale in parallelo a quella esistente (Fig.2). In questo modo la portata entrante è stata suddivisa in 2 flussi eguali, pari ciascuno al 50% della portata totale.

I volumi di reazione della Linea 2 con ASIA erano tuttavia inferiori ai volumi di reazione della Linea 1, mancando il volume di pre-denitrificazione.

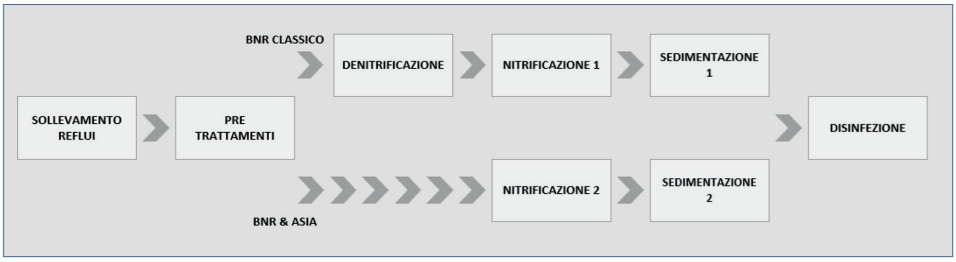


Fig. 2 – *Schema a blocchi dei due processi depurativi a confronto*

2.6. Analisi dei dati raccolti

2.6.1 Rendimenti del processo depurativo

Il monitoraggio analitico delle due Linee è iniziato a distanza di pochi giorni dall'installazione di ASIA, con l'intento di verificare il tempo necessario al processo BNR & ASIA per raggiungere le condizioni di stato stazionario, nonché le sue prestazioni una volta a regime. La raccolta e l'analisi dei dati sono durate 3 mesi e mezzo, in due periodi successivi:

– 1° Periodo (ca 1 mese): analisi dei risultati ottenuti singolarmente dalle due linee in parallelo poste a confronto, utile a verificare l'efficacia di ASIA;

– 2° Periodo (ca 2 mesi e ½) analisi dei risultati ottenuti dall'impianto nel suo complesso, utile alla verifica della stabilità del processo BNR & ASIA nel tempo.
Le analisi sui campioni prelevati nel primo periodo sono state condotte nel laboratorio di CAFC Spa. La validazione dei valori di laboratorio è stata ottenuta mediante analisi su campioni raccolti in doppio, presso il laboratorio pubblico accreditato Friulab Srl (UD).
Tutti i campioni sono stati raccolti come medi su 3 ore o su 24 ore, a seconda del tipo di informazione che si desiderava raccogliere; valori orari nel primo caso e giornalieri nel secondo.
I risultati di laboratorio sui campioni d'acqua trattata presi all'uscita delle due Linee sono riportati di seguito (Tab.3).
I dati evidenziano per la linea 2 BNR&ASIA un'acqua costantemente migliore rispetto alla parallela linea 1, con una riduzione delle deviazioni standard delle misure.
La rilevazione della qualità dello scarico al depuratore è risultata di conseguenza intermedia alla qualità dello scarico delle due linee ossidative [1].

DATA	LINEA 1 – BNR CLASSICA					LINEA 2 – BNR & ASIA				
	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	AZOTO AMMONIACALE mgN4/l	AZOTO NITROSO mgN/l	AZOTO NITRICO mgN/l	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	AZOTO AMMONIACALE mgN4/l	AZOTO NITROSO mgN/l	AZOTO NITRICO mgN/l
18/10/2019	<10	7,4	<1	<0,06	6,9	<10	6,3	<1	0,22	4,8
22/10/2019	14	10,9	<1	<0,06	10,6	14	6,4	1,0	0,11	5,1
06/11/2019	38	12,6	12,6	0,14	1,5	17	7,1	1,7	0,29	4,3
07/11/2019	15	7,5	<1	<0,06	6,9	10	6,2	<1	<0,06	5,5
13/11/2019	<10	6,0	<1	<0,06	5,8	<10	4,1	<1	<0,06	3,7
MEDIA	**15**	**8,9**	**4,4**	**<0,06**	**6,4**	**10**	**6,0**	**1,2**	**0,14**	**4,7**
DEV. STANDARD	**14**	**2,8**	**7,1**	---	**3,3**	**6,0**	**1,1**	**0,5**	**0,11**	**0,7**

Tab. 3 – *Qualità dell'acqua in uscita delle due linee BNR CLASSICA e BNR&ASIA*

A partire da questi dati qualitativi sono stati calcolati i rendimenti depurativi delle due linee (Tab.4), che indicano un **aumento del rendimento prodotto da ASIA pari al 10% per il COD e al 48% per l'Azoto totale.**

DATA	LINEA 1 – BNR CLASSICA		LINEA 2 – BNR & ASIA	
	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l	COD mg02/l	AZOTO TOTALE mgN/l
18/10/2019	97,7 %	69,7 %	97,7 %	74,2 %
22/10/2019	90,7 %	59,7 %	90,7 %	75,9 %
06/11/2019	60,4 %	---	82,3 %	42,3 %
07/11/2019	48,3 %	8,5 %	65,5 %	24,4 %
13/11/2019	73,7 %	9,4 %	73,7 %	35,9 %
MEDIA	**76,4 %**	**39,8 %**	**84,7 %**	**59,1 %**

Tab. 4 – *Rendimenti raggiunti dalle due linee BNR CLASSICA e BNR&ASIA*

2.6.2. Consumi energetici

Dal confronto delle ore di funzionamento delle macchine operative nelle due linee è stato possibile stimare i consumi energetici dei due processi a confronto (Tab.5).

LINEA 1 – BNR CLASSICA		LINEA 2 – BNR & ASIA	
MACCHINA UTILIZZATA	POTENZA IMPIEGATA	MACCHINA UTILIZZATA	POTENZA IMPIEGATA
Mixer sommerso	2,2 kW	---	---
Soffiante a lobi	20 kW	Soffiante a lobi	15 kW
Pompa a miscela aerata	3,1 kW	---	---
Pompa ricircolo fanghi	7,5 kW	Pompa ricircolo fanghi	7,5 kW

Tab. 5 – *Macchine operative nelle due linee e relative potenze*

Nel periodo successivo alla installazione di ASIA sono stati raccolti i tempi di lavoro delle macchine indicate, e sono stati calcolati i consumi energetici di una e dell'altra linea (Tab.6). Dal confronto dei consumi indicati nelle due tabelle precedenti emerge che ASIA ha prodotto **risparmio energetico del 48%** sulla Linea nella quale è stata installata. Per approfondire la

tematica dei risparmi energetici sono stati registrati anche i consumi elettrici medi giornalieri delle macchine operative presenti sull'intero depuratore, confrontando poi i totali tra il periodo prima dell'adozione di ASIA (totale 732 kWh/d) e il periodo di test successivo (625 kWh/d) [1].

	LINEA 1 – BNR CLASSICA				LINEA 2 – BNR & ASIA	
MESE	MIXER SOMMERSO	SOFFIANTE A LOBI	POMPA MISCELA AERATA	POMPA RICIRCOLO FANGHI	SOFFIANTE A LOBI	POMPA RICIRCOLO FANGHI
OTTOBRE 2019						
Tempo lavoro	744 h	345 h	526 h	524 h	307 h	512 h
Energia spesa	1637 kWh	6909 kWh	1630 kWh	3928 kWh	4600 kWh	3836 kWh
NOVEMBRE 2019						
Tempo lavoro	720 h	338 h	512 h	500 h	119 h	533 h
Energia spesa	1584 kWh	6768 kWh	1588 kWh	3753 kWh	1782 kWh	3996 kWh
DICEMBRE 2019						
Tempo lavoro	744 h	243 h	520 h	510 h	59 h	551 h
Energia spesa	1637 kWh	4853 kWh	1611 kWh	3824 kWh	882 kWh	4129 kWh
GENNAIO 2020						
Tempo lavoro	744 h	214 h	529 h	521 h	154 h	500 h
Energia spesa	1637 kWh	4274 kWh	1641 kWh	3911 kWh	2308 kWh	3753 kWh
FEBBRAIO 2020						
Tempo lavoro	696 h	226 h	493 h	480 h	277 h	345 h
Energia spesa	1531 kWh	4511 kWh	1528 kWh	3601 kWh	4157 kWh	2590 kWh
TOTALE ENERGIA SPESA	8026 kWh	27315 kWh	7998 kWh	19017 kWh	13729 kWh	18304 kWh
TOTALE ENERGIA PER LINEA	**62.356 kWh**				**32.033 kWh**	

Tab. 6 – *Consumi elettrici delle due linee nel periodo di test*

Sulla base di questi dati è stata condotta una simulazione dell'energia che la stazione biologica del depuratore consumerebbe giornalmente installando ASIA su entrambe le linee. Da questa simulazione emerge che il risparmio energetico ottenibile inserendo ASIA su entrambe le linee di ossidazione raggiungerebbe il 41% del totale. La vasca di pre-denitrificazione potrebbe inoltre essere impiegata per altri scopi, aumentando così la potenzialità del depuratore.

2.7 Case study successivi

NOME IMPIANTO	POLCENIGO (HydroGea)	JERMANN (Industriale)	MUSSOLENTE (ATS)
Abbattimento COD	+12,3 %	+22,6 %	+ 1,2 %
Abbattimento azoto totale	+ 30,6 %	Senza ASIA: 0 Con ASIA: 90%	+ 3,3 %
Consumo energetico	-13,1 %	-31,7 %	- 12,5 %
NOTE	Riduzione sensibile dei costi di gestione	Aumento potenzialità dell'impianto: + 28,2 % (COD)	Impianto già ottimizzato, con stringenti limiti allo scarico

Tab. 7 – *Dati di performance di alcuni impianti di depurazione su cui è stato testato ASIA*

A corredo di quanto illustrato finora si riportano alcuni dati interessanti risultanti dall'analisi post-installazione di ASIA (Tab.7). condotta con le medesime modalità illustrate per l'impianto di Latisana Capoluogo, su tre impianti che hanno rappresentato delle esperienze significative per la verifica delle potenzialità dell'algoritmo.

3. Conclusioni

I test condotti sull'impianto di Latisana, confermati poi su altri impianti, hanno evidenziato che
– basandosi esclusivamente sulla misura del Redox (che è stabile e robusta) è possibile controllare automaticamente ed in continuo le reazioni di ossidazione e riduzione che si sviluppano nei bioreattori, agendo solo sull'accensione e sullo spegnimento di soffianti e miscelatori e stabilizzando il processo attraverso un continuo aggiustamento dinamico;
– è possibile applicare l'algoritmo oggetto del test a diversi tipi di depuratori biologici, sia di tipo discontinuo che continuo, dotati o meno di un processo di riduzione dell'azoto;
– l'installazione e la messa in funzione di ASIA sono sempre semplici e veloci;
– con la tecnologia ASIA è possibile ottenere in tempi brevi: una riduzione significativa dei consumi energetici, un aumento sensibile dei rendimenti depurativi, una maggior adattabilità del processo alla variazione dei carichi inquinanti, una maggior costanza nel rispetto dei limiti allo scarico, un miglior sfruttamento delle potenzialità dei depuratori.

ASIA rappresenta quindi una soluzione sostenibile e collaudata sia per gli impianti di piccole dimensioni, scarsamente automatizzati e poveri di risorse, sia per i grandi impianti, sui quali il tempo di ritorno dell'investimento è estremamente ridotto grazie ai consistenti risparmi energetici. Sulla base dei dati a disposizione possiamo affermare che un'eventuale applicazione su larga scala di questa tecnologia garantirebbe una riduzione sensibile del consumo energetico correlato all'attività di depurazione delle acque reflue e ad un miglioramento diffuso e consistente della qualità dell'acqua trattata, in linea con le previsioni della nuova Direttiva UE sulle acque reflue urbane.

Bibliografia

[1] **CAFC SpA. Ing. Michele Mion**, "*Applicazione del Sistema ASIA ad un depuratore BNR classico, con potenzialità di 13.000 abitanti equivalenti*"

Stima del potenziale di riutilizzo irriguo di reflui urbani per la pianificazione di investimenti pubblici in applicazione del Reg. (UE) 741/2020: un approccio qualitativo basato sui dati di reporting della UWWTD

Marianna Ferrigno marianna.ferrigno@crea.gov.it, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Alessandra Pesce, Marica Furini, Olga Addimanda, Simona Capone, Manal Samir Mustafa Hamam
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) – Centro di Ricerca Politiche e Bioeconomia

Riassunto
Ai sensi del Reg. (UE) 741/2020, per la pianificazione di investimenti per la distribuzione a scopo irriguo di reflui urbani affinati, è necessario confrontare il livello di trattamento applicato nell'impianto e l'inquadramento agronomico delle aree potenzialmente servite (categorie di colture e sistemi irrigui utilizzati). Tale approccio qualitativo è stato applicato in alcuni distretti irrigui del Consorzio di bonifica della Gallura in Sardegna, potenzialmente irrigabili dalle acque in uscita dal Depuratore di Olbia attraverso una nuova rete irrigua dedicata e di cui è stata in precedenza indagato il potenziale di soddisfacimento del fabbisogno irriguo in base ai dati delle banche dati DANIA e SIGRIAN del CREA (Ferrigno et al. in Atti Ecomondo 2023). In base al trattamento applicato, il depuratore avrebbe la potenzialità di produrre un'acqua affinata di classe A. Le colture presenti nelle aree agricole sottese alla nuova rete (fonte AGEA), sono potenzialmente irrigabili per l'80% del totale (circa 1.444 ha) con acque di classe C in caso di irrigazione a pioggia o di classe D in caso di irrigazione a scorrimento.

Summary
Pursuant to Reg. (EU) 741/2020, for planning investments for the distribution of treated urban wastewater for irrigation purposes, it is necessary to compare the level of treatment applied in the UWWTP and the agronomic framework of the potentially served areas (type of crops and irrigation systems used). This qualitative approach has been applied in some irrigation districts of the Gallura Consortium in Sardinia, potentially irrigable by the waters exiting from the Olbia UWWTP through a new dedicated irrigation network and whose potential to satisfy irrigation needs has previously been investigated based on data from the DANIA and SIGRIAN databases by CREA (Ferrigno et al. in Proceedings of Ecomondo 2023). Based on the treatment applied, the UWWTP would have the potential to produce class A water. The crops present in the agricultural areas under the new network (source AGEA), are potentially irrigable for the 80% of

the total (about 1.444 ha) with class C water in the case of sprinkler irrigation or class D in the case of surface irrigation.

1. Introduzione

L'accesso all'acqua negli ultimi decenni è diventato sempre più difficile. L'agricoltura, dipendendo fortemente dalla risorsa idrica, sarà il settore che verrà più danneggiato. L'area mediterranea, caratterizzata da una disponibilità limitata e irregolare di risorse idriche, si prevede diventerà ancora più vulnerabile a causa dei cambiamenti climatici [1]. In tale contesto il riutilizzo delle acque reflue recuperate è considerata una fonte idrica alternativa, soprattutto in ambito agricolo [2] [3]. La nuova Direttiva acque reflue urbane promuove il riutilizzo delle acque reflue trattate provenienti da tutti gli impianti di depurazione, in particolare nelle zone soggette a stress idrico, richiamando in caso di riutilizzo a fini irrigui il rispetto del Reg. (UE) 741/2020, che ad oggi è la norma di riferimento europea per il riutilizzo diretto a scopo irriguo di acque reflue urbane depurate. Il Reg. (UE) 741/2020 stabilisce le prescrizioni minime per facilitare l'adozione del riutilizzo dell'acqua uniformando il quadro normativo europeo [4] e adottando un approccio "fit for purpose" che tiene conto della compatibilità dell'offerta di acqua rispetto alla domanda e della valutazione dei rischi sito specifica [5]. In Italia tale regolamento va ad innestarsi in un quadro normativo previgente (Decreto Ministeriale n.185 del 12 giugno 2003) improntato ad un approccio "fit for all" con valori limite di qualità delle acque indipendenti dalla tipologia di acque reflue da trattare e dagli utilizzatori finali delle acque trattate e che non ha adeguatamente incentivato il riutilizzo.
Molti studi hanno finora indagato, sia dal punto di vista tecnico che economico, il potenziale di riutilizzo dei reflui urbani affinati di soddisfare il fabbisogno irriguo [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] focalizzandosi tuttavia prevalentemente sull'aspetto quantitativo sia dell'offerta di acqua (reflui affinati) che della domanda (fabbisogno irriguo), mancando spesso di approfondire il contesto colturale, che invece è elemento cardine della programmazione del riutilizzo. Per programmare il riutilizzo irriguo di acque affinate in applicazione del Reg. (UE) 741/2020 e definire le priorità di investimento occorre, infatti, considerare i fabbisogni irrigui sito specifici anche in rapporto alla tipologia di coltura e ai metodi irrigui utilizzati, confrontando il livello tecnologico dell'impianto e la caratterizzazione agronomica dell'area agricola limitrofa.

2. Relazione

La proposta di DPR [13] in corso di approvazione per l'armonizzazione del Reg. (UE) 741/2020 con la normativa nazionale italiana previgente prevede la pianificazione delle attività di affinamento delle acque reflue ai fini del riutilizzo da parte delle Regioni e province autonome individuando, tra quelli esistenti, gli impianti di depurazione che possono essere destinati alla produzione di acqua affinata, sulla base di una valutazione costi-benefici, tenendo conto, per il riuso a fini irrigui, delle colture e sistemi irrigui prevalenti e relativo fabbisogno irriguo, della presenza di un ente adatto alla distribuzione almeno a livello sovracomunale come gli enti di bonifica ed irrigui e della presenza di una rete di distribuzione o degli investimenti necessari a realizzarla. La reale disponibilità di reflui affinati per l'irrigazione dipende, dunque, non solo dalla quantità ma anche dalla qualità del refluo prodotto in rapporto alla natura delle colture stesse.

2.1 Aspetti normativi per la programmazione del riutilizzo dei reflui in agricoltura

In funzione del tipo di colture e del sistema di irrigazione presenti, il Reg. (UE) 741/2020 definisce la classe minima di qualità delle acque richiesta in uscita dall'impianto di depurazione (da A a D) (Fig. 1); ad ogni classe di qualità delle acque è associato il livello minimo di trattamento del refluo (secondario, filtrazione, ecc) e determinate prescrizioni di qualità

in uscita al punto di conformità (Fig. 2). La proposta di DPR in consultazione prevede, in aggiunta, anche il trattamento terziario per tutte la classi di qualità delle acque. Il primo passo per programmare il riutilizzo è, dunque, verificare la compatibilità tra il livello tecnologico dell'impianto e la caratterizzazione agronomica dell'area agricola limitrofa.

Classe minima di qualità delle acque affinate	Categoria di coltura (*)	Tecniche di irrigazione
A	Tutte le colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è a diretto contatto con le acque affinate e le piante da radice da consumare crude	Tutte
B	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Tutte
C	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Irrigazione a goccia (**) o altra tecnica di irrigazione che eviti il contatto diretto con la parte commestibile della coltura
D	Colture industriali, da energia e da sementi	Tutte le tecniche di irrigazione (***)

(*) Se lo stesso tipo di coltura irrigata rientra in più categorie della tabella 1, si applicano le prescrizioni della categoria più rigorosa.
(**) L'irrigazione a goccia (o irrigazione localizzata) è un sistema di microirrigazione capace di somministrare acqua alle piante sotto forma di gocce o di sottili flussi d'acqua. L'acqua viene erogata a bassissima portata (2-20 litri/ora) sul terreno o direttamente al di sotto della sua superficie da un sistema di tubi di plastica di piccolo diametro dotati di ugelli denominati «emettitori» o «gocciolatori».
(***) Nel caso di tecniche di irrigazione che imitano la pioggia, occorre prestare particolare attenzione alla protezione della salute dei lavoratori o degli astanti. A tal fine si devono porre in essere le adeguate misure preventive.

Fig. 1 – *Classi di qualità delle acque affinate e tecniche di irrigazione e utilizzi agricoli consentiti (Fonte: Tabella 1 del Reg(UE) 741/2020*

Classe di qualità delle acque affinate	Obiettivo tecnologico indicativo	Prescrizioni di qualità				
		E. coli (numero/100 ml)	BOD_5 (mg/l)	TSS (mg/l)	Torbidità (NTU)	Altro
A	Trattamento secondario, filtrazione e disinfezione	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	*Legionella* spp.: < 1 000 ufc/l se vi è rischio di diffusione per via aerea Nematodi intestinali (uova di elminti): ≤ 1 uovo/l per irrigazione di pascoli o colture da foraggio
B	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 100	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	–	
C	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 1 000			–	
D	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 10 000			–	

Fig. 2 – *Prescrizioni minime di qualità delle acque (Fonte: Tabella 2 del Reg (UE) 741/2020*

2.2 Esempio di applicazione dell'approccio qualitativo basato sui dati di reporting della UWWTD

Il caso studio qui proposto si riferisce al potenziale riutilizzo irriguo delle acque del depuratore di Olbia nei distretti irrigui Olbia Sud e Olbia Nord del Consorzio di Bonifica Gallura in Sardegna. L'analisi approfondisce dal punto di vista qualitativo le valutazioni quantitative già effettuate in precedenza sulla potenzialità di un investimento irriguo per il riutilizzo dei reflui di soddisfare il fabbisogno irriguo delle aree sottese, sulla base dei dati ricavati delle banche dati SIGRIAN[1] e DANIA[2] del CREA [14]. La precedente valutazione è stata ampliata stimando ora l'aspetto qualitativo applicato al riutilizzo delle acque affinate prodotte dal depuratore, con elementi ed analisi sulla compatibilità tra "domanda" e "offerta", ovvero tra il tipo di refluo potenzialmente prodotto e le richieste al campo in funzione delle colture e metodi irrigui presenti.

[1] SIGRIAN – Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura (https://sigrian.crea.gov.it/)
[2] DANIA – Database Nazionale degli investimenti per l'Irrigazione e l'Ambiente (https://dania.crea.gov.it/)

Materiali e metodi. L'analisi ha previsto una prima fase di inquadramento infrastrutturale dell'impianto attraverso i dati del Reporting UWWTD (Urban Waste Water Treatment Directive) relativi all'anno 2020 disponibili sul sito della banca dati SINTAI (Sistema Informativo per la Tutela delle Acque in Italia) di ISPRA. L'inquadramento agronomico dell'area è stato eseguito attraverso i dati del Piano Colturale Grafico di AGEA per l'anno 2018[3] relativo alle aziende agricole che hanno presentato una qualsiasi domanda di aiuto PAC per superficie. In particolare, per le colture presenti nei distretti irrigui di interesse, sono state desunte le destinazioni d'uso utili ad individuare la corrispondente *"categoria colturale"* di cui al Reg. (UE) 741/2020 tab. 2. Il metodo irriguo prevalente è stato, invece, ricavato dai dati del VII Censimento ISTAT dell'agricoltura, 2020.
È stato quindi costruito un dataset contenente per ogni coltura:
– tipologia di consumo (alimentare, non alimentare) e caratteristiche della pianta (ipogea, epigea, ecc.);
– tecnica di irrigazione prevalente: aspersione, a pioggia, infiltrazione laterale, sommersione, scorrimento, a goccia/microirrigazione;
– classe qualità: attribuita con giudizio esperto secondo le indicazioni fornite dalla normativa [15] e combinata con la tecnica irrigua utilizzata e il numero di barriere per la riduzione del rischio.
L'applicazione del metodo descritto consente di predisporre una matrice che, incrociando le categorie colturali con il sistema irriguo utilizzato, permette di definire la qualità di acqua affinata richiesta per l'irrigazione, fornendo una panoramica del fabbisogno idrico del territorio in termini qualitativi. Il confronto con l'inquadramento infrastrutturale consente di stimare quali e quanti ettari di colture possono usufruire di acqua affinata proveniente dal depuratore in esame.
Contesto di riferimento. Il Consorzio di Bonifica della Gallura, secondo quanto emerge dall'analisi dei dati presenti in SIGRIAN, gestisce la distribuzione dell'acqua a fini irrigui in tre distretti irrigui: Arzachena, Olbia Nord e Olbia Sud, tramite lo schema irriguo denominato *Invaso Liscia* (id schema SIGRIAN 246), che si approvvigiona con una fonte principale, l'invaso artificiale del Liscia (id fonte SIGRIAN 12683), ma potenzialmente anche dal Depuratore "Olbia Sa Corroncedda" (id fonte SIGRIAN 14370) (Fig. 3).
Per garantire il pieno soddisfacimento del fabbisogno irriguo dell'area, caratterizzata da lunghi periodi di siccità che comportano una relativa scarsità idrica, si prevede un intervento infrastrutturale (Codice DANIA 20-03-0067-2656) per il rafforzamento dell'interconnessione già esistente tra i distretti di Olbia Nord e Olbia Sud, con l'obiettivo di estendere al distretto di Olbia Nord la possibilità di utilizzo del refluo affinato proveniente dal Depuratore di "Olbia Sa Corroncedda", situato nel Distretto irriguo di Olbia Sud. Dal punto di vista quantitativo, questo intervento consentirebbe di servire, mediante reflui depurati, il 77%% della superficie attrezzata dei due distretti Olbia Nord e Olbia Sud, soddisfacendone il 90% del fabbisogno irriguo [14].

[3] Nonostante la datazione del PCG, il documento è da considerarsi affidabile poiché le colture considerate hanno carattere permanente, trattandosi di prato pascoli e colture arboree.

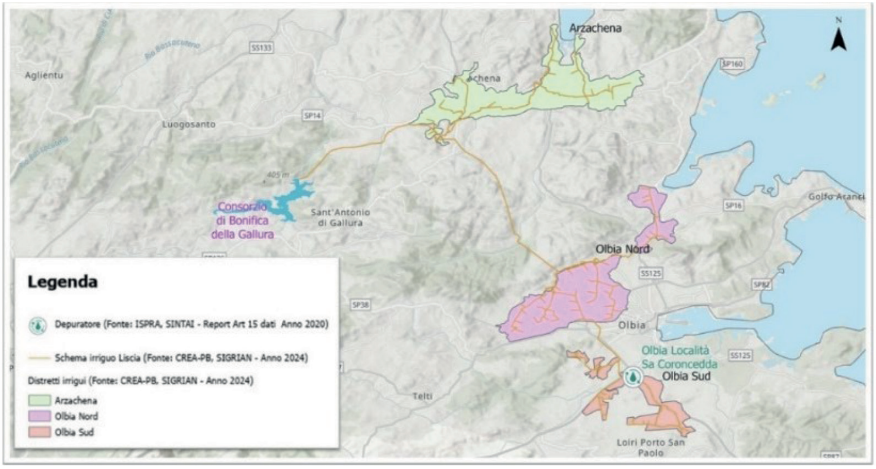


Fig. 3 – *Inquadramento territoriale dello schema irriguo Liscia e dell'area oggetto di studio (Fonte: Elaborazione CREA PB)*

Il depuratore "Olbia Sa Corroncedda": caratterizzazione tecnologica

Si tratta di un depuratore considerato, prioritario e destinato all'utilizzo irriguo (Delibera regionale 75/15 del 2008 s.m.i.), oggetto nel 2017 di lavori di manutenzione straordinaria e adeguamento dei sistemi di trattamento, per consentire il recupero delle risorse e il riutilizzo[4]. Secondo i dati SINTAI – Reporting UWWTD 2020, l'impianto ha una capacità progettuale di circa 82.000 abitanti equivalenti (A.E.) ed effettiva di 60.000 A.E., ed effettua i seguenti trattamenti: primario, secondario, terziario di rimozione dell'azoto e del fosforo, disinfezione (con raggi UV, cloro ed ozono), filtrazione a sabbia. Pertanto, ai sensi del Reg. (UE) 741/2020, il depuratore ha le potenzialità per produrre un'acqua affinata di classe A; dal momento che prevede il trattamento terziario, la potenziale classe A risulterebbe anche applicando la proposta normativa nazionale in corso di consultazione. L'effettiva classe di qualità delle acque in uscita dall'impianto dipenderà poi dai valori dei parametri microbiologici e chimico-fisici richiesti dal Regolamento per la verifica delle "prescrizioni di qualità", dati non disponibili nel reporting UWWTD.

I distretti Olbia nord e Olbia sud: inquadramento agronomico

Secondo il Piano Colturale Generale AGEA, 2018, nei distretti di Olbia Nord e Olbia Sud sono presenti 34 diversi tipi di colture (potenzialmente irrigue), per circa 1.800 ettari, con prevalenza di appezzamenti dedicati alla produzione di foraggio o comunque utilizzati a tale scopo. In Tabella 1 si riportano le colture con estensione complessiva superiore ai 10 ettari, che costituiscono il 99% del totale.

Occupazione del suolo	Destinazione d'uso	Superficie (ha)	Superficie (%)
Pascolo*	Da foraggio	1.200,71	66,3
Erbaio	Da foraggio	459,48	25,4

Segue

[4] https://www.olbia.it/olbia-reflui-per-lagricoltura-parte-lammodernamento-del-depuratore

Occupazione del suolo	Destinazione d'uso	Superficie (ha)	Superficie (%)
Vite	Da mensa/da vino	38,94	2,1
Avena	Da granella	37,76	2,1
Olivo	Da mensa/da olio	25,29	1,4
Erba medica	Da foraggio	15,69	0,9
Trifoglio	Da foraggio	13,47	0,7
* Comprensivo di: pascolo arborato – cespugliato tara 20%; pascolo arborato – tara 50%; pascolo con pratiche tradizionali; pascolo polifita; pascolo polifita con roccia affiorante tara 20%; prato pascolo; prato polifita			

Tab. 1 *Principali categorie di occupazione del suolo e destinazione d'uso dei distretti irrigui Olbia Nord e Sud (Elaborazioni CREA PB)*

Le colture presenti nei due distretti irrigui possono essere ricomprese in 7 categorie di colture di cui al Reg. (UE) 741/2020 e relativo documento di orientamento (Tab. 2 e Fig. 4). Ad ognuna di esse è stata associata la qualità richiesta di acqua affinata in base al sistema irriguo prevalente.

Categorie di colture	Superficie (ha)	Superficie (%)
colture non alimentari-da foraggio	1.689,4	93,2
colture alimentari da consumare previa trasformazione-epigea alto fusto con frutti ad almeno 50 cm da terra	64,2	3,5
colture alimentari destinate alla trasformazione	40,7	2,2
colture non alimentari-da vivaio	9,1	0,5
colture industriale e da energia	5,8	0,3
colture alimentari da consumare cotte-piante da radice	2	0,1
colture alimentari consumate crude e buccia commestibile -epigea alto fusto con frutti ad almeno 50 cm da terra	0,9	0,1

Tab. 2 – *Categorie di colture di cui al Reg. (UE) 741/2020 dei distretti irrigui Olbia Nord e Sud (Elaborazioni CREA PB)*

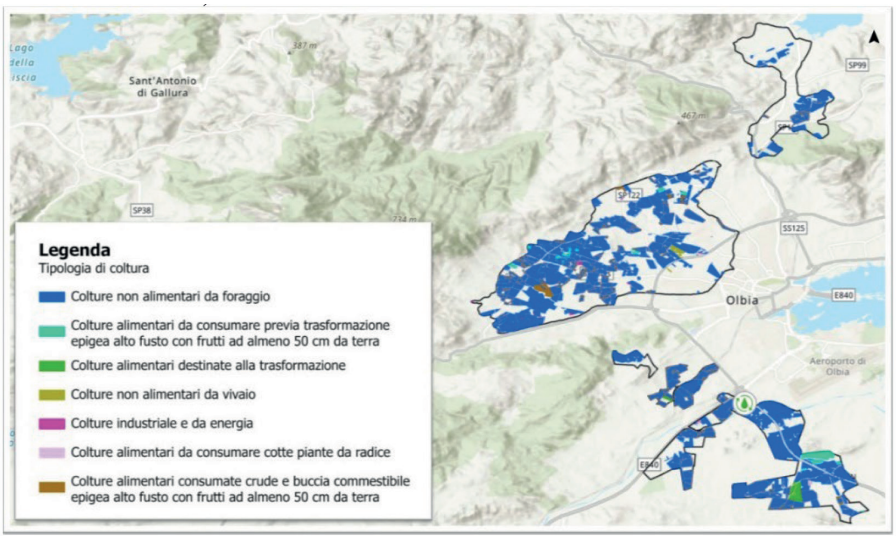


Fig. 4 – *Rappresentazione cartografica della distribuzione delle categorie colturali sul territorio dei distretti (Elaborazioni CREA PB)*

Risultati dell'analisi nei distretti considerati

L'analisi ha evidenziato come nei distretti Olbia sud e Olbia nord, per circa 1.444 ha destinati a foraggio, comprensivo del pascolo (corrispondenti all'80% della superficie agricola dei due distretti), sia sufficiente una classe di qualità C poiché in queste aree è presente prevalentemente un metodo irriguo a pioggia e laddove si inserisca una barriera, ovvero "*Interrompere l'irrigazione almeno 24 ore prima dell'ingresso degli animali. Gli animali non devono essere esposti a foraggi irrigati con acque affinate, a meno che non vi siano dati sufficienti che indichino la possibilità di gestire i rischi legati a un caso specifico. Il foraggio deve essere essiccato o insilato prima dell'imballaggio*". Per le stesse colture, sarebbe possibile utilizzare una classe D con l'utilizzo di 3 barriere in caso di sistema di irrigazione a scorrimento.

Con questo approccio qualitativo, è possibile stimare quanti e quali ettari possono eventualmente essere irrigati con l'acqua prodotta dal depuratore, e quindi come il riutilizzo del refluo possa essere una valida alternativa.

3. Conclusioni

Il caso studio qui esposto, in applicazione del Reg. (UE) 741/2020, espone un metodo di valutazione qualitativa del fabbisogno irriguo del territorio, caratterizzando il depuratore (ossia la classe di qualità che può produrre in base alla sua tecnologia) e le colture in campo (categorie, caratteristica colturale, tipologia di consumo), e stimando quanto effettivamente il riutilizzo del refluo possa sopperire al fabbisogno irriguo specifico. La metodologia proposta, laddove applicata a contesti territoriali sul livello regionale o sub regionale, è utile ad orientare la programmazione del riuso e la successiva verifica di dettaglio delle prescrizioni di qualità e della fattibilità tecnico-economica del riuso. A seconda dei risultati, è possibile comprendere dove il riuso è già praticabile, dove è fattibile solo dopo investimenti e, nel caso, definire l'ambito di investimento, ovvero se potenziare il depuratore (producendo un'acqua di classe più elevata) oppure modificare il metodo irriguo. La presenza di un depuratore capace di produrre una classe di qualità alta permette il riutilizzo diffuso del refluo su molteplici colture, riducendo barriere e utilizzando metodi irrigui meno localizzati, diversificando gli usi e le destinazioni

colturali e supportando l'adattamento climatico del territorio. D'altra parte, l'adozione di sistemi a microirrigazione, quindi con una somministrazione più locale e specifica che riduce al minimo l'eventuale contatto tra parte edibile e acqua affinata, agendo come barriera consente l'utilizzo di una classe di minor qualità. Nel novero degli investimenti va considerata anche la realizzazione delle reti di collegamento infrastrutturale tra impianto e rete (se mancano) mentre la % di fabbisogno irriguo soddisfatta dal refluo affinato può dare idea della convenienza dell'investimento. A valle di tale analisi preliminare le modalità sito specifiche del riuso vanno poi indagate nel Piano di gestione dei rischi relativo al sistema di riutilizzo, in cui approfondire, tra l'altro, l'esistenza di una rete di supporto gestita da un ente irriguo, caratteristiche ambientali del territorio, presenza di barriere, disponibilità del refluo in base anche alla stagionalità. Si evidenzia, infine, come una condivisione più ampia e dettagliata dei parametri chimici delle acque affinate in uscita dai depuratori consentirebbe un'applicazione più ampia del metodo anche in relazione alla verifica delle prescrizioni di qualità delle acque.

Bibliografia

[1] **Bucak T., Trolle D., Andersen H. E., Thodsen H., Erdoğan Ş., Levi E. E. & Beklioğlu M.** "Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model" *Science of the Total Environment, 58, 2017*

[2] **Morote Á. F., Olcina J. & Hernández M**. "The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in semi-arid regions: South-Eastern Spain" *Water*, *11*(1), 93, 2019

[3] **Ofori S., Puškáčová A., Růžičková I. & Wanner J.** "Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons" *Science of the Total Environment 760,* 2020

[4] **McLennan C., Rudi G., Altchenkoa Y. & Nassim Ait-Mouheb** "Will the European Regulation for water reuse for agricultural irrigation foster this practice in the European Union?" *Water Reuse* 2024

[5] **Maffettone R. & Gawlik B.M. "**Technical Guidance: Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe" *JRC Tecnical Report* doi:10.2760/590804, JRC129596; 2022

[6] **Moreno J.M. & Chabalina L.D.** "Economic analysis of water reuse in Spain" *Sustainable Irrigation Management, Tecnologies and Policies II, 325*, 2008

[7] **Birol E., Koundouri P. & Kountouris Y.** "Assessing the economic viability of alternative water resources in water-scarce regions: Combining economic valuation, cost-benefit analysis and discounting" *Ecological Economics 69 (839-847)* 2009

[8] **Arborea S., Giannoccaro G., de Gennaro B., Iacobellis V. & Piccinni F. A**. "Cost–Benefit Analysis of Wastewater Reuse in Puglia, Southern Italy" *Water* 2017

[9] **Ventura D., Consoli S., Barbagallo S., Marzo A., Vanella D., Licciardello F. & Cirelli G.L.** "How to overcome barriers for wastewater agricultural reuse in Sicily (Italy)?" *Water* 11 (335), 2019

[10] **Mancuso G., Parlato M.C.M., Lavrnic S., Toscano A. &Valenti F**. "GIS-Based Assessment of the Potential for Treated Wastewater Reuse in Agricultural Irrigation: A Case Study in Northern Italy" *Sustainability* 14, 2022 https://doi.org/10.3390/su14159364

[11] **Utilitatis Fondazione** "Report Scenari climatici e adattamento – Il ruolo delle utility nella siccità" 2023

[12] **Manganiello V., Zucaro R. & Dono G**. "The use of purified wastewater for irrigation: Possible strategies in the Capitanata area (Apulia, Italy)" *Agricultural Water Management* 2024

[13] Decreto Presidente della Repubblica sul riutilizzo dei reflui urbani depurati e affinati (bozza in consultazione) (https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/Acqua/DPR_consultazione_riutilizzo02-03-2023.pdf)

[14] **Ferrigno M, Manganiello V., Pergamo R., Ruberto M., Furini M. & Folino L. A.** "Politiche e approcci per la pianificazione e il monitoraggio degli interventi infrastrutturali irrigui per il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura" *Atti Ecomondo* 2023

[15] Comunicazione della Commissione, Orientamenti a sostegno dell'applicazione del regolamento (UE) 2020/741 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua (2022/C 298/019)

La linea fanghi di un impianto di depurazione: come si può controllare ed automatizzare grazie all'impiego di Controllori di processo avanzati

Ing. Maria Serena Gironi, Mariaserena.gironi@hach.com – Sales Development Manager
HACH LANGE SRL, Milano

Riassunto
Il gestore di un impianto di depurazione di acque reflue si trova ad affrontare nuove sfide legate a richiesta di qualità del trattamento sempre più elevate (normative sempre più stringenti, limiti su nuovi parametri, classificazione aree sensibili, ecc.) unitamente con la necessità di contenere i costi gestionali che, causa l'innalzamento dei costi, stanno diventando sempre più significativi (costi energetici, acquisto prodotti chimici usati nelle varie fasi di trattamento, smaltimento dei fanghi di depurazione). L'impiego di controllori automatici ed avanzati di processo che tengono sotto controllo le varie fasi di trattamento e gestiscono l'automazione dei dispositivi possono essere di grande aiuto per il gestore e dare una visibilità del processo in tempo reale 24/7.

Summary
A wastewater treatment plant manager is now facing new challenges related to ever higher treatment quality demands (increasingly stringent regulations, limits on new parameters, classification of sensitive areas, etc.) together with the need to reduce management expenses which, due to rising costs, are becoming increasingly significant (energy costs, purchase of chemicals used in the various treatment phases, disposal of sludge). The use of automatic and advanced process controllers that keep different treatment phases under control and manage the automation of the devices can be of great help to the operator and provide 24/7 real-time visibility of the process.

Introduzione
I processi depurativi di trattamento delle acque reflue portano alla produzione di fanghi (fango che proviene dalla sedimentazione primaria che contiene il 2%-3% di secco e molta sostanza putrescibile, fango prodotto nella vasca biologica con 0.8%–1.6% di secco, fango da processo di abbattimento chimico del fosforo). Il deposito, la movimentazione e lo smaltimento del fango prodotto rappresentano importanti voci di costo operative di un impianto e l'invio alle fasi successive di trattamento deve essere realizzato solo nel momento in cui il fango ha raggiunto una determinata concentrazione allo scopo di evitare spreco di energia e volumi nella linea stessa. I costi operativi si evidenziano in modo particolare nella fase di disidratazione del fango (centrifuga) dove viene aggiunto un polielettrolita, prodotto chimico necessario per l'addensamento del fango stesso. Tipicamente il dosaggio del polimero viene effettuato manualmente, con portata fissa, indipendentemente dalle caratteristiche del fango che entra nella centrifuga e tutto questo può portare a sovradosaggio e spreco del prodotto,

scarsa stabilità di processo, qualità del fango ottenuto scarsa e non costante. Si intuisce facilmente come, in questa fase di trattamento del fango di depurazione, l'implementazione di una misura in continuo ed in tempo reale della concentrazione degli SST (Solidi Sospesi Totali) ed un controllore di processo che, sulla base degli SST misurati sul fango da disidratare, dosi in automatico il polimero in centrifuga rappresenti decisamente un passo in avanti per la gestione ottimale anche della linea fanghi.

1. I fanghi di depurazione

Tutti sanno che lo scopo di un impianto di depurazione è quello di trattare le acque reflue provenienti dalle fognature, provvedendo alla rimozione dei solidi sospesi, della materia organica e dei nutrienti (azoto, fosforo, ecc.) in esse contenute: il processo di trattamento richiede energia e sostanze chimiche, e, soprattutto, porta alla produzione di fanghi. I solidi sospesi rappresentano infatti un elemento caratterizzante del processo di depurazione nel suo complesso: i solidi sospesi che arrivano con una concentrazione di 100-500 mg/l vengono rimossi durante la fase di pre-trattamento; nella successiva fase di ossidazione, si trovano le più alte concentrazioni di solidi sospesi (3-5 g/l) poiché qui il fango attivo (materia organica in sospensione e microrganismi atti a realizzare il processo biologico) è l'elemento chiave dell'impianto biologico. Il processo di trattamento dei fanghi prodotti consiste in successive operazioni di ispessimento e disidratazione che hanno lo scopo di ridurre il contenuto di acqua presente nel fango proveniente dalla fase di sedimentazione primaria e secondaria; il fango disidratato viene poi solitamente inviato alla fase di digestione anaerobica che trasforma la materia organica del fango in metano utilizzabile per produzione di elettricità mentre il prodotto finale stabilizzato dal trattamento subito nel digestore viene stoccato. Il deposito e il conseguente necessario smaltimento del fango prodotto rappresenta una dei principali costi operativi di un impianto.

I fanghi di depurazione, se quindi da una parte sono l'elemento chiave per il funzionamento di un impianto biologico a fanghi attivi, dall'altra si configurano come una voce di spesa da parte del gestore poiché sono considerati a tutti gli effetti dei rifiuti (D.Lgs n. 22 del 1997 e s.m.) e quindi come tali devono essere smaltiti e trattati. Solo in alcuni casi e solo se rispondenti a determinate caratteristiche fisico-chimico-biologiche (grado di umidificazione, carbonio organico, azoto e fosforo totale, contenuto di metalli pesanti, ecc. – Art.3 del D.Lgs. n. 99 del 1992), possono essere utilizzati per applicazioni agricole.

Solo un controllo in continuo delle variabili legate ai fanghi consente di controllare in modo efficiente i processi e quindi di intervenire per la regolazione degli stessi; i conseguenti benefici dell'analisi in continuo dei solidi sospesi si evidenziano, per quanto detto, sia sul processo biologico vero e proprio ove il controllo e la regolazione può portare ad un notevole risparmio energetico e ad una maggiore efficienza, sia sulla linea fanghi vera e propria ove è bene intervenire laddove sono presenti le maggiori criticità.

2. Il controllo degli SST nelle varie fasi del processo depurativo

2.1 Controllo del fango primario

Com' è noto, la funzione dei sedimentatori primari è quella di rimuovere le sostanze solide facilmente sedimentabili dall'acqua reflua grezza, in modo da eliminarle immediatamente dal ciclo, evitando il sovraccarico o la contaminazione delle successive stazioni di trattamento. La successiva separazione solido-liquido avviene nelle stazioni di ispessimento.

Il controllo in continuo del contenuto di solidi nel fango primario fa sì che un'adeguata concentrazione di fango primario venga inviata al trattamento successivo, fa sì che venga richiesta una minore energia di pompaggio e riscaldamento e fa sì che la pompa relativa venga fermata

quando la concentrazione di solidi va sotto un certo valore (questo per evitare di estrarre troppa acqua pulita).

2.2 Vasca di ossidazione
L'informazione in tempo reale sul valore di concentrazione di solidi sospesi nella vasca di ossidazione degli impianti biologici assicura che in vasca sia presente un'adeguata quantità di biomassa (microrganismi responsabili della rimozione degli inquinanti) in modo tale da aumentare al massimo l'efficienza del processo biologico e garantendo contemporaneamente un risparmio di energia nella fase di aerazione. Inoltre, consente di calcolare il carico di fango al quale opera l'impianto e l'età del fango stesso e di confrontarli con i valori di progetto, permette quindi di realizzare un controllo di processo basato sul cambiamento del carico dell'impianto e dà un avvertimento immediato nel caso in cui si verifichino problemi e situazioni anomale.
Le fluttuazioni della concentrazione di Solidi Sospesi all'interno della vasca di ossidazione sono notevoli, sia nel breve che nel lungo periodo; pertanto solo il monitoraggio in continuo, consente di regolare le variabili d'impianto in modo da ottimizzare il processo.

2.3 Ricircolo
Il ricircolo dei fanghi attivi è di fondamentale importanza per l'efficienza di funzionamento di un processo biologico. Per avere la massima efficienza delle fasi di ossidazione e nitrificazione, è fondamentale avere un determinato contenuto di biomassa e quindi conoscere la concentrazione di solidi sospesi ricircolati dal sedimentatore secondario alle vasche biologiche. Il controllo in continuo della concentrazione di solidi sospesi nel ricircolo consente di ottimizzare e razionalizzare il funzionamento delle pompe preposte a ciò e di bloccare, tra l'altro, l'estrazione del fango nel caso in cui sia troppo diluito.

2.4 Uscita impianto
Il monitoraggio in continuo della concentrazione dei fanghi in uscita dall'impianto è infine di fondamentale importanza: la fuga di solidi sospesi nell'effluente è una segnalazione della diminuita sedimentabilità del fango biologico che può avere cause di natura idraulica (incremento delle portate, malfunzionamento dei decantatori, eventi meteorici etc.) e/o cause legate al processo di depurazione nel suo complesso (fenomeni di bulking, rising che possono condizionare fortemente le caratteristiche di sedimentabilità del fango).
Da ciò ne deriva che il controllo in continuo dei solidi sospesi, oltre che garantire il rispetto dei limiti di legge, fornisce informazioni immediate sull'efficienza globale del processo di depurazione, riuscendo ad individuare tempestivamente eventuali cause di malfunzionamento.

3. La linea Fanghi – fasi e criticità
Per quanto riguarda la gestione della linea fanghi vera e propria, i benefici dell'analisi in continuo si evidenziano in particolar modo nella sezione di concentrazione (ispessimento e disidratazione) e nel digestore anaerobico dove il monitoraggio in continuo della concentrazione dei fanghi è necessario a garantire un apporto di fango sufficientemente concentrato. Allo stesso modo, il passaggio di fango da ciascuna delle fasi di cui si compone la linea di trattamento (ispessimento, disidratazione, digestione, filtrazione etc.) e l'invio a quella successiva, dovrebbe essere realizzato solo nel momento in cui il fango biologico ha raggiunto una determinata concentrazione. Così, per esempio, l'invio del fango con la giusta concentrazione di solidi sospesi al digestore anaerobico è essenziale per ottimizzare il funzionamento dello stesso: i costi energetici per il mantenimento della temperatura crescono inutilmente quando si invia

un fango troppo diluito al processo. Analogamente, i fanghi in uscita dal digestore e inviati alla successiva fase di concentrazione devono essere caratterizzati da un certo valore di g/l allo scopo di sfruttare al massimo le prestazioni e le rese delle centrifughe. Infine, il consumo del polielettrolita additivato, anche per il trattamento con filtro presse e nastro presse, può essere razionalizzato in funzione di una misura in tempo reale che permette il suo dosaggio razionale ed automatico in funzione di quanto strettamente necessario.

4. I vantaggi di una misura online con un controllore di processo

I costi gestionali si evidenziano in modo particolare nella fase di disidratazione del fango (centrifuga) dove viene aggiunto un polielettrolita, prodotto chimico necessario per l'addensamento del fango stesso. L'implementazione di una misura in continuo ed in tempo reale della concentrazione degli SST (Solidi Sospesi Totali) ed un controllore di processo possono sicuramente essere di aiuto per una gestione ottimale delle fasi di trattamento.

L'importanza di un controllo in continuo della concentrazione di solidi sospesi per i vari motivi sopra visti, si riflette conseguentemente sull'importanza di avere uno strumento che sia caratterizzato da un'elevata affidabilità di funzionamento, da un'elevata ripetibilità nella misura, da un esercizio con ridotta manutenzione, dalla capacità di adattarsi alle caratteristiche di variabilità del fango. È quindi necessario avere uno strumento che non risenta dell'interferenza dovuta alle caratteristiche di variabilità del fango stesso (colore, natura, ecc.).

Per quanto riguarda la strategia di controllo e dosaggio, tipicamente il dosaggio del polimero viene effettuato manualmente, con portata fissa, indipendentemente dalle caratteristiche del fango che entra nella centrifuga e tutto questo può portare a sovradosaggio e spreco del prodotto, scarsa stabilità di processo, qualità del fango ottenuto scarsa e non costante. Si intuisce facilmente come, in questa fase di trattamento del fango di depurazione, l'implementazione di una misura in continuo ed in tempo reale della concentrazione degli SST (Solidi Sospesi Totali) ed un controllore di processo che, sulla base degli SST misurati sul fango da disidratare, dosi in automatico il polimero in centrifuga rappresenti decisamente un passo in avanti per la gestione ottimale anche della linea fanghi.

5. Controllori automatici per la linea fanghi

Il sistema di regolazione automatica SP-RTC (Sludge Processing Real Time Controller) integrato nella centralina di misura delle sonde Sc4500 consente una gestione ottimale della fase di Disidratazione poiché regola in automatico il dosaggio del polimero usato in funzione della concentrazione di Solidi sospesi monitorata online sul fango in ingresso alla centrifuga (grazie alla sonda SOLITAX SC) ed, opzionalmente, sul chiarificato in uscita dalla macchina stessa. Esperienze reali dimostrano che i vantaggi ottenibili da una logica di regolazione di questa tipologia sono legati a diversi aspetti: aumento della capacità di trattamento della macchina, processo di trattamento più efficace (fango più concentrato), funzionamento stabile sulla base del reale carico anziché del volume, maggiore stabilità di processo, dosaggio più razionale del polielettrolita, riduzione dei costi di smaltimento del fango prodotto.

I Software ed algoritmi dei Controllori di Processo RTC sono appositamente progettati per garantire processi automatici di misura, controllo e gestione del processo della linea fanghi. Partendo infatti dalle misure in campo fornite da sonde ed analizzatori che danno la visibilità completa di ciò che sta avvenendo nella specifica fase di trattamento, i software dei controllori di processo elaborano i segnali dal campo in algoritmi di calcolo e strategie di controllo di diversa tipologia (ad anello aperto, ad anello chiuso o una combinazione di entrambe) che controllano i processi non sulla base del tempo o volume ma sulla base dell'effettivo carico. Una diagnostica avanzata ed integrata nella strumentazione e nel controllore stesso aumenta l'affidabilità di processo, permettendo di stabilire se le variazioni di misura dipendono da

alterazioni dello strumento o del processo in modo sempre da dare la massima sicurezza per il raggiungimento del risultato finale.

Conclusioni

I vantaggi che derivano dall'utilizzo di misuratori in linea dei parametri chiave del processo depurativo abbinati a controllori di processo specifici per le varie fasi sono diventati particolarmente significativi ed apprezzati anche per la linea di trattamento dei fanghi di depurazione in quanto consentono di ottenere significativi risparmi economici sui prodotti usati e sui costi di smaltimento che i gestori devono sostenere per il funzionamento ottimale di un impianto di depurazione nel suo complesso.

Eliminating PFAS and other organic micropollutants from sewage sludge in a climate and energy positive pyrolysis process

Christian Wieth, chwi@aquagreen.dk, AquaGreen ApS, Roskilde, Denmark

Summary
AquaGreen's sludge pyrolysis eliminates more than 95 % of organic micropollutants present in sewage sludge. 99,5 % of the PFAS in the sludge is eliminated on average and no PFAS is detectable in the flue gas.
The AquaGreen integrated sludge drying and pyrolysis process is autothermal, climate and energy positive, producing low PAH biosolids biochar.

Riassunto
La pirolisi dei fanghi di AquaGreen elimina oltre il 95% dei microinquinanti organici presenti nei fanghi di depurazione. In media viene eliminato il 99,5 % dei PFAS presenti nei fanghi e nei gas di scarico non è rilevabile alcun PFAS.
Il processo integrato di essiccazione e pirolisi dei fanghi AquaGreen è autotermico, climaticamente ed energeticamente positivo e produce biochar biosolidi a basso contenuto di IPA.

1. Introduction

Denmark has as the first country in EU implemented PFAS limit values for sludge.
It has been communicated by ECHA [1] that there will be PFAS limit values in next version of the EU Sewage Sludge Directive.
Ca. 20 % of the Danish sludge has a PFAS content above the Danish PFAS limit values [2] and the disposal cost has increased 10-fold.
The Urban Wastewater Treatment directive includes requirements for removing pharmaceuticals from wastewater and to monitor PFAS levels in wastewater.
It is therefor important to find new efficient treatment methods for elimination of PFAS and other organic micropollutants in sewage sludge.
Biosolids biochar are accepted for use in soil in Denmark [3] and Sweden [4] under the same regulation as sewage sludge and has been accepted as input material for fertilizers in Finland.
A 2021 state of science article [5] reports that *"The basic pathway for thermal PFAS destruction in a reductive environment is hydrodefluorination"*. This is a key hypothesis for what happens during pyrolysis, with ca. 20 % H_2 in the pyrolysis gas with no or low oxygen present. Since then, many studies have shown that pyrolysis is much more efficient than incineration, with complete or near complete (> 95 %) PFAS degradation, already at temperatures from 600 °C [6], [7], [8], [9].

2. Sludge drying and pyrolysis process

The data presented in this paper origin from the AquaGreen HECLA Setores 1.000 plant at the Danish wastewater treatment plant at Fårevejle, Denmark. AquaGreen's integrated sludge drying and pyrolysis process is a fully automated process ensuring reproducible process conditions with a highest heating temperature in the pyrolysis of 650 °C and a temperature above 600 °C for 10 minutes. The pyrolysis reactor is an auger based reactor heated with a jacket.

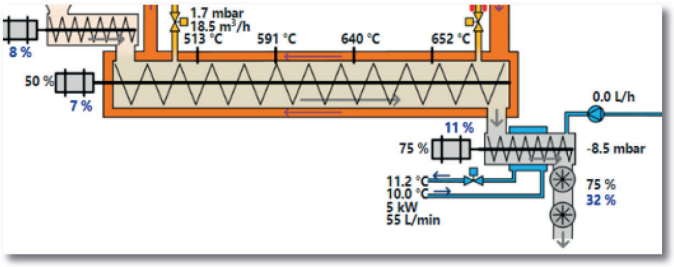


Fig. 1 – *Pyrolysis reactor with a highest heating temperature of 652 °C. Dried sludge enters top left, biochar exist to the bottom right.*

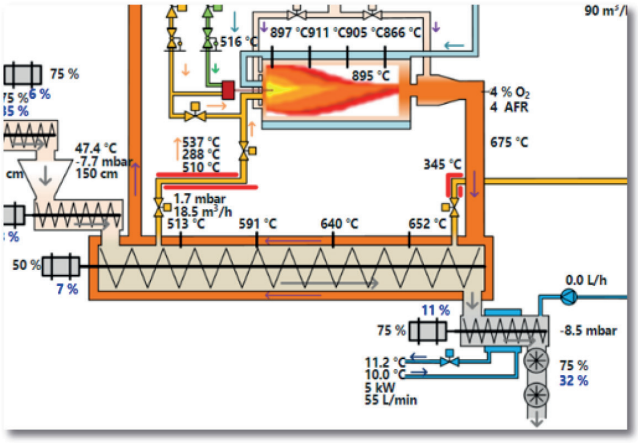


Fig. 2 – *The pyrolysis reactor is heated by the hot flue gas (675 °C) produced from burning all the pyrolysis gas at an average temperature of 895 °C.*

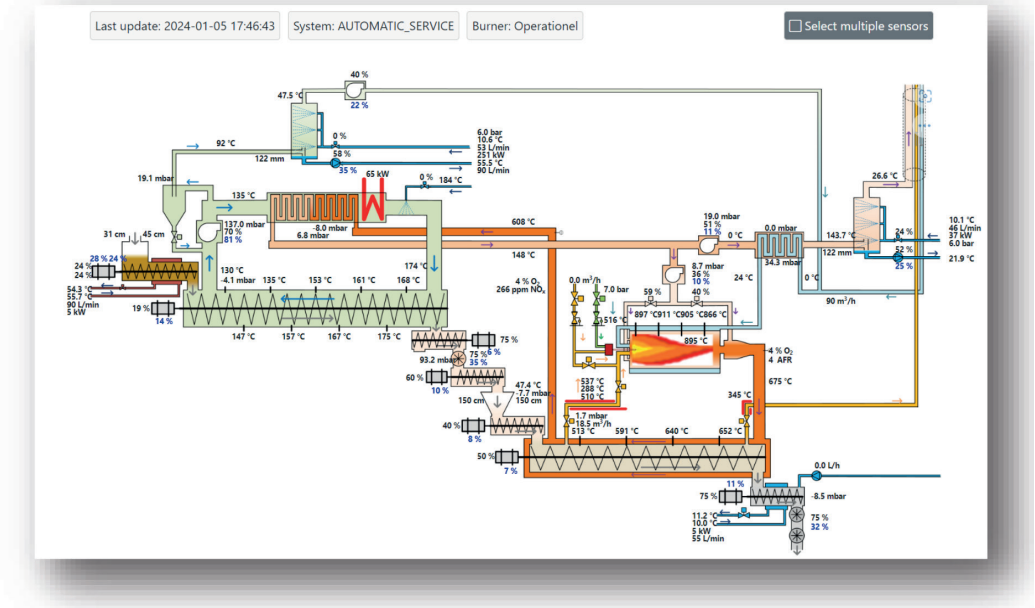


Fig. 3 – *The integrated sludge drying and pyrolysis process.*

The process is completely closed without air emissions from the dryer. The energy from the pyrolysis gas is used for the pyrolysis and the drying and the heat of evaporation from the dryer is recovered as hot water by condensation of the superheated steam.

3. Organic micropollutant removal

3.1 PFAS removal

Eurofins have analysed the PFAS content in biosolids and the corresponding biochar on 7 occasions.

Eurofins measures 22 different PFAS and the sum of these are reported as PFAS22.. Four PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS and PFNA) are singled out and the sum is measured as PFAS4. The limit values for PFAS22 and PFAS4 in sludge are 50 and 10 µg/kg dry matter in Denmark. On average there was a 99,5 % reduction of PFAS from the biosolids to the biochar. The dry matter mass of the biochar is 50 % of the dry matter mass of the biosolids. In 6 of the 7 trials the biosolids came from the rural municipality Odsherred and is not considered contaminated with a PFAS 22 concentration from 7-11 µg/kg dry matter and a PFAS4 concentration from 3-6 µg/kg dry matter. In the last trial some of the most heavily contaminated biosolids in Denmark with a PFAS4 content of 52 µg/kg dry matter was brought in from another municipality and treated. There was no PFAS detectable in the biochar arising from the contaminated biosolids.

	26-4-2022	28-6-2022	16-8-2022	27-10-2022	15-11-2022	6-12-2022	10-5-2022
Sum af PFAS4 – biosolids (µg/kg dm)	4,3	4,1	2,9	5,6	3,9	4,3	52
Sum af PFAS4 – biochar (µg/kg dm)	< LOD	< LOD	0,12	< LOD	0,42	< LOD	< LOD
Sum af PFAS22 -biosolids (µg/kg dm)	6,8	7,2	6,5	11	8,1	7,0	57
Sum af PFAS22 – biochar (µg/kg dm)	< LOD	< LOD	0,12	< LOD	0,42	< LOD	< LOD
PFAS22 removal (%)	100 % (>96% at LOD)	100 % (> 96% at LOD)	99,1% (> 95 % at LOD)	100 % (> 96% at LOD)	97,5 % (93 % at LOD)	100 % (> 97% at LOD)	100 % (> 99% at LOD)

Tab. 1 – *PFAS in biosolids and corresponding biochar. < LOD means below limit of detection. Removal % in parenthesis is calculated assuming all non-detected PFAS substances detected in the biosolids remain at limit of detection in the biochar.*

Eurofins has also analysed for PFAS in the flue gas across a broad range of 32 PFAS compounds including suspected partially hydrogenated degradation products and no PFAS could be detected in the flue gas neither before or after the scrubber.

3.2 Pharmaceuticals removal

Eurofins have analysed for 158 pharmaceuticals in the biosolids and the corresponding biochar on three occasions. The results are summarised in table 2.

	26-4-2022	28-6-2022	6-12-2022
Sum af 158 pharmaceuticals – biosolids (mg/kg dm)	6,4 26 substances detected	6,6 35 substances detected	6,3 41 substances detected
Sum af 158 pharmaceuticals – biochar (mg/kg dm)	< LOD No substances detected	0,363 5 substances detected	0,002 1 substance detected
Pharmaceuticals removal (%)	100 %	97,3 %	100 %

Tab. 2 – *Pharmaceuticals in biosolids and corresponding biochar*

On average more than 99 % of the pharmaceuticals are removed in the biochar.

The 5 pharmaceuticals detected in the "28-6-2022" pyrolysis are surprising given that all PFAS in the sludge were eliminated in the same test. The concentrations of these 5 compounds in the biosolids and in the biochar are compared below in table 3 along with the Paracetamol detected in the biochar on "6-12-22022".

Substance	Biosolids (mg/kg dm)	Biochar (mg/kg dm)	Recovery (%)
Acetanilid	<0,02 (DL: 0,001)	0,005	NA
Acetylsalicylic acid	1,0	0,30	15%
Paracetamol	0,018	0,044	125 %
Salbutamol	< 0,01 (DL 0,001)	0,009	NA
Fexofenadin	0,29	0,003	0,5 %
Paracetamol "6-12-2022"	<0,01 (DL 0,001)	0,002	NA

Tab. 3 – *Pharmaceuticals detected in biochar and the corresponding concentration in the biosolids*

The results in table 3 point to some anomalies in the biochar analysis of pharmaceuticals by Eurofins. It is hard to believe that while all other pharmaceuticals are eliminated and on average 99 % of PFAS compounds, that some of these organic molecules detected should be especially persistent to thermal degradation. In the authors view this is most likely false positives in the analytical method (EPA 1694 LC-MS/MS) used by Eurofins for broad detection of 158 different pharmaceuticals in biochar.

3.3 LAS, Nonylphenols, DEHP removal

LAS, nonylphenols and DEHP are all removed 100 % in the biochar based on results from four tests. The results are shown in table 4.

	28-06-2022	16-08-2022	15-11-2022	6-12-2022
LAS biosolids (mg/kg dm)	160	465	<50	<50
LAS biochar (mg/kg dm)	< LOD (<50)	< LOD (<50)	< LOD (<50)	< LOD (<50)
Nonylphenols biosolids (mg/kg dm)	3,9	2,6	0,8	0
Nonylphenols biochar (mg/kg dm)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DEHP biosolids (mg/kg dm)	8,5	12,6	8,2	8
DEHP biochar (mg/kg dm)	< LOD (<2)	< LOD (<2)	< LOD (<2)	< LOD (<2)

Tab. 4 – *LAS, Nonylphenols and DEHP in biosolids and corresponding biochar*

3.4 Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) and microplastic removal

PAH is formed in the pyrolysis gas and is kept from condensing on the biochar by the mechanical design of the pyrolysis machine. In the AquaGreen process the PAH9 concentration was at the most 0,4 mg/kg dry matter in the biochar based on measurements on four occasions, with at least 70 % PAH removal in the biochar.

This is a factor 8 below the limit value in Denmark for use in soil. The PAH9 group is defined in the Danish waste to soil regulation [10]., and its limit value is 3 mg/kg dm.

	28-06-2022	16-08-2022	15-11-2022	6-12-2022
PAH9 biosolids (mg/kg dm)	0,65	0,95	0,6	1
PAH9 biochar (mg/kg dm)	0,2	0,02	0,37	<LOD
PAH9 removal (%)	85%	99%	70 %	100 %

Tab. 5 – *PAH in biosolids and corresponding biochar*

Microplastics (PET, PP and PE) are all shown to be degraded in only a few seconds at temperatures above 550 °C. [11], [12],[13].

4. Climate and energy positive process

4.1 Positive climate footprint

Biosolids biochar typically contain around 30-40 % carbon, and hence store 1,1-1,5 tonnes CO_2e/tonne biochar or 0,55-0,75 tonnes CO_2e /tonne biosolids dry matter.

When comparing storing biosolids for 6 month before bringing them on farmland with pyrolysis of the biosolids without storage, the emission savings are calculated by an LCA from the Technical University of Denmark in connection with Aquagreen's process [14].

The emission savings are surprisingly high predominantly due to avoidance of methane and nitrous oxide formation in the biosolids saving, saving 1,5 tonne CO_2e /tonne biosolids dry matter [15] or 2 – 3 times more than the carbon storage itself.

4.2 Energy positive process

The AquaGreen process has an electricity consumption of 300 $kWh_{electrical}$/tonne biosolids dry solids treated. At the same time it produces 1500-2000 $kWh_{thermal}$/tonne biosolids dry solids as 70°C hot water condensed from the steam dryer or 5-6 more energy than it consumes, when the sludge has sufficient energy to be autothermal.

4.3 Autothermal

The AquaGreen process typically reaches an energy balance with 24 % dry matter in biosolids with a higher heating value of 15,2 MJ/kg dry matter (lower heating value of 14,0 MJ/kg dry matter), as shown in table 6.

Energy surplus/deficit (MWh/year) at different levels of dry matter content and energy content

Sludge lower heating value (MJ/kg dry matter)	Percent dry matter content							
	21,0%	22,0%	23,0%	24,0%	25,0%	26,0%	27,0%	28,0%
12,00	-748	-603	-459	-315	-170	-26	119	263
13,00	-613	-462	-311	-160	-9	142	293	443
14,00	-477	-320	-163	-6	152	309	466	624
14,06	-470	-312	-154	3	161	318	476	634
15,00	-342	-178	-15	149	313	476	640	804
16,00	-207	-37	133	303	474	644	814	984
17,00	-72	105	281	458	635	811	988	1.164
18,00	63	246	429	612	796	979	1.162	1.345

Tab. 6 – *Energy surplus or deficit as a function of biosolids energy and dry matter content in a HECLA® Setores 1.500 plant.*

5. Conclusions

The AquaGreen pyrolysis process combined with after-combustion of the pyrolysis gas is efficiently removing PFAS, in line with other published literature.

It is reasonable to confer that the process will degrade all unknown organic compounds to a similar order of magnitude (95 %+), and hence with a high degree of certainty remove the concern for unknown micropollutants in biosolids, in a process that ensures biochar PAH levels well below applicable limit values.

This happens in a process that further enables autothermal sludge drying with energy recovery as well as carbon capture and greenhouse gas emissions reduction.

Bibliography

[1] Annex XV RESTRICTION REPORT, ECHA, page 91, Annex XV
[2] Report on use of Danish waste to soil regulation, Report no. 57 from the Danish Environmental Protection Agency, August 2022
[3] Interpretation of controlled hygienization in relation to waste to soil regulation, Ministry of Environment, Statement 2021 – 60803 (revised)
[4] Swedish Water, Revaq standard 2024, Revaq 2024 v 9.0
[5] Winchell et al, Per– and polyfluoroalkyl substances thermal destruction at water resource recovery facilities: A state of the science review, Water Environment Research, 93: 826–843, 2021
[6]Taylor and Yamada, 2003, Laboratory-Scale Thermal Degradation of Perfluoro-Octanyl Sulfonate and Related Precursors
[7] EPA PFAS innovative treatment team (PITT) findings on PFAS destruction technologies, EPA Tools & Resources Webinar February 17, 2021, Gullett B.
[8] Bamdad, H.; Papari, S.; Moreside, E.; Berruti, F. High-Temperature Pyrolysis for Elimination of Per– and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Biosolids, Processes 2022, 10, 2187. https://doi.org/10.3390/ pr10112187
[9] Sørmo E.; Castro G.; Hubert M.; Licul-Kucera V.;Quintanilla M.; Asimakopoloulos A. G.; Cornelissen G.; Arp H.P.H. The decomposition and emission factors of a wide range of PFAS in diverse, contaminated organic waste fractions undergoing dry pyrolysis, Journal of Hazardous Materials 454 (2023) 131447, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131447
[10] BEK 1001 of 27/06/2018 – Danish Waste to Soil Directive, Ministry of Environment, Denmark
[11] Osman, A.I., Farrell, C., Al-Muhtaseb, A.H. et al. Pyrolysis kinetic modelling of abundant plastic waste (PET) and in-situ emission monitoring. Environ Sci Eur 32, 112 (2020). https://doi.org/10.1186/s12302-020-00390-x
[12] Ni B. et al, Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis, Environmental Science and Technology Letters, 7, 961-967
[13] Ray S et al, Thermal degradation of polymer and polymer composites, Thermal degradation of polymer and polymer composites, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00009-5
[14] Thomsen T.P., Carbon Footprint Analysis of AquaGreen system: DRYING AND PYROLYSIS OF SLUDGE – IN A CLIMATE PERSPECTIVE, DTU Chemical Engineering, 2018 (AquaGreen PCP phase 2, WP 5)
[15] Wieth C. White paper: Sewage sludge emission reduction by pyrolysis, AquaGreen 2023-11-24

La sfida dei PFAS

Francesco Capoti, f.capoti@irideacque.com, Stefano Scappazzoni s.scappazzoni@irideacque.com
Iride Acque SB S.r.l.

Riassunto
I PFAS (PerFluorinated Alkylated Substances) sono una classe di sostanze chimiche altamente fluorurate, note per la loro stabilità chimica che le rende resistenti alla degradazione ambientale e persistenti nell'ecosistema. Utilizzati fin dagli anni '50 in vari settori industriali, i PFAS si trovano in molti prodotti di uso quotidiano. La loro resistenza alla degradazione naturale e la tendenza ad accumularsi negli organismi viventi ha portato a una diffusa contaminazione ambientale e preoccupazioni per la salute umana. La contaminazione delle acque da PFAS è un problema prioritario, con implicazioni sanitarie e ambientali significative. Iride Acque SB S.r.l., una PMI innovativa specializzata nel trattamento delle acque industriali, ha sviluppato la tecnologia EMER (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor), un processo di ossidazione catalitica avanzata che utilizza un catalizzatore innovativo per attivare il perossido di idrogeno, migliorando l'effetto ossidativo sui reflui da trattare. Questa tecnologia è efficace nel ridurre la tossicità, migliorare la biodegradabilità e rimuovere colore e odori dalle acque reflue industriali. Il catalizzatore EMER offre vantaggi come tempi di reazione più brevi, uso di reagenti economici e integrazione facile nei processi esistenti. Iride Acque ha applicato la tecnologia EMER per affrontare la problematica dei PFAS nei reflui industriali, ottenendo una significativa riduzione della contaminazione. Nel dicembre 2023, Iride Acque ha condotto uno studio per valutare l'efficacia del proprio catalizzatore nel purificare le acque contaminate dai PFAS, utilizzando la tecnologia EMER in combinazione con tecnologie tradizionali. I risultati preliminari mostrano una significativa riduzione delle concentrazioni di PFAS sotto i limiti di legge. Iride Acque sta conducendo nuove analisi per confermare i dati preliminari. In caso di esito positivo, la tecnologia EMER potrebbe migliorare la qualità dell'acqua, proponendosi come una soluzione innovativa per contrastare efficacemente la diffusione dei PFAS, intercettandoli direttamente nei siti di produzione e proteggendo l'ambiente e le comunità.

Summary
PFAS (PerFluorinated Alkylated Substances) are a class of highly fluorinated chemical substances known for their chemical stability, which makes them resistant to environmental degradation and persistent in the ecosystem. Used since the 1950s in various industrial sectors, PFAS are found in many everyday products. Their resistance to natural degradation and tendency to accumulate in living organisms has led to widespread environmental contamination and concerns for human health. Water contamination by PFAS is a priority issue, with significant health and environmental implications. Iride Acque SB S.r.l., an innovative SME specialized in industrial water treatment, has developed the EMER (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor) technology, an advanced catalytic oxidation process that uses an innovative catalyst to activate hydrogen peroxide, enhancing the oxidative effect on the wastewater to be treated. This technology is effective in reducing toxicity, improving biodegradability, and removing color and odors from industrial wastewater. The EMER catalyst offers advantages such as shorter reaction times, the use of cost-effective reagents, and easy integration into

existing processes. Iride Acque has applied EMER technology to address the issue of PFAS in industrial wastewater, achieving a significant reduction in contamination. In December 2023, Iride Acque conducted a study to evaluate the effectiveness of its catalyst in purifying water contaminated with PFAS, using the EMER technology in combination with traditional technologies. Preliminary results show a significant reduction in PFAS concentrations below legal limits. Iride Acque is conducting further analyses to confirm the preliminary data. If successful, the EMER technology could improve water quality, presenting itself as an innovative solution to effectively combat the spread of PFAS, intercepting them directly at production sites and protecting the environment and communities.

1. Introduzione

1.1 Cosa sono i PFAS

I PFAS [1] (PerFluorinated Alkylated Substances), o composti perfluoroalchilici, rappresentano una classe di sostanze chimiche altamente fluorurate note per la loro struttura chimica estremamente stabile e quindi per la loro resistenza alla degradazione ambientale e persistenza nell'ecosistema. Queste loro proprietà sono valse la sfortunata nomea di "forever chemicals". Proprio grazie alla loro stabilità chimica, fin dagli anni 50, l'utilizzo di queste sostanze ha avuto un notevole successo in settori industriali come quello conciario, la produzione di carta e di contenitori per uso alimentare, i rivestimenti antiaderenti delle pentole (come impermeabilizzanti), e nella produzione di abbigliamento tecnico. La presenza diffusa di PFAS è dunque dovuta a prodotti di uso quotidiano come i rivestimenti impermeabili, le schiume antincendio e svariati altri materiali industriali. A causa della loro ricca presenza, dell'ottima rendita nei campi industriali, delle proprietà particolarmente resistenti ai processi di degradazione naturale (fotolisi, idrolisi e decomposizione aerobica e anaerobica), e la tendenza all'accumulo negli organismi viventi, si è verificata nel tempo una diffusa contaminazione ambientale di complessa identificazione e risoluzione. Inoltre, alcuni PFAS, tendono a biomagnificare attraverso la catena alimentare. Tale processo di biomagnificazione consiste nell'aumento della concentrazione delle sostanze tossiche, a partire dai livelli trofici più bassi fino a raggiungere quelli più alti della piramide alimentare. La preoccupazione principale di oggi riguarda la loro tossicità e la loro capacità di bioaccumularsi, con possibili effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente. In particolare, l'accumulo dei PFAS nell'organismo umano ha effetti dannosi la cui intensità non è ancora stata stabilità in maniera esatta e può essere correlato a patologie neonatali, diabete gestazionale e, in caso di esposizione cronica, formazione di tumori. Alcuni PFAS sono stati classificati anche come potenziali interferenti endocrini. La problematica concernente la contaminazione da PFAS delle acque sia superficiali che sotterranee sul territorio nazionale è un ramo di prioritaria importanza e il primo passo da compiere per affrontare la tematica. La contaminazione delle acque concerne aspetti sia di natura sanitaria che ambientale (tutela dei corpi idrici, disciplina degli scarichi, programmazione risorse, bonifiche, danno ambientale, etc.).



Fig. 1– *Prodotti di uso quotidiano contenenti Pfas*

1.2 Iride Acque e la sua missione nel trattamento delle acque industriali

Iride Acque SB S.r.l. è una PMI Innovativa italiana costituita nel 2015, attiva nel settore del trattamento delle acque industriali, con un particolare focus sul riutilizzo delle acque reflue. La Società, dal 2021, è una Benefit Company grazie all'impegno costante di allineare le proprie scelte ai criteri ESG, occupandosi di tutelare un bene prezioso e scarso senza il quale nessuna forma di vita sarebbe possibile. Iride Acque è stata costituita da un gruppo di manager con oltre 20 anni di esperienza nel settore delle acque e ha sviluppato e brevettato una tecnologia innovativa particolarmente efficace nel trattamento delle acque industriali.

2. Il catalizzatore EMER

Iride Acque con l'obiettivo di promuovere una cultura della sostenibilità, ha focalizzato le proprie attività di ricerca e sviluppo su:

– Pile esauste contenenti, in tutte le varianti, metalli (in particolare Fe, Mn, Zn).

– Rifiuti industriali, in particolare quelli con un elevato carico organico biorefrattario (non biodegradabili, tossici o composti inibitori di microrganismi). Il loro trattamento è fondamentale nei tradizionali sistemi di ossidazione biologica.

Partendo dalla constatazione che alcuni metalli presenti nelle batterie esauste sono in grado di catalizzare la formazione di radicali idrossilici, Iride Acque ha sviluppato e brevettato la tecnologia EMER (Enhanced Magnetic Heterogeneous Reactor). Il cuore di questa tecnologia è l'innovativo catalizzatore utilizzato per l'implementazione di un processo di Fenton eterogeneo. Il processo è un'ossidazione catalitica avanzata assistita da una barra magnetica, dove il catalizzatore, così ottenuto, svolge un'azione di attivazione di un reagente ecofriendly, il perossido di idrogeno, accelerandone l'effetto ossidativo sul refluo da trattare. Il processo di Fenton è stato applicato alle acque reflue industriali con il risultato di significative riduzioni di tossicità, miglioramento della biodegradabilità, rimozione di colore e odori. I suoi benefici (tra gli altri processi) includono tempi di reazione più brevi, pressione e temperatura ambiente, uso di reagenti economici e facili da maneggiare, facile integrazione nei processi di trattamento delle acque esistenti. L'uso di un catalizzatore permette quindi di ridurre la durata delle reazioni chimiche ossidative e di conseguenza, a parità di quantità di acque trattate, è possibile ridurre le dimensioni degli impianti, rispetto a quelli tradizionali. Insieme, breve durata e piccole dimensioni si traducono in bassi costi di investimento e di esercizio. Il processo messo a punto dalla Società permette di depurare e disinfettare i liquami industriali "in situ" restituendo un prodotto con caratteristiche fisiche che ne rendono possibile il riutilizzo nei cicli produttivi di provenienza. Diversi studi sono stati condotti in collaborazione con

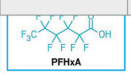
importanti università, quali l'Università di Brescia e l'Università La Sapienza di Roma, sul catalizzatore EMER e i principali risultati sono:
• **Su inquinanti biorefrattari**: il processo con catalizzatore EMER ha mostrato prestazioni migliori rispetto al Fenton omogeneo (dal +25% al +35%).
• **EMER** non altera le caratteristiche qualitative delle acque reflue (in particolare per la concentrazione di metalli), mantiene l'efficacia del catalizzatore invariata e riduce significativamente i fanghi chimici prodotti rispetto al processo Fenton tradizionale.
• **Il trattamento EMER** porta a un aumento significativo della biodegradabilità degli inquinanti residui (dal 32% al 58%).
Gli impianti installati da Iride Acque su scala industriale si differenziano, a seconda dell'applicazione, in due principali configurazioni:
• **Impianti batch o continui con ricircolo**: dove le acque reflue, condizionate e equalizzate in un serbatoio miscelato, vengono ricircolate in reattori speciali dove sono installati i vessel di reazione contenenti il catalizzatore.
• **Impianti a barre immerse**: sistemi in cui le barre del catalizzatore sono installate direttamente nel serbatoio di equalizzazione e condizionamento. Questa categoria include la nuova configurazione di impianto "Global Reactor" nella quale tutte le fasi di processo avvengono in un unico reattore.

2.1 La sfida di Iride Acque
Constatando, data la natura della clientela a cui la società si rivolge, la possibile presenza di composti PFAS nei reflui industriali trattati dai propri impianti, Iride Acque ha valutato la possibilità di eseguire degli studi mirati, affrontando la pesante problematica ambientale posta da tali inquinanti mediante l'utilizzo e l'applicazione della propria tecnologia brevettata EMER.
È stato quindi condotto un primo studio con l'obiettivo di verificare la capacità di abbattimento dei composti perfluoroalchilici e, in seguito, di perfezionare l'applicazione industriale della tecnologia in maniera da garantire un'efficace riduzione della contaminazione "alla fonte", contribuendo così alla preservazione della salute umana e dell'ecosistema.
Inoltre, lavorare alla rimozione già nel punto di emissione senza collettamento e accumulo con reflui di altra provenienza, come generalmente avviene allo stato attuale, consente di predisporre soluzioni più mirate dal punto di vista tecnico e più economiche in termini sia di realizzazione che di gestione.
Per raggiungere tali obiettivi, lo studio intrapreso da Iride Acque, ancora in corso, si articola in più passaggi:
• Verifica e conferma della capacità di abbattimento
• Regolazione e ottimizzazione delle condizioni di processo
• Verifica della risposta depurativa a variazioni qualitative/quantitative
• Ottimizzazione tecnologica su scala industriale

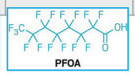
2.2. Lo studio condotto da Iride con il metodo EMER (Ossidazione Catalitica Avanzata) per l'abbattimento dei PFAS
Nel dicembre 2023 Iride Acque ha condotto uno studio per valutare il grado di efficacia del catalizzatore brevettato EMER nel purificare le acque contaminate dai PFAS. In particolare, i reflui industriali che presentavano una componente sensibile di composti perfluoroalchilici, sono stati trattati utilizzando in maniera congiunta la tecnologia EMER e le tecnologie tradizionali.
Di seguito i dati della contaminazione delle acque reflue in esame prima del trattamento:

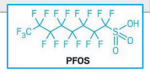
COMPOSTO:	PFPeA	PFHxA	PFBS	PFOA	PFOS	PFBA	PFNA
CONCENTRAZIONE: µg/l	<0,25	0,85	0,33	<0,25	<0,25	0,61	0,72

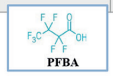












Tab. 1 – *Concentrazioni Pfas prima del trattamento*

Di seguito i risultati degli abbattimenti ottenuti:

Composto	DdI 2392 – Tabella 5-bis - Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura	tal quale	dopo depurazione	riduzione%
	µg/l	µg/l	µg/l	* stima
PFPeA	0,5	<0,25	<0,05	80*
PFHxA	0,5	0,85	0,24	72
PFBS	0,5	0,33	0,13	61
PFOA	0,5	<0,25	<0,05	80*
PFOS	0,5	<0,25	<0,01	96*
PFBA	0,5	0,61	0,06	90
PFNA	0,5	0,72	<0,5	31*
media				**74**

Tab. 2 – *Concentrazioni Pfas dopo il trattamento*

3. Conclusioni sullo studio condotto da Iride Acque

I risultati preliminari, dello studio condotto da Iride Acque, evidenziano l'efficacia significativa dell'innovativo metodo di depurazione con ossidazione catalitica avanzata nel ridurre le concentrazioni di PFAS a valori al disotto dei limiti di legge, sottolineando l'importanza che questa tecnologia può assumere nel mitigare gli impatti ambientali associati a tali sostanze pericolose.

Le percentuali di riduzione dei vari composti rilevati nel primo studio rappresentano, inoltre, un punto di partenza che potrà essere ottimizzato agendo sulle caratteristiche intrinseche della tecnologia EMER (durata complessiva della reazione, quantità di reagente attivante, ecc); l'esperienza accumulata da Iride Acque con sperimentazioni di laboratorio e impianti reali supporta la prospettiva di un ulteriore miglioramento di tali valori, che sono da ritenersi ancora non ottimizzati.

In definitiva, il primo studio ha confermato la fattibilità tecnica del processo e fornito a Iride Acque gli elementi utili per il successivo lavoro di affinamento sopra descritto, oltre a spunti per ulteriori approfondimenti che permettano di proporre la migliore soluzione tecnologica possibile.

4. Prospettive per il futuro

Sono attualmente in corso da parte di Iride Acque nuove analisi approfondite, volte a confermare i dati preliminari ottenuti dallo studio condotto.

Nello specifico, le linee di ricerca future sono volte a studiare il comportamento della tecnologia EMER al variare delle condizioni del refluo in termini di:

- Concentrazione massima dei composti PFAS
- Variazione del mix di composti PFAS
- Interazione con altri inquinanti presenti nel refluo

In caso di esito positivo, effettuate le dovute ottimizzazioni per proporre il sistema su scala industriale, il metodo e la tecnologia brevettata EMER potranno contribuire al miglioramento della qualità dell'acqua, proponendosi come una soluzione innovativa in grado di contrastare in maniera efficace la diffusione dei PFAS, intercettandoli direttamente nei siti di produzione, prima che entrino a contatto con le acque superficiali, e proteggendo così, la salute del nostro ambiente e delle comunità.
Inoltre, per le sue caratteristiche impiantistiche e la facilità di integrazione in filiere di trattamento esistenti, la tecnologia EMER potrà anche essere considerata come elemento aggiuntivo in impianti già esistenti, anche eventualmente a livello centralizzato.

Bibliografia

[1] MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) testo disponibile all'indirizzo https://www.mase.gov.it/pagina/pfas-inquinamento-da-sostanze-perfluoroalchiliche-nelle-acque.

INTEGRATED SOLUTIONS TO ADAPT WATER SYSTEMS TO CLIMATE CHANGE: EUROPEAN AND MEDITERRANEAN IMPACTS, SOLUTIONS AND INNOVATION ACTIONS

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo STC & Union for the Mediterranean, Water Europe, Marche Polytechnic University, University of Bologna, ANBI (National Association of Land Reclamation and Irrig ation Consortia)**

Climate change is exacerbating both water scarcity and water-related hazards (such as floods and droughts), as rising temperatures disrupt precipitation patterns and the entire water cycle. The Mediterranean basin is a climate change hotspot and projected climate water-related risk from IPCC are serious. Water solutions include healthy aquatic ecosystems and improved water management can lower greenhouse gas emissions and provide protection against climate hazards, wetlands also serve as a buffer against extreme weather events, early warning syste s for floods, droughts and other water-related hazards, water-resilient infrastructure planned and constructed following a systemic and nexus-based approach, climate smart agriculture. This workshop will be divided in n.3 sessions addressing main challenges and solutions with contributions from international networks and consortia, water authorities, agencies and utilities as well as the innovators.

Presidenti di sessione:
Attilio Toscano, Ecomondo STC and University of Bologna
Representative of UTILITALIA (TBC)
Representative of ANBI (TBC)
Representative of Italian Ministry of Environment and Energy Security (TBC)
Representative of Italian Ministry of Infrastructures and Transport (TBC)
Representative of Commissioner for dams (TBC)
Representative of Union for the Mediterranean (TBC)
Andrea Rubini, Water Europe
Francesco Fatone, Ecomondo STC and Marche Polytechnic University

Analysis of Greenhouse Gas Emissions and Energy Costs in a Wind-Powered Seawater Desalination Plant in Algeria

N. Charif[1], charifnadia94@gmail.com, H. Daaou Nedjari[2], M. Chaffi[3]

[1] Department of Fluid Mechanics and Energy, University of Science and Technology of Houari Boumerdienne, Algiers, Algeria.
[2] Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 16340 Algiers, Algeria
[3] BENISAF WATER COMPANY, Algiers, Algeria.

Summary
The production of electrical energy represents a great challenge for the future, with renewable energies, such as wind energy, offering a promising solution. This article examines the integration of wind energy into the operation of a seawater desalination plant located in BENISAF, Algeria. The study evaluates the plant's greenhouse gas emissions and energy costs before and after transitioning to wind power. Traditional desalination methods, which rely on fossil fuels, are associated with high environmental and economic costs, particularly due to significant CO2 emissions. By installing 11 Vestas 6 MW wind turbines at the nearby Sidi Farouk site, the plant's energy needs are fully met, with an annual energy production (AEP) of up to 290.572 GWh. This shift leads to a substantial reduction in CO2 emissions, ranging from 496,254 to 5,761.998 tons per year. The economic analysis reveals that the levelized cost of energy (LCOE) from wind power is highly competitive, with a payback period that makes this renewable energy source a viable alternative. The findings highlight the potential of renewable energy to enhance the sustainability of desalination processes, offering a pathway to reduce the environmental impact and operational costs associated with freshwater production in arid regions.

Keywords: *Desalination, Wind energy, CO2 emissions, AEP, LCOE.*

1. Introduction

The shortage of fresh water in Algeria is a major challenge. However, due to its geographical location with a northern coastline bordered by the Mediterranean Sea, the country has a unique opportunity: seawater desalination. Nevertheless, traditional desalination methods, which rely on fossil fuels, pose significant environmental and economic problems. They not only generate large amounts of greenhouse gases, but they are also costly. Several studies highlight the environmental challenges of desalination, including its reliance on fossil fuels, and advocate a shift to renewable energy sources to reduce greenhouse gas emissions and improve sustainability. Among these, León et al.[1] examined the ecological footprint of a desalination plant in Tenerife, revealing high energy consumption and significant CO2 emissions, with the plant producing 216.41 hm^3 of desalinated water per year while emitting 694,445 tons of CO2. The study recommends increasing the use of renewable energy to mitigate these impacts. Xevgenos et al.[2]with reverse osmosis providing more than 95%

of the total desalination capacity in the country. Nevertheless, the environmental impacts of desalination for the Cypriot environment remain poorly understood. Using a combination of mining existing governmental and corporate survey data and reports, this study explores the scale of desalination in Cyprus, the impacts on the coastal marine environment and its overall carbon footprint. Surveys of Posidonia oceanica seagrass meadows show strongly reduced density of shoots and leaf surface area, respectively. Analysis of the available data relating to the overall production of desalinated water and energy consumption reveals that 68.7 million m3 of desalinated water were produced in Cyprus in 2017, resulting in the release of 160 ktons of CO2 equivalent, representing around 2% of the total carbon emissions in Cyprus. The results are directly applicable for understanding the impacts of brine discharge on seagrass meadows, one of the most common types of Mediterranean seabed ecosystems and useful for providing guidance to decision makers as they are striving to achieve a zero-carbon economy. strategies for achieving greater sustainability in terms of reduced CO2 emissions and less brine discharge are discussed.","container-title":"Desalination and Water Treatment","DOI":"https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26916","ISSN":"1944-3986","page":"15-30","title":"Aspects of environmental impacts of seawater desalination: Cyprus as a case study","volume":"211","author":[{"family":"Xevgenos","given":"D."},{"family":"Marcou","given":"M."},{"family":"Louca","given":"V."},{"family":"Avramidi","given":"E."},{"family":"Ioannou","given":"G."},{"family":"Argyrou","given":"M."},{"family":"Stavrou","given":"P."},{"family":"Mortou","given":"M."},{"family":"Küpper","given":"F. C."}],"issued":{"date-parts":[["2021"]]}}],"schema":"https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json"} studied desalination in Cyprus, where the technique is crucial for the country's water supply, contributing to 2% of Cyprus's total carbon emissions. The energy-intensive process, mainly reliant on fossil fuels, exacerbates environmental issues, including damage to marine ecosystems. The study advocates for adopting renewable energy and circular economy principles to reduce these environmental impacts. Caldera et al.[3]necessary to meet increasing future global water demand, can be powered solely through renewable energy. Hybrid PV–wind–battery and power-to-gas (PtG explored the feasibility of powering desalination plants with renewable energy, specifically hybrid systems combining photovoltaic, wind, and battery storage. They found that such systems could meet global water demands by 2030 at costs comparable to those of fossil fuel-based plants. The study highlights the need for further research on water transport costs and future water stress conditions.

In Algeria, the Algerian company AEC is currently engaged in a significant undertaking: the construction of a coastal strip of 11 seawater desalination plants in collaboration with foreign partners [4]. This project is expected to have a capacity of 2.1 million m3 per day, which accounts for 17% of Algeria's drinking water. One of them is the BENISAF BWC company's seawater desalination facility, which is situated in BENISAF, western Algeria. The production of 1 m^3 of water requires approximately 4.15 kWh, with a daily capacity of 200,000 m^3. This article is a contribution to the assessment of the feasibility of incorporating wind energy to supplant fossil energy in the operation of the BWC plant. Specifically, this article concentrates on the assessment of its greenhouse gas emissions and energy consumption prior to and following its conversion to wind energy. This analysis is a continuation of a study conducted by Charif et al.[5], which explored the possibility of powering this plant with wind energy. Traditional desalination methods, which are dependent on fossil fuels, are associated with substantial environmental and economic expenses. The prospection of sites that are conducive to the implementation of wind farms in this region has demonstrated that the neighboring site of Sidi Farouk [5] is an ideal match for the plant's energy requirements and environmental conditions. This work suggests an economic analysis (LCOE) that utilizes wind energy to mitigate the carbon footprint of this desalination station.

Modeling

The quality of the data used for the numerical simulation, along with the equations employed to generate wind speed distribution and power density maps, have been enhanced. The criteria for selecting an appropriate site for the wind farm installation are also detailed in the article by Charif et al.[5].

1.1 Levelized Cost of Energy LCOE

The calculation of the economic profitability of a wind farm is key to estimating whether an investment is both feasible and relevant. Two commonly used methods to evaluate the cost of wind energy are the Present Value Cost (PVC) method and the Unit Energy Cost (CPU) method[6].

$$PVC = I + C_{OMR}\left(\frac{1+i}{r-i}\right)\left(1+\left(\frac{1+i}{1+r}\right)^{n}\right) - S.\left(\frac{1+i}{r+1}\right)^{n} \quad (1)$$

The price of the kilowatt-hour is given by the following equation:

$$CPU = \frac{PVC}{AEP \times n} \quad (2)$$

The interest rate is set at 8%, while the inflation rate is estimated at 9% [7]. Operating, repair, and maintenance costs (COMR) are projected to be 25% of the annual cost of the machine, calculated by dividing the machine's price by its expected lifespan. The salvage value (S) is assumed to be 10% of the total investment, which includes both machinery and civil work[7]. The initial investment (I) covers the cost of the turbine plus an additional 20% for civil work, cable connection fees, and other installation expenses.

In this table(table1), we observe that the cost per kW decreases with the increase in the size of the wind turbine. For the 200 kW turbine size mentioned above, the average cost of a wind turbine is approximately $1150/kW[6].

nominal power (KW)	Specific cost ($/KW)	Average specific cost ($/KW)
Less than 20	2200 to 3000	2600
Between 20 and 200	1250 to 2300	1775
More than 200	700 to 1600	1150

Tab. 1 – *Specific cost range of wind turbines per nominal power*

1.2 Carbon footprint of desalination plants

As indicated in Table 2 [8], the energy required for desalination currently comes primarily from fossil fuels. Consequently, greenhouse gas emissions from desalination plants have become a growing concern in recent years.

	MSF	MED	MVC	MED-TVC	RO	ED
Thermal energy (KJ/Kg)	250-300	150-220	_	220-240	_	_
Electricity (KWh/ m^3)	3.5-5	1.5-2.5	11-12	1.5-2	5-9	2.6-5.5
Total energy cosumption KWh/ m^3	15-25	8-201	11-12	21.5-22	5-9	2.6-5.5
GHG/KgCO2/m^3	24	19.2	11.5	21	8.6	5.3

Tab. 2 – *Energy demand and GHG emissions of different*

With current technologies, producing 1000 m^3 of freshwater in a reverse osmosis (RO) desalination plant will release 5.3 tons of CO2. These emissions are calculated using the following formula[8].

$$\text{GHG Emissions} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (3)$$

Emission Factor (Algeria): 0.528 g CO_2e /kWh [9].

2. Results

2.1 Wind farm installation

To meet the energy needs of the Benisaf WATER COMPANY 's desalination plant, 11 Vestas 6 MW wind turbines have been installed at the Sidi Farouk site, which is located 10.2 km from the desalination plant(Figure.1). Tables 3 and 4 represent the technical characteristics of the Sidi Farouk wind farm. The use of ten VESTAS 6 MW turbines, according to the BENISAF database, results in an annual energy production of 290.572 GWh with a wake loss of 4.13%. With eleven turbines and the ESSENIA database, the annual energy production is 280.785 GWh with a wake loss of 5.26%. This wind farm operates between 4,254.31 and 4,842.86 hours annually, with a capacity factor of ranging from 0.486 to 0.554, according to the Oran and BENISAF databases, respectively.

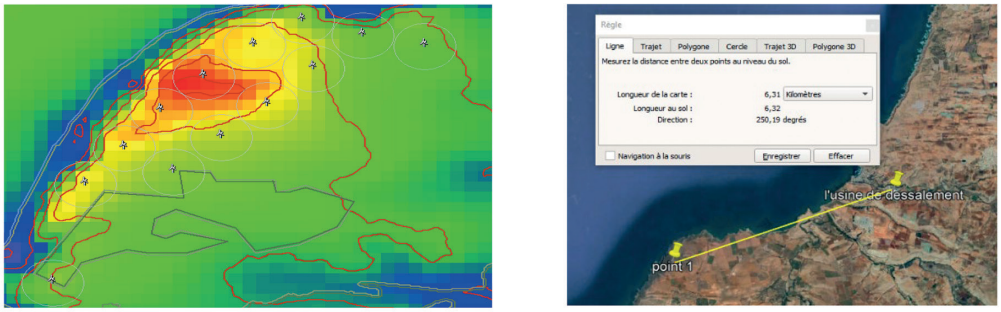


Fig. 1 – *Spatial Layout of Wind Turbines and the Distance Between the First Wind Farm (Sidi Farouk) and the Desalination Plant.*

Data base					
ORAN			BENISAF		
Number of wind turbines	Wake effect (%))	AEP(GWh)	Number of wind turbines	Wake effect (%))	AEP(GWh)
11	5.26	280.785	11	4.13	290.572

Tab. 3 – *Wind farm simulation using two data bases.*

Turbine	Data base			
	ORAN		BENISAF	
	NHF (h)	CF(%)	NHF (h)	CF(%)
VESTAS 6 MW	4254,318	48.69	4842,86	55.43

Tab. 4 – *Technical characteristics of the wind farm*

2.2 The Response to the Desalination Plant's Demand

The seawater desalination plant consumes 4.15 kWh per cubic meter, with a production capacity of 2,000,000 cubic meters per day. Thus, its annual consumption in 2023 does not exceed 280 GWh (see Table 5).

Year	Annual consumption (kWh)
2021	284 245 761
2022	281 322 314
2023	279 845 125

Tab. 5 – *Benisaf Water Company's electrical consumption*

The VESTAS 6 MW turbine meets or exceeds 100% of the energy consumption and water production needs through wind energy in all cases. This is due to the high installed capacity of 66 MW, which comfortably covers the needs of the Benisaf WATER COMPANY (BWC), which has a capacity of 34 MW.

2.3 Levelized Cost of Energy LCOE

The Oran database analysis, as detailed in Table 6, examines both minimal and maximal scenarios. The total project cost over 20 years ranges from approximately $46 million to $105 million in the least favorable case. The price per kilowatt-hour (kWh) ranges from $0.03404 to $0.07781, which is lower than EDF's estimates, indicating strong revenue potential. Profitability analysis shows that the initial investment costs will be recouped in a minimum of 4 to 4.17 years, an average of 7.54 to 7.91 years, and a maximum of 12.30 to 13.02 years.

AEP=280.785-290.758 (GWh)	**Min**	**Average**	**Max**
Average specific cost ($/kW)	700	1150	1600
PVC ($)	77 491 586,56	127 307 606,49	177 123 626,43

Segue

AEP=280.785-290.758 (GWh)	Min	Average	Max
LCOE ($)	0,03404	0,05592	0,07781
TRI (years)	4-4,17	7.54-7,91	12.30-13,02

Tab. 6 – *Techno-Economic Characteristics of the Sidi Farouk Wind Farm*

2.4 Carbon footprint of desalination plants

According to the Oran database, wind energy covers 280,785,000 kWh of the plant's annual consumption of 279,845,125 kWh, resulting in a natural gas electricity consumption of 00.00 kWh. This leads to a total reduction in CO2 emissions of 496,254 tons per year. In contrast, the BENISAF database indicates that wind energy covers 290,758,000 kWh of the same annual consumption, also resulting in a natural gas electricity consumption of 00.00 kWh. This results in a total reduction in CO2 emissions of 5,761.998 tons per year. All results are presented in Table 7.

Data base	Es Senia	BENISAF
Annual electrical consumption (kWh)	279845125	279845125
CO2 emissions per (tons/year)	147758,226	147758,226
CO2 emissions after the wind farm (tons/year)	-496,254	-5761,998

Tab. 7 – *Carbon footprint of the Sidi Farouk wind farm*

3. Conclusion

This study underscores the potential of integrating renewable energy, particularly wind power, into desalination processes to mitigate environmental and economic challenges. The case study of the BENISAF desalination plant in Algeria reveals that transitioning from fossil fuel-based energy to wind energy can significantly reduce greenhouse gas emissions and operational costs. By installing 11 Vestas 6 MW wind turbines at the Sidi Farouk site, the plant not only meets but exceeds its energy needs, achieving an annual energy production of up to 290.572 GWh. This shift results in a substantial reduction in CO2 emissions, ranging from 496,254 to 5,761.998 tons per year, depending on the database used for the analysis. Economically, the levelized cost of energy (LCOE) for wind power in this project is competitive, ranging from $0.03404 to $0.07781 per kWh. The profitability analysis indicates a favorable payback period, making wind energy a viable alternative for powering desalination plants in regions with adequate wind resources. Overall, this study highlights the feasibility and benefits of integrating wind energy into desalination plants, offering a sustainable solution to water scarcity while addressing the environmental concerns associated with fossil fuel consumption. Further research is recommended to explore the long-term impacts of renewable energy integration on water supply systems and to refine the economic models used in such analyses.

Bibliography

[1] **F. Leon, A. Ramos-Martin, et S. O. Perez-Baez.** «Study of the Ecological Footprint and Carbon Footprint in a Reverse Osmosis Sea Water Desalination Plant», *Membranes*, vol. 11, n° 6, 2021, doi: 10.3390/membranes11060377.

[2] **D. Xevgenos** et al., «Aspects of environmental impacts of seawater desalination: Cyprus as a case study», *Desalination and Water Treatment*, vol. 211, p. 15-30, 2021, doi: https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26916.

[3] **U. Caldera, D. Bogdanov, C. Breyer.** «Local cost of seawater RO desalination based on solar PV and

wind energy: A global estimate », *Desalination*, vol. 385, p. 207-216, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.004.
[4] **Amitouche M., Baloul H.** «Empreinte de Carbone des Stations de Dessalement en Algérie», Laboratoire des Technologies Alimentaires, Université de Boumerdes.
[5] **«N. Charif, H. Daaou Nedjari, M. Chaffi.** «Use of Wind Resources to Power a Desalination Plant», International Renewable Energy Days IREnDays, 28-30 May 2024, Algiers, Algeria. ISBN: 978-9931-9366-2-6.»
[6] **D. Dehmas et al.** «On the use of wind energy to power reverse osmosis desalination plant: A case study from Téns (Algeria)», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, p. 956-963, févr. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.11.004.
[7] **A. Derai, A. Kaabeche, S. Diaf**. «Etude de faisabilité technico-économique de fermes éoliennes en Algérie», Revue des Energies Renouvelables Vol. 20 N°4 (2017) 693 – 712. DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v20i4.661».
[8] **Y. Li, X. Chen, Y. Xu, Y. Zhuo, et G. Lu**. «Sustainable thermal-based desalination with low-cost energy resources and low-carbon footprints», *Desalination*, vol. 520, p. 115371, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115371.
[9] «International Financial Institutions (IFI dataset v3.2)».

L'utilizzo dei moduli di drenaggio geocellulari per ripristinare il ciclo idrologico locale nelle nuove urbanizzazioni: alcune esperienze significative

Marco Zausa, zausa@graf.info
Graf Italia Srl, Senigallia (AN)

Riassunto
L'utilizzo dei moduli di drenaggio geocellulari in materiale plastico si sta diffondendo in modo rilevante in Italia solo negli ultimi anni, da quando Enti Pubblici e progettisti hanno iniziato a considerare i sistemi di drenaggio sostenibile (SUDS) come una valida soluzione per la gestione delle acque meteoriche nelle nuove urbanizzazioni. Il presente contributo illustra due casi studio nei quali vengono evidenziati sia gli aspetti da considerare per progettare in modo ottimale una struttura composta da questi elementi modulari, sia alcuni punti di forza propri di questi sistemi che consentono di risolvere criticità sito-specifiche, apportando migliorie progettuali significative.

Summary
The use of the plastic modular geocellular drainage systems has been spreading in a major way in Italy only during the last years, since Public Authorities and designers started to consider Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) as a valid solution on stormwater management in the new urbanizations. This paper illustrates two case studies in which both the aspects to be considered in order to optimally design a structure composed of these modular elements are highlighted, as well as some of the strengths inherent in these systems that enable them to solve site-specific critical issues, making significant design improvements.

1. Introduzione

I sistemi di drenaggio geocellulari sono unità modulari in plastica con elevata porosità (generalmente attorno al 95%) che possono essere usati per creare in modo efficiente delle strutture nel sottosuolo per lo stoccaggio temporaneo dell'acqua superficiale prima del rilascio controllato o del riutilizzo. La struttura di stoccaggio viene formata assemblando il richiesto numero di unità base (a volte in diversi strati), rivestendole in una geomembrana o in un geotessile. I sistemi geocellulari sono in utilizzo in Europa dal 1987 (Le Nouveau et al, 2007) in sostituzione di bacini di infiltrazione con pietre, vasche in cemento o condotte sovradimensionate. Sono leggeri e facili da installare senza attrezzature pesanti, aspetto che comporta risparmio di tempo e di costi nella costruzione. [1]
Questi sistemi sono nati e sono stati sviluppati prevalentemente in Germania, Francia, Regno Unito e nei Paesi del Nord Europa; in Italia la loro diffusione sta aumentando solo negli ultimi

anni, grazie ai regolamenti di alcune Regioni, quali Lombardia, Veneto e Marche, che obbligano l'adozione di misure compensative nei nuovi interventi edilizi per perseguire l'invarianza idraulica e idrologica. La ricerca di soluzioni sostenibili, sia dal punto di vista ambientale, sia dal punto di vista tecnico-economico ha portato molti progettisti e pianificatori ad adottare questo tipo di sistemi per i vantaggi che offrono. La scelta della soluzione ottimale e la sua progettazione sono relativamente semplici, ma prevedono diversi aspetti che spesso vengono sottostimati, se non del tutto trascurati. Le prestazioni di questi sistemi modulari sono sicuramente interessanti, si pensi ad esempio alla possibilità del passaggio di mezzi pesanti fino a 60 t di peso sopra tali strutture, senza la necessità di realizzare opere di rinforzo in calcestruzzo armato, ma prescindono da una progettazione e da un'installazione eseguite a regola d'arte. L'obiettivo di questo contributo è quello di fornire, attraverso l'analisi di due casi studio significativi, una breve panoramica sull'approccio ideale per la definizione corretta di una struttura realizzata con moduli plastici.

2. Relazione

2.1 Primo caso studio: ampliamento di un fabbricato industriale

Il progetto in esame riguarda l'ampliamento di un fabbricato industriale in provincia di Ancona, per un'area complessiva di circa 67.000 m^2, di cui ben 40.000 m^2 sono costituiti da superfici impermeabili. Ai sensi della D.G.R. 53/14 della Regione Marche [2] è stata eseguita dal progettista incaricato la Valutazione di Compatibilità Idraulica che ha dato come risultato la necessità di realizzare un bacino di compensazione avente un volume pari a circa 2.300 m^3 di invaso netto.

2.1.1 Il tempo di residenza idraulica

L'intenzione del progettista è stata quella di realizzare un bacino di infiltrazione (in seguito separato in due tronconi per ragioni di spazio), che potesse invasare completamente il volume calcolato e svuotarsi prevalentemente attraverso la percolazione dell'acqua nel sottosuolo; tutto questo al fine di ridurre la portata da inviare al recettore idrico superficiale, costituito da un canale di scolo, vincolata ai limiti di scarico imposti dal Consorzio di Bonifica locale, e di ripristinare il ciclo idrologico naturale del sito. L'ostacolo principale, tuttavia, era rappresentato da una conducibilità idraulica dell'ordine di $2{,}5 \times 10^{-6}$ m/s, valore vicino al limite minimo per consentire il processo di infiltrazione [3]. Per valutare, quindi, i tempi di svuotamento mediante sola infiltrazione del sistema, si è calcolato il tempo di residenza idraulica, secondo lo standard tedesco DWA A-183 E con la seguente formula:

$$t = V / Q_u \qquad [a]$$

dove V rappresenta il volume di invaso massimo e Q_u è la portata in uscita. Nel caso specifico di un bacino disperdente la portata Q_u corrisponde alla portata di infiltrazione Q_{INF}. In accordo con le linee guida, essa si basa sulla legge di Darcy ed assume la forma seguente:

$$Q_{INF} = k \cdot S_{INF} \cdot i \qquad [b]$$

dove:
k è la conducibilità idraulica in m/s;
i rappresenta il gradiente idraulico [m/m], che si ottiene dalla relazione:

$$i = (h_0 + z) / (h_0 + z/2)$$

in cui h_0 è la distanza del fondo del sistema dal livello massimo dell'acquifero libero e z è l'altezza del bacino disperdente (Fig. 1).
Per sistemi in cui l'altezza z è trascurabile rispetto alla distanza h_0 il valore i sarà tendente all'unità; perciò, si può a livello semplificativo porre i=1. Nel caso specifico è stata adottata tale semplificazione, in quanto l'altezza di invaso massima è pari a 1,36 m e la distanza dal livello massimo dell'acquifero libero è dell'ordine dei 10 m.

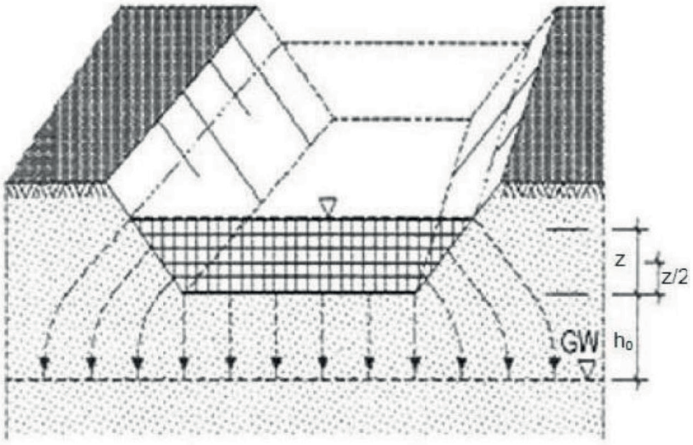


Fig. 1 – *Schema per la definizione del gradiente idraulico secondo DWA A-138.*

S_{INF} è, invece, la superficie disperdente in m^2, che dipende strettamente dalla geometria del sistema di dispersione prescelto. Secondo lo standard DWA A-138 la superficie di infiltrazione di una trincea disperdente si calcola nel modo seguente:

$$S_{INF} = b_{IT,P} \cdot l_{IT}$$

Dove l_{IT} è la lunghezza e $b_{IT,P}$ è la larghezza efficace; quest'ultimo parametro è dato dalla somma della larghezza del fondo b_{IT} e dalla proiezione delle sponde laterali, pari a $h_{IT}/4$. Tale valore viene assunto sulla base dell'ipotesi per cui l'invaso massimo della trincea viene raggiunto in un lasso di tempo breve, per cui l'altezza media del tirante idrico sarà pari a $h_{IT}/2$. Pertanto, si ha (Fig. 2):

$$b_{IT,P} = b_{IT} + \frac{2 \cdot h_{IT}}{4} = b_{IT} + \frac{h_{IT}}{2}$$

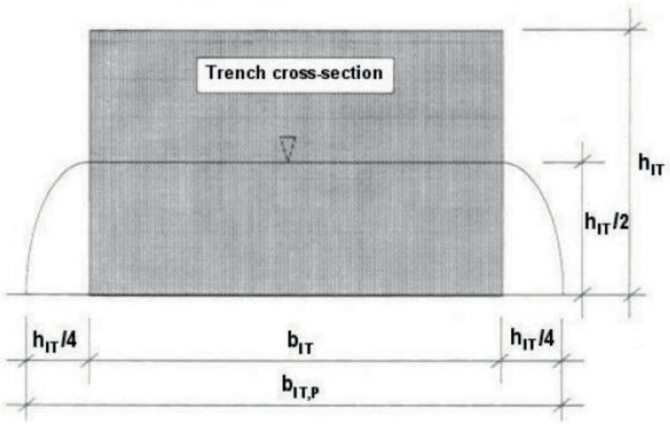


Fig. 2 – *Schema per il calcolo della superficie disperdente secondo DWA A-138.*

La relazione iniziale [a] si può quindi convertire introducendo la [b] nell'espressione seguente:

$$t = V / k \cdot S_{INF} \cdot i$$

La DWA A-138, così come le principali normative regionali sull'invarianza idraulica, indicano come riferimento per il tempo di residenza un valore pari a 48 h, ritenuto come intervallo medio tra due eventi meteorologici di forte intensità. Nel caso in esame il calcolo ha fornito un valore pari a 5,7 giorni, ben oltre il limite raccomandato.
Si è proceduto, pertanto, ri-sagomando i due bacini in modo da massimizzare la superficie disperdente, in accordo con gli spazi a disposizione per il loro alloggiamento. È stata ridotta l'altezza di un livello di moduli (da 1,36 a 1,03 m) ed è stato aumentando l'ingombro in planimetria; si è passati così da una superficie disperdente prossima ai 1.900 m^2 (con altezza del sistema di 1,36 m) a circa 2.460 m^2 (con altezza 1,03 m). Eseguendo nuovamente il calcolo si è ottenuto un valore di 4,3 giorni, che rimaneva comunque elevato. Per avvicinarsi al valore indice di 48 ore si è stimata la portata massima da scaricare nel corpo idrico recettore, non potendo aumentare ulteriormente la superficie disperdente. La relazione [a] è stata, quindi, riformulata come segue:

$$t = V / Q_{INF} + Q_S$$

dove Q_S è la portata scaricata verso il recettore. Imponendo quindi il tempo di residenza idraulica pari a 48 h, mediante formula inversa si è ottenuta una portata allo scarico pari a circa 0,6 l/s/ha, valore entro il limite massimo fissato dal Consorzio di bonifica. Il sistema disegnato funzionerà, quindi, in modo misto, consentendo l'infiltrazione di parte della portata e la laminazione dell'aliquota rimanente.

2.1.2 La scelta del modulo in funzione delle condizioni di installazione
La definizione del tipo di elemento modulare da impiegare per la costruzione dei due bacini è stata condotta a partire dalle condizioni di installazione. Lo spazio utile per alloggiare il sistema disperdente è stato individuato in un'area adibita a parcheggio, con possibilità di transito anche di veicoli pesanti. Oltre ai carichi accidentali potenzialmente gravosi, risultava ingente anche il ricoprimento sopra una parte della struttura, stimato in un massimo di 2,5 m, dovuto alla quota dei tubi in ingresso. È stato, pertanto, individuato un blocco rinforzato, denominato Ecobloc

Inspect Smart Plus (prodotto dall'azienda Otto Graf GmbH), in grado di resistere al passaggio di mezzi con peso fino a 60 t in presenza di un ricoprimento massimo pari a 2,5 m, al seguito di una verifica strutturale. L'analisi in questione ha riguardato la verifica allo stato limite ultimo (SLU) sia per i carichi orizzontali che per quelli verticali, confrontando i valori di progetto con la resistenza caratteristiche dell'elemento, definita a partire da test a breve e lungo termine (creep rupture). Le prestazioni del sistema sono garantite per una vita utile minima di 50 anni.

2.1.3 Gli sfiati

Si tratta di un particolare importante che spesso viene trascurato nella progettazione di questi sistemi. Gli sfiati hanno la funzione di espellere eventuali sacche di aria presenti all'interno della struttura modulare che possono ostacolare il deflusso dell'acqua in ingresso e lo sfruttamento dell'intero volume di invaso. Il numero dei camini di ventilazione dipende strettamente dal numero, dal diametro e dal grado di riempimento ipotizzati delle tubazioni dell'acqua in ingresso. Di seguito si riporta, a titolo di esempio, il calcolo degli sfiati per il Bacino 1, alimentato da 3 tubazioni DN500.

La sezione di un tubo DN500 è pari a 0,173 m^2 (considerando un diametro interno di 470 mm). Ipotizzando un grado di riempimento del 70%, significa che:

– 0,121 m^2 sono occupati dall'acqua;

– 0,052 m^2 sono occupati dall'aria.

Si sono considerati come tubi di sfiato dei DN200, aventi una sezione pari a 0,028 m^2 (diametro interno di 190 mm). Per determinare il numero dei camini si deve stimare la sezione di aria complessiva per ciascun bacino e dividerla per la sezione del tubo DN200.

N° linee DN500 in ingresso = 3

Sezione di aria complessiva = 0,156 m^2 (=3x0,052 m^2)

N° sfiati = 6 (arrotondamento per eccesso)

2.1.4 La qualità dell'acqua in ingresso

Aspetto particolarmente delicato di questi sistemi è la pulizia periodica. Molti blocchi sono dotati di un canale interno percorribile con microcamere per la videoispezione o sonde per la pulizia mediante acqua pressurizzata, ma la possibilità di rimuovere completamente eventuali detriti accumulati, soprattutto in strutture di grandi dimensioni, è limitata. Pertanto, è buona prassi prevenire quanto più possibile l'intrusione dei solidi sospesi, lavorando a monte sulla qualità dell'acqua in ingresso.

Nel caso specifico, per le acque provenienti dai piazzali era già stato previsto un trattamento di prima pioggia in accumulo, che garantiva una pulizia soddisfacente del flusso d'acqua in ingresso. Non era, tuttavia, stato previsto un sistema che prevenisse l'intrusione di solidi sospesi provenienti dal dilavamento delle coperture. Non essendoci delle prescrizioni normative in tal senso, si è eseguita una stima dell'ammontare dei solidi da intercettare, usando il tipico approccio per il calcolo dei volumi di prima pioggia anche per le coperture del fabbricato. In tal modo si è fornita una stima di massima dei solidi da intercettare per il successivo dimensionamento di una vasca di decantazione posta a monte del sistema disperdente.

Considerando i canonici 5 mm/m^2 in 15 minuti di precipitazione, che divengono quindi 20 mm/m^2 in 1 ora, si ottiene un'intensità di precipitazione pari a: i=0,0056 l/s/m^2.

La superficie del fabbricato indicata nella relazione di invarianza è stimata in 29.037 m^2; applicando un coefficiente di deflusso pari a 0,9 si ottiene una superficie effettivamente scolante pari a 26.133,3 m^2 (ripercorrendo quanto effettuato nel calcolo dell'invarianza). È stata ottenuta pertanto una portata da gestire pari a 146,35 l/s.

Per la stima del volume di sedimentazione la portata andrà moltiplicata per il carico di fango. Le linee guida di ARPA Emilia-Romagna [4] indicano un valore di 100 per questo coefficiente, relativo ad aree a ridotto dilavamento così definite: "*Tutte le aree di raccolta dell'acqua*

piovana in cui sono presenti piccole quantità di limo prodotto dal traffico o similari, vale a dire bacini di raccolta in aree di stoccaggio carburante e stazioni di rifornimento coperte".
Considerando che si sono prese in esame le coperture di un fabbricato, in cui il carico si ipotizza inferiore rispetto ad un piazzale soggetto a traffico, si è ragionevolmente applicato un valore pari a 50 per il parametro in questione, ritenendo i materiali dilavabili composti prevalentemente da polveri e sabbie trasportate dal vento o dalla pioggia.
Pertanto, il volume di sedimentazione da garantire per l'intera superficie delle coperture è risultato pari a:

$$V_{SED} = 146{,}35 \times 50 = 7.317 \text{ l} = \mathbf{7{,}32\ m^3}.$$

Tale volume minimo è stato poi suddiviso in due vasche di decantazione, una a servizio di ciascun bacino.

2.2 Secondo caso studio: nuova struttura turistica
La problematica in questo caso ha riguardato la gestione delle acque meteoriche provenienti dalle coperture e dalla viabilità interna, per una superficie di circa 11.000 m², di un nuovo albergo a 5 stelle, situato nel comune di Gargnano (BS) sul lago di Garda. Ai sensi del regolamento N°7 del 2017 della Regione Lombardia [5], considerando le superfici in gioco con i relativi coefficienti di deflusso e l'ubicazione del sito in una zona a bassa criticità idraulica (area di tipo C), doveva essere garantito un volume di invaso minimo pari a 345 m³. L'ipotesi progettuale prevista era costituita da un laghetto di laminazione artificiale, essendo l'infiltrazione non praticabile sia per la bassa conducibilità idraulica del terreno, sia per motivi di stabilità del pendio, essendo il sito posto in area collinare. Tale lago, di misure in pianta approssimative pari a 27x27,5 m, doveva mantenere un battente minimo costante di 80 cm ed una profondità massima pari a 2,1 m in corrispondenza della porzione centrale approssimabile a un rettangolo di 15x15,55 m (Fig.3).

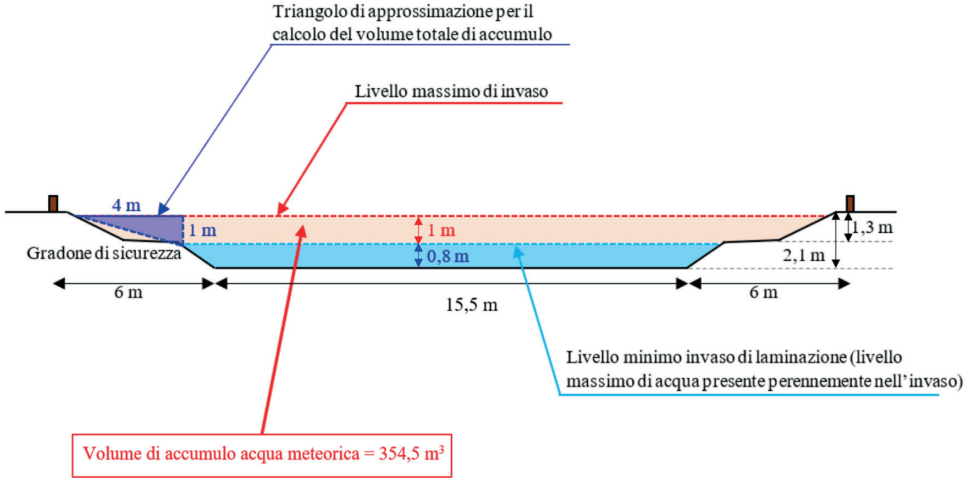


Fig. 3 – *Sezione del laghetto in progetto (da relazione di compatibilità idraulica).*

Pur trattandosi di una soluzione esteticamente gradevole e ben inseribile nel contesto dei giardini attorno all'hotel, la Committenza ha richiesto lo studio di una soluzione alternativa per le motivazioni seguenti:

– carenza di spazio disponibile che imponeva una ri-sagomatura del pendio piuttosto onerosa a livello di sbancamenti e opere in terra rinforzata;
– perdita della fruibilità di un'area di dimensioni importanti;
– sicurezza per gli ospiti dovuta alla profondità, che imponeva la perimetrazione del laghetto con una recinzione;
– necessità di avere una riserva di acqua piuttosto importante l'irrigazione degli ampi spazi a verde.
Il primo passo per risolvere le problematiche sopra evidenziate è stato quello di ridurre il volume di invaso calcolato, mediante la ridefinizione delle superfici (aumento di aree permeabili, quali giardini e tetti verdi) e la creazione di riserve di acqua piovana per l'irrigazione del verde e l'utilizzo antincendio, mediante l'impiego di serbatoi in materiale plastico, per un volume complessivo di circa 60 m^3. In tal modo si è ridotto l'invaso complessivo associato al bacino di laminazione a circa 245 m^3. Il secondo è stato quello di scegliere un sistema modulare in plastica, denominato Ecobloc Light (prodotto dall'azienda Otto Graf GmbH), avente elevato indice dei vuoti (97%), al fine di invasare il volume previsto al di sotto del piano campagna e avere, quindi, la possibilità di utilizzare l'area sovrastante (che verrà adibita ad area relax per gli ospiti). Il sistema è stato dimensionato per essere il più compatto possibile, in modo da ridurre i movimenti e le opere in terra implicate nel progetto iniziale; le dimensioni pari a 15,2x15,2 m hanno ricalcato quelle che erano state previste per la zona più profonda del laghetto, mentre l'altezza è stata limitata a 1,11 m per evitare scavi eccessivamente profondi (Fig. 4). Con un ricoprimento pari a 80 cm la struttura, che sarà prevalentemente soggetta a carico pedonale, potrà sopportare il passaggio di un mezzo con peso massimo pari a 12 t.
La struttura in plastica è stata rivestita con un telo impermeabile in polietilene, opportunamente protetto dal contatto col terreno circostante mediante un geotessile non tessuto, al fine di trattenere all'interno l'acqua raccolta, creando una riserva idrica di ben 248 m^3 destinati prevalentemente all'irrigazione delle superfici a verde previste in progetto.
Il sistema modulare è stato, inoltre, equipaggiato con un pozzetto integrato in materiale plastico, avente la funzione di alloggiare l'innesto della tubazione DN315 in ingresso, del troppo pieno DN200 e del tubo da 1" che alimenta la pompa dell'impianto di irrigazione, nonché quella di bloccare eventuali solidi sospesi in ingresso mediante un filtro a cestello in acciaio a maglia fine, facilmente estraibile per la pulizia periodica.

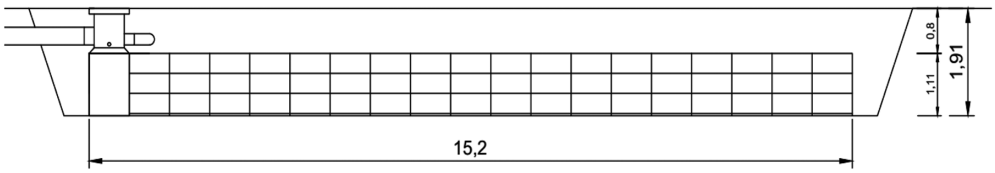


Fig. 4 – *Sezione della struttura modulare, con evidenziato il pozzetto di ingresso/uscita delle tubazioni (a sinistra).*

3. Conclusioni

I due casi studio presentati in questo breve contributo hanno messo in evidenza innanzitutto come la progettazione dei sistemi modulari geocellulari, pur relativamente semplice, debba tenere conto di diversi aspetti rilevanti, quali ad esempio la valutazione dei carichi applicati, per garantire il funzionamento ottimale a lungo termine della struttura. Si è inoltre evidenziato come queste soluzioni, opportunamente studiate, possano costituire una valida alternativa per risolvere criticità progettuali sito-specifiche.

Bibliografia

[1] **CIRIA** Report C753: The SUDS Manual
[2] **Regione Marche** D.G.R. N°53 del 27/01/2014
[3] **DWA** Standard DWA A-138 E – Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water
[4] **ARPA Emilia-Romagna** Criteri di applicazione DGR 286/05 e 1860/06 – Acque meteoriche e di dilavamento
[5] **Regione Lombardia** R.R. N°7 del 23/11/2017

DIGITALIZZAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA DELLE RETI IDRICHE: DAGLI INTERVENTI DEL PNRR ALLE AZIONI DI RICERCA E INNOVAZIONE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo & Università Politecnica delle Marche, Università di Bolog na, UT ILIT ALIA**

Le tecnologie digitali hanno un impatto su quasi tutti i settori dell'industria idrica. Le aziende idriche di tutte le dimensioni, pubbliche e private, stanno modificando il modo in cui operano e gestiscono le risorse. Le utility stanno abbracciando la digitalizzazione per affrontare problemi chevanno dall'invecchiamento delle infrastrutture idriche all'ottimizzazione dell'allocazione delle risorse. I finanziamenti nazionali per la ripresa stanno svolgendo un ruolo cruciale nell'incentivare la digitalizzazione dell'infrastruttura idrica, mentre diversi progetti di innovazione stanno impiantando l'allineamento del settore idrico alla transizione digitale. Il workshop presenterà un quadro dei progressi dei progetti finanziati dal PNRR e dei progetti di innovazione più promettenti selezionati dalla Call for Papers.

Presidente di sessione:
Attilio Toscano, Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo e Università di Bologna Rappresentante di UTILITALIA

Knowledge transfer and co-design for advanced digital skills in water management. The project Horizon WATERLINE

Giuseppe Mangano giuseppe.mangano@unirc.it, Department of Architecture and Territory, Mediterranean University of Reggio Calabria
Giacomo Falcone giacomo.falcone@unirc.it, Department of Agraria, Mediterranean University of Reggio Calabria
Marina Mistretta marina.mistretta@unirc.it, Department of Information Engineering, Infrastructure and Sustainable Energy (DIIES), Mediterranean University of Reggio Calabria

Summary
In the era of climate change, water affordability poses a growing threat to sustainable development and environmental safety, impacting both ecosystems and urban areas. While melting ice raises sea levels, cities face drinking water scarcity, fragile infrastructure, and a lack of awareness among policymakers. To tackle these challenges in Europe, the Horizon research project WATERLINE was initiated, aiming to transform water education through Extended Reality (XR) emulative centers. The project is structured into six work packages, supporting the creation of a Digital Water HEI alliance, developing curriculum components, and fostering a European network of academics. The UniRC research group has made contributions using a quadruple helix methodology for knowledge transfer and competence building. They have participated in workshops, tested digital tools, and organized a co-design workshop on sustainable water management. Their expertise in life-cycle sustainability assessment will contribute to building local networks, raising awareness, and integrating these issues into education.

Riassunto
In epoca di cambiamento climatico, la disponibilità di acqua è una minaccia crescente per lo sviluppo sostenibile e la sicurezza ambientale, con impatti su ecosistemi e aree urbane. Mentre lo scioglimento dei ghiacciai causa l'innalzamento del livello del mare, le città affrontano i problemi legati alla scarsità di acqua potabile, infrastrutture fragili e scarsa consapevolezza politica. In questo contesto, opera il progetto Horizon WATERLINE, che punta a trasformare la formazione sul tema della gestione della risorsa idrica mediante centri emulativi di extended reality (XR). Strutturato in sei pacchetti di lavoro, il progetto mira alla creazione di un'alleanza HEI per l'acqua digitale, sviluppo di curriculum e una rete di ricercatori europei. Il gruppo di ricerca UniRC ha contribuito con una metodologia a quadrupla elica per il trasferimento di conoscenze, partecipando a workshop, testando strumenti digitali e organizzando incontri sulla gestione sostenibile dell'acqua. L'esperienza nel campo della valutazione della sostenibilità faciliterà la creazione di reti locali e l'integrazione di queste tematiche nei percorsi di formazione.

1. Introduction

In this era of accelerating climate change, water affordability has emerged as a significant threat to sustainable development and environmental safety, affecting both ecosystems and urban areas. While the melting of ice sheets and glaciers may contribute to rising sea levels, the paradox of water scarcity continues to escalate, exacerbating socioeconomic inequalities and environmental degradation. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), human-induced warming is intensifying the hydrological cycle, leading to a growing number of extreme weather events such as droughts and floods, which in turn strain already fragile water resources and infrastructures [1]. Urban areas are particularly vulnerable to water scarcity due to the convergence of several factors. According to the Copernicus Climate Change Service (C3S), many cities are already experiencing increased water stress as demand outpaces supply. Projections suggest that by 2050, more than 5 billion people will suffer from water shortages due to climate impacts, with the poorest populations being the hardest hit [2]. Furthermore, sea-level rise associated with melting ice caps threatens coastal freshwater sources by causing saltwater intrusion into aquifers, contaminating drinking water supplies for millions of people [3]. The World Health Organization (WHO) estimates that globally, approximately 30% of treated water is lost due to inefficient infrastructure. This has profound implications for human communities that depend on these ecosystems for water and food security. Beyond the physical infrastructure, governance and planning deficiencies play a significant role. To address these growing challenges, a multifaceted approach includes improving water management practices, and enhancing stakeholder engagement and awareness. Additionally, international cooperation and data sharing through initiatives such as the IPCC and Copernicus provide valuable tools for understanding and mitigating the impacts of climate change on water resources. This contribution shows how the UniRC research group, adopting the innovative quadruple helix methodology for knowledge transfer and competence building in a co-design environment, has already produced results in the project, by participating in workshops, testing of digital tools and organising a F2F co-design workshop with local stakeholders on the topic of sustainable water management. In particular, due to their expertise in the field of life-cycle sustainability assessment, the UniRC research group carries out the foreseen activities, focusing on methods and metrics for the assessment of sustainable development. The results will lead to the definition of a local network to open up future collaborations and awareness-raising paths for decision-makers and the inclusion of these issues in higher education and academic courses at regional and local level.

2. Background: Horizon Waterline Project

WATERLINE Project aims to create a European Digital Water Higher Education Institution (HEI) Alliance, based on the quadruple helix model of innovation, leading to the development of the Alliance's research, educational and entrepreneurship capacities. This shall leverage the individual, institutional and regional resources required for a transformative structural and sustainable learning and innovation environment. To achieve this, WATERLINE has five specific objectives: (1) support consolidation of the Alliance by co-creating a common governance framework, and a Research & Innovation (R&I) capacity building plan; (2) co-create a portfolio of water components for Master level and transform emulative laboratories in partner Widening HEIs into assisted and virtual reality. These structural changes will lead to transformed and more competitive R&I HEIs; (3) strengthen WATERLINE researchers' R&I capacity excellence by implementing activities, such as summer schools to enhance education and R&I skills, and proposal writing workshop; (4) build a European network of academics/researchers who, together with quadruple helix actors, will allow knowledge flow in water domains and extended reality technologies. This allows greater involvement of regional actors in the R&I process and enhances one of the major societal challenges: water-related education.

2.1 Waterline methodology

WATERLINE will achieve excellence in digital water knowledge and R&I in an inter-university campus collaboration on water and related technical and transversal themes. WATERLINÈs methodology will follow a set of fundamental operating principles complying with the "Do No significant Harm (DNSH)" principle. WATERLINE will create critical mass that will directly address one of the six environmental objectives of the *Taxonomy Regulation*: "*The sustainable use and protection of water and marine resources*". The knowledge sharing platform and extended-reality LEs described below will also contribute towards a green and digital economy, thus, indirectly contributing to the environmental objectives of the Taxonomy Regulation. To minimise the risk that WATERLINÈs output fizzles out after the project's lifetime, the methodology that we will be using extends beyond implementing through the sharing of capacity, infrastructure and resources. WATERLINE methodology consists of four phases that involve: (i) **mapping**; (ii) **engaging and co-designing**; (iii) **implementing**, and (iv) **positioning and building excellence** (Figure 1). Each phase is represented by a distinct set of tasks, which will allow continuous monitoring of its progress and safeguard its successful completion [4].

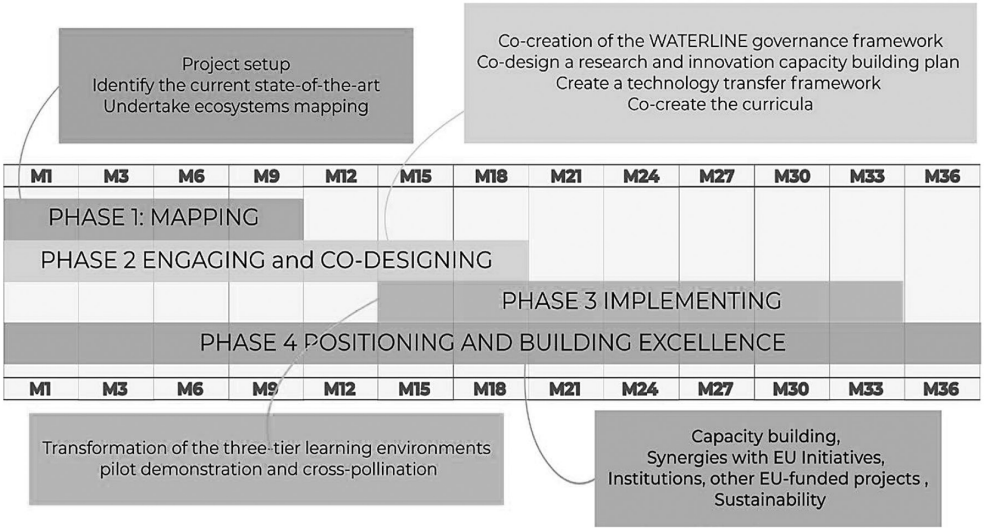


Fig. 1 – *The WATERLINE overall implementation methodology*

2.2 Phase 1: mapping

The mapping phase is essential for establishing the pillars of WATERLINE and informs its subsequent phases. Partner HEIs have varying curricula and expertise, so during this phase, partners will:

– identify the state-of-the-art for the proposed Learning Environments (LEs) and pinpoint barriers and opportunities at national and EU levels that hinder or support cooperation and modernization of HEIs.

– conduct ecosystem mapping using the innovation ecosystems approach based on the quadruple helix model, involving science, policy, industry, and society. Stakeholders include HEIs, government, industry, and NGOs, to foster growth-oriented perspectives.

The methodology will follow smart specialisation strategies (S4) to enhance regional competitiveness. The ecosystem mapping will contribute to developing policy guidelines for similar

future programs and shaping water professional training curriculum recommendations. Data from a survey will evaluate the potential of an inter-university digital water campus, which aims to provide a multi-layered training framework to improve skills and meet Industry 4.0 standards.

2.3 Phase 2: engaging and co-designing

The second phase of the digital water HEI alliance aims at building on the priorities of Phase 1 by co-designing several frameworks and plans (Fig. 2). These include a Governance Framework, a roadmap will be co-created for a shared governance structure based on European values of inclusion, diversity, and sustainability, in a multi-stakeholder vision, able to involve policy-makers, community and market sphere as well. It will harmonize regulations among collaborating HEIs, ensuring consistent programme structure, content, assessment, and accreditation. This will promote inclusivity, address the gender divide, and provide equal access to digital water skills through extended reality.

– R&I Capacity Building Plan: a plan will be designed to enhance joint research and collaboration among HEIs and stakeholders, promoting open access to research, data, and innovations;

– Technology Transfer Framework: this will support innovation by facilitating knowledge and technology exchange between WATERLINE partners and others. A platform for knowledge and tool sharing will be developed using advanced methodologies, the cross-sectional "Community of Practice" to promote further collaboration and knowledge flow among HEIs and other sectors.

– additionally, the phase will focus on developing a Master's programme curriculum related to important water themes, including technical, operational, and research topics. The programme will blend physical and distance learning, ensuring sustainable skill development even in challenging conditions. Regular workshops and meetings will facilitate collaboration among stakeholders: face-to-face and online workshops with all relevant stakeholders from the quadruple helix from each participating HEI and a series of meetings between partners which will be organised regularly.

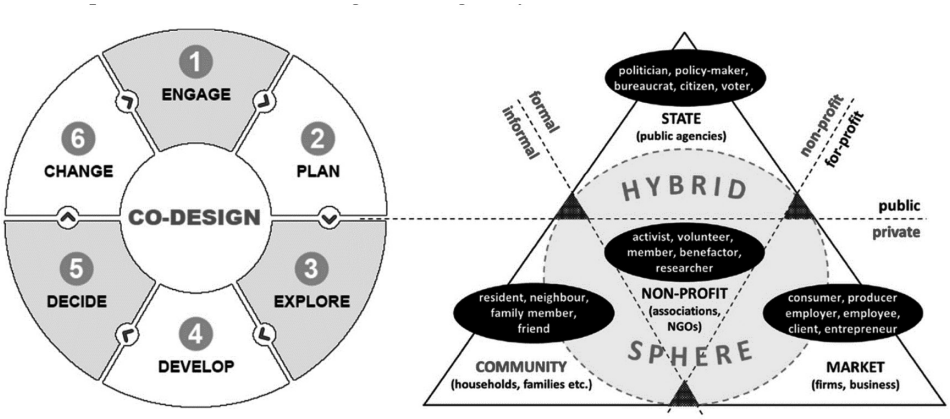


Fig. 2 – *The co-design methodology and multi-stakeholder ecosystem. Source: elaboration by G.Mangano (2022)*

2.4 Phase 3: implementing

In Phase 3, actions co-designed in Phase 2 will be implemented through Extended-Reality Learning Environments (LEs). Existing emulation labs will be expanded into:

– Emulated LE (ELE) – Simulated real-world water environments for practical, guided training;

– Assisted Reality LE (ARLE) – Adds technology like smart glasses to enhance real-world training with additional guidance;

– Virtual LE (ViLE) – Allows remote learning of water topics in a virtual environment, improving accessibility and reducing inequalities.

The Pilot Implementation will involve 150 students and water scientists to test and evaluate the programme and will establish a shared Governance Framework to guide future cooperation.

3. Results: UniRC Community of Practice

The activities of the UniRC research unit enabled the application of the quadruple helix co-design methodology of the Waterline project for the establishment of the first Community of Practice in Reggio Calabria on the topic of sustainable and digitised water management. Communities of Practice encourage collaboration, knowledge sharing and professional development. They promote a culture of continuous learning and improvement. Participation in research activities applies to the definition of two types of Communities of Practice:

– a pan-European one, with collaboration in consortium meetings, workshops and activities with project HEIs;

– a regional one, with the organisation of Face to Face Workshops of the 'quadruple helix' type, in order to involve local administrations, enterprises, universities and civil society organisations.

The effectiveness of building a Community of Practice in Reggio Calabria was based on four steps: i) a Shared Vision; ii) knowledge transfer within the community; iii) engagement and trust; and iv) inclusive communication.

3.1 Co-designing Community of Practice: the Face to Face Workshop in Reggio Calabria

The first F2F Waterline Workshop organized by the research unit of the University "Mediterranea" of Reggio Calabria took place on 21 march 2024 (Figure 3, 4). The impact of involved community is represented in the table below (Table 1).

Participant information	Outcome
Number of organisations invited	18
Number of participants invited	31
Number of participants attending the event	18
Type of participants	Beneficiaries, HEIs, Community, Government, Industry, Students

Tab. 1 – *Impact of Waterline CoP in Reggio Calabria. Source: G.Falcone*



Figg. 3,4 – *Moments of F2F Workshop for UniRC Community of Practice*

The main discussed topics have been:
– the role of the UNIRC team within the Waterline project and highlighting digital water – the importance of communities of practice, their purpose and presenting some case studies, established on the topics of co-design and co-programming with multiple stakeholders;
– the relevant findings from the analysis of the Italian context about the water management (survey);
– Workshop "Challenges in digital water" and planning for the future master programme in Mediterranean University.

3.2 Challenges and shared visions
The discussion and work of the workshop highlighted challenges and attempted to share visions on the topic of knowledge transfer and increasing skills in the area of sustainable water management, with particular reference to the work of public administrations. In particular, there were three challenges to which a shared vision was sought:
– 'Digital skills for agile and smart water management': innovate the system of providing knowledge and skills on the topic of sustainable water management in urban and ecosystem settings for officials of agencies, administrators and community members employed in this field;
– 'Digital Water Skills for Students': introduce the topic of digital water and digital technologies for water management also in university-level curricula and raise awareness of the topic among the student community;
– 'New Green Deal and Living Lab for Digital Skills': to provide the tools to the administrations of small municipalities that are struggling from the point of view of tools, knowledge and skills regarding the state of climate emergency on water resource.
The corresponding items discussed for each vision are represented in the table 2 below.

Vision 1	**Digital skills for agile and smart water management**
item 1	Push local governments to invest in qualified and advanced training of technical personnel
item 2	Transfer and communicate the benefits (environmental, economic, and social) of being able to manage networks intelligently through digital tools

Segue

Vision 1	Digital skills for agile and smart water management
item 3	Initiate an interlocution for knowledge transfer and skills transfer so that what is produced inside the university can have application and transfer to the territory
Vision 2	**Digital Water Skills for Students**
item 1	Organize courses, seminars, workshops for university students on the topics of digitization of water management.
item 2	Raising students' awareness of water scarcity and climate change
Vision 3	**New Green Deal and Living Lab for Digital Skills**
item 1	Take advantage of European programming funds and investments to train local government technical staff
item 2	Network and value existing digital tools by making them responsive to new environmental needs

Tab. 2 – *Items for shared visions. Source: G.Mangano, G.Falcone*

4. Discussion and conclusion

Important issues have emerged, especially from participants from public administrations, related to the low degree of freedom that public officials have. Even at the training level, the possibility of accessing a specific training path is linked to a fairly long and complex authorization process. On the contrary, public administrations often have difficulty recruiting highly trained personnel due to the inability to compete at a salary level with the world of industry. The professional associations (Engineers, architects and agronomists) showed a great interest in the topics covered. In Italy, professionals are subject to the obligation of continuous professional training and the possibility of facing a highly innovative and specialized training path was defined as highly stimulating. The students showed a very high interest in the topics covered and asked for the availability to organize an informative event for all the students of the university. The experience illustrated above demonstrates that the topic of advanced water management and digital skills can find effectiveness in the construction of a Community of Practice, capable of focusing on the skills necessary to guarantee the co-creation and sustainability of the governance framework beyond the Waterline project itself and that it is necessary to investigate all possible tools to facilitate cooperation between bodies, public administrations, trade associations and the world of research

References

[1] **IPCC (2021)**, *The IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*
[2] **World Water Assessment Programme (2019),** *Water Development Report 2019*
[3] **IPCC (2019),** *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*
[4] **Waterline Consortium,** *Project proposal document*

Acknowledgments

Waterline Project is funded by the European Union's Horizon Europe HORIZON-WIDERA-2021-ACCESS-05 under grant agreement No 101071306 (see https://waterline-project.eu/). The UniRC research unit is composed by: prof. Marina Mistretta (unit leader), Dr. Giacomo Falcone (deputy leader and Communication coordinator), Arch. Giuseppe Mangano (communication and co-design activities assistant). Text attributions: paragraphs 1, 2 and 3.2 by G.Mangano; paragraph 3, 3.1 and 4 co-authored by G.Falcone and G.Mangano.

Digitalizzazione delle infrastrutture irrigue nell'ambito dell'I.4.3 M2C4 del PNRR: il supporto della banca dati DANIA

Marianna Ferrigno marianna.ferrigno@crea.gov.it, Veronica Manganiello, Raffaella Pergamo, Alessandra Pesce, Massimo Tropeano, Luca Adolfo Folino, Marica Furini
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) – Centro di Ricerca Politiche e Bioeconomia – Roma

Riassunto
L'investimento 4.3 – M2C4 del PNRR in capo al MASAF ha finanziato interventi per l'efficientamento delle reti irrigue collettive e sui relativi sistemi di digitalizzazione e monitoraggio, favorendo l'installazione di tecnologie di misurazione e telecontrollo per il 17% della dotazione della misura; in generale tale tipologia di interventi consente una ottimizzazione della gestione della risorsa idrica, generando mediamente un risparmio idrico del 20% (elaborazione su dati DANIA).
La digitalizzazione delle reti è stata accompagnata anche dalla digitalizzazione dei processi di selezione degli interventi. L'utilizzo della banca dati DANIA (Database nazionale degli investimenti per l'irrigazione e l'ambiente) per la candidatura e selezione degli interventi ha consentito di automatizzare l'applicazione dell'approccio multicriteria già attuato dal MASAF in precedenti finanziamenti solo tramite giudizio esperto. La valutazione dei progetti è stata, infatti, effettuata in accordo a criteri di ammissibilità e selezione definiti e poi automaticamente applicati ai progetti candidati, sulla base delle informazioni inserite in DANIA. Questa procedura si è dimostrata efficace in termini di riduzione dei tempi di selezione (70% in meno che nelle precedenti procedure) ed affidabile rispetto ai dati inseriti dagli enti irrigui (nessuna rettifica dei dati per il 69% dei progetti finanziati, e nessuno dei dati rettificati riguardava caratteristiche tecniche del progetto).

Summary
Investment 4.3 – M2C4 of the NRRP by MASAF has financed interventions for the efficiency of collective irrigation networks and on the related digitalisation and monitoring systems, favouring the installation of metering and remote-control technologies for the 17% of the available budget; in general, these type of intervention allow an optimisation of water management, generating an average water saving of 20% (elaboration on DANIA data).
The digitalisation of the networks has also been accompanied by the digitalisation of the selection procedure. The use of the database DANIA (National Database of Investments for Irrigation and the Environment) for the selection of projects has made it possible to automate the application of the multi-criteria approach already implemented by MASAF in previous fundings by expert assessment. The evaluation of the projects was, in fact, carried out according to eligi-

bility and selection criteria defined and then automatically applied to the candidate projects on the basis of the information entered in DANIA. This procedure proved to be effective in terms of reducing selection times (70% less than in previous procedures) and reliable with respect to the data entered by the irrigation boards (data confirmed for 69% of the funded projects, and none of the rectified data concerned technical characteristics of the project).

1. Introduzione

Negli ultimi dieci anni, il Ministero dell'Agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste (MASAF) ha investito per l'adeguamento e l'efficientamento delle reti irrigue, al fine di ridurre i rischi legati alla carenza idrica in agricoltura, attraverso fondi europei e nazionali [1] [2]. Una misura dedicata è stata attuata anche nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR (Investimento 4.3 – M2C4) [3]. La pianificazione di questi investimenti è stata finalizzata al miglioramento della gestione delle acque, per la sostenibilità e la competitività del settore agricolo, attraverso l'ammodernamento delle reti irrigue ammalorate per ridurre le perdite, l'installazione di misuratori e di sistemi di telecontrollo per la quantificazione degli usi dell'acqua e il monitoraggio delle reti, il completamento di schemi irrigui per l'infrastrutturazione collettiva di aree già irrigate in maniera autonoma generalmente da pozzi.

Ognuna delle succitate tipologie di intervento contribuisce agli obiettivi della Direttiva Quadro Acque (DQA 2000/60/CE) legati al risparmio idrico e quindi all'uso efficiente dell'acqua. Anche la sola installazione nella rete irrigua di misuratori e di sistemi di telecontrollo consente un risparmio idrico medio del 20% (elaborazioni su dati DANIA).

L'implementazione coordinata di questi piani è stata supportata dalle banche dati SIGRIAN (Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura – https://sigrian.crea.gov.it/) e DANIA (Database Nazionale degli investimenti per l'Irrigazione e l'Ambiente) è un database online – https://dania.crea.gov.it/), realizzate e gestite dal Centro di Ricerca Politiche e Bioeconomia del CREA (CREA PB). I due database hanno le proprie specificità di applicazione [4] [5] [6] e il loro utilizzo congiunto ha migliorato la qualità della programmazione e del monitoraggio delle politiche, nel perseguimento di uno sviluppo sostenibile [7] [8].

2. Relazione

Nell'ambito della Missione 2 – Componente 4 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il MASAF ha finanziato per 880 milioni di euro l'investimento 4.3 – Investimenti nella resilienza dell'agro sistema irriguo per una migliore gestione delle risorse idriche, prevedendo interventi infrastrutturali per l'efficientamento delle reti irrigue collettive e sui relativi sistemi di digitalizzazione e monitoraggio, favorendo l'installazione di tecnologie di misurazione e telecontrollo La misura rientra nell'impegno italiano nell'ambito del Piano d'azione per l'acqua delle Nazioni Unite [9].

Una parte del budget disponibile è stata utilizzata per finanziare nuovi progetti per circa 520 milioni di euro tramite bando pubblico con candidatura diretta da parte degli enti irrigui; altri 360 milioni di euro sono stati dedicati all'avanzamento di progetti già finanziati con altri fondi nazionali, coerenti con le finalità e tempistiche della misura (progetti coerenti in essere). Il 17% dei progetti (in termini di spesa) ha riguardato interventi prevalentemente dedicati ai sistemi di digitalizzazione e monitoraggio delle reti irrigue. Di seguito alcuni esempi. L'intervento PNRR "nuovo" finanziato al Consorzio di Bonifica Tirreno Catanzarese prevede l'installazione di misuratori di I livello (al prelievo), di III livello (lungo i nodi della rete), di IV livello (all'utente finale) nonché di sistemi di automazione e telecontrollo da remoto, la cui azione combinata consentirà di immettere negli impianti irrigui le portate effettivamente richieste dall'utenza, con un risparmio idrico conseguibile di circa il 37%. L'intervento in capo

al Consorzio di Bonifica Territori del Mincio, già finanziato con PSC – Sottopiano 2 (stralcio 2019) e individuato tra i "progetti in essere" coerente con I.4.3-M2C4, prevede invece l'efficientamento della gestione irrigua implementando un sistema di controllo automatico di circa 53 km di canali irrigui installando paratoie automatizzate, misuratori di portata, di livello e di pioggia e un impianto di telecomunicazioni in grado di controllare e di regolare in tempo reale le portate fluenti nei canali in funzione delle esigenze irrigue del distretto, con un risparmio idrico conseguibile di oltre il 25%.

2.1 Il supporto delle banche dati SIGRIAN e DANIA alla misura I.4.3-M2C4

Le fasi di programmazione, attuazione e monitoraggio dell'I.4.3 della M2C4 hanno beneficiato delle informazioni e funzionalità delle banche dati DANIA e SIGRIAN (Fig. 1).



Fig. 1 – *Applicazione di DANIA e SIGRIAN nella programmazione, attuazione e monitoraggio dell'I.4.3 – M2C4 del PNRR*

In fase di programmazione, DANIA e SIGRIAN hanno permesso di definire il valore della baseline e dei target intermedio e finale raggiungibili dai due indicatori di performance individuati per la misura, ossia:

– Incremento delle fonti di prelievo dotate di contatori: dal 24% (baseline) ad almeno il 26% nel 2024 (M2C4-34), e al 29% nel 2026 (M2C4-34bis);

– Incremento della percentuale di superficie irrigata che beneficia di un uso efficiente delle risorse irrigue: dall'8% (baseline) ad almeno il 12% nel 2024 (M2C4-35) e al 24% nel 2026 (M2C4-35bis).

Ad esempio, per l'indicatore "Area efficientata" i dati di DANIA sui progetti già precedentemente finanziati hanno reso possibili statistiche sul risultato atteso per unità di spesa, consentendo quindi di calcolare su base parametrica il target raggiungibile in rapporto al budget disponibile.

Nella fase di attuazione della misura, DANIA è stato lo strumento attraverso il quale i progetti sono stati candidati dagli enti irrigui e selezionati dal MASAF, come descritto più avanti.

Nella fase di monitoraggio, il valore effettivo ottenibile per questi indicatori sarà quantificabile dall'aggiornamento dei dati DANIA per i progetti effettivamente finanziati e realizzati e rapportabile ai dati di contesto SIGRIAN.

2.1 Procedura di candidatura e selezione dei progetti tramite DANIA

Nel finanziamento dei nuovi progetti, i criteri di ammissibilità e di selezione (Fig. 2 e 3) sono stati definiti per finanziare interventi coerenti con le finalità della misura (ossia garantire il risparmio idrico e l'uso efficiente dell'acqua nel rispetto della Direttiva quadro sulle acque (DQA) e del principio di "non arrecare danno significativo" (DNSH) e con le tempistiche di realizzazione imposte dal PNRR [10].

Tra i 23 criteri di ammissibilità troviamo (Fig. 2):

– un livello avanzato di progettazione e autorizzazione e tempi di realizzazione in linea con la scadenza del programma (A10 – A15);

– l'assenza di nuova area irrigata (A9); obbligo di disporre o installare contatori alla fonte di fornitura (A7);

– l'adempienza agli obblighi di monitoraggio dei volumi irrigui in SIGRIAN (A22).

Tra gli 11 criteri di selezione (Fig. 3), alcuni sono stati riferiti a:

– il maggior risparmio idrico ottenuto (S6);

– l'efficacia del progetto nel raggiungimento dei target della misura (S3-S5);

– aree di intervento a maggior rischio di siccità e desertificazione (S8-S9);

– aree di intervento con produzioni tipiche (S11).

Tutti questi parametri sono stati definiti sulla base di informazioni compilabili in appositi campi della banca dati DANIA. Anche il punteggio assegnabile per alcuni criteri di selezione è stato definito secondo l'elaborazione statistica delle informazioni DANIA.

Da giugno a settembre 2021 gli enti irrigui hanno partecipato alla selezione inserendo i propri progetti in DANIA e dichiarando la propria volontà a richiedere un finanziamento nell'ambito della misura utilizzando due campi specifici di DANIA: "Fase = Presentato a finanziamento" e "Fonte di finanziamento = Recovery Plan Mipaaf".

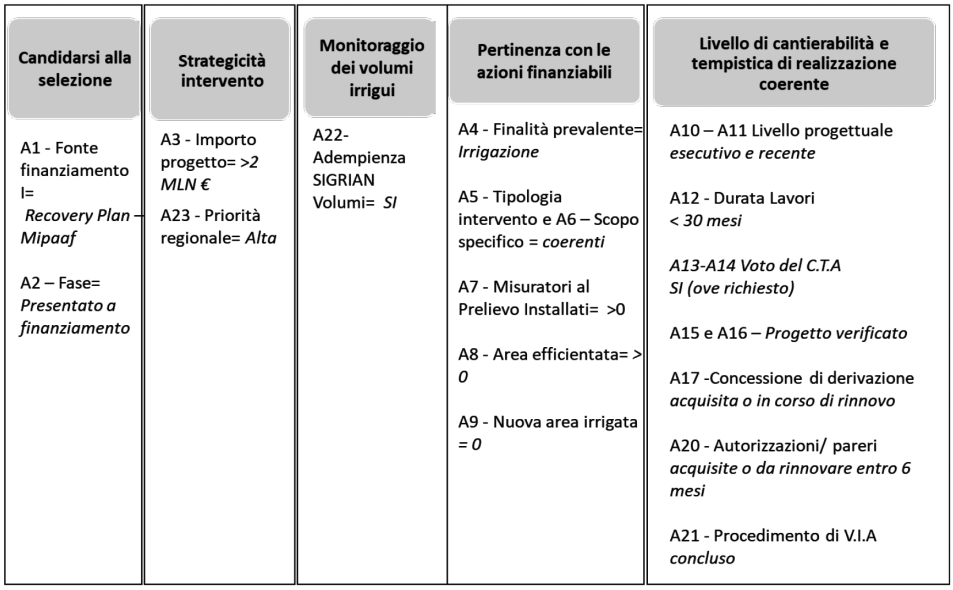


Fig. 2 – *Criteri di ammissibilità di cui al DM 299915 del 30 giugno 2021 raggruppati per tipologia*

Tematica	Criterio / Campo DANIA (se non diversamente specificasto, il nome del criterio corrisponde al nome del campo DANIA)	Punteggio massimo del criterio	Punteggio massimo della tematica	Peso in % della tematica sul totale
Livello di cantierabilità	S1 - Concessione di derivazione	2	4	10%
	S2 - Stato delle autorizzazioni/ pareri necessari per la cantierabilità dell'intervento	2		
Efficacia di progetto nel raggiungimento dei target	S3 - Importo intervento in relazione alla durata contrattuale lavori/forniture prevista nel cronoprogramma di progetto (euro/mesi)	5	15	38%
	S4 - Superficie in ettari di area attrezzata sottesa all'intervento in relazione alla durata contrattuale lavori/forniture prevista nel cronoprogramma di progetto (ha/mesi)	5		
	S5 - Importo dell'intervento in relazione alla superficie in ettari di area attrezzata sottesa all'intervento (euro/ha)	5		
Incidenza sugli obiettivi ambientali – Uso efficiente dell'acqua e Adattamento ai cambiamenti climatici	S6- Risparmio idrico (%)	3	18	45%
	S7 - Obiettivo DQA	4		
	S8 -Livello di potenziale desertificazione	4		
	S9 - Ricorrenza eventi siccitosi (negli ultimi 15 anni, in base allo Standardized Precipitation Index - $SPI_{3(ago)}$<-0.5)	4		
	S10 - Altri aspetti di tutela ambientale	3		
Contesto territoriale	S11 - Interventi che riguardano contesti territoriali dediti a produzioni agroalimentari tipiche con elevato valore e produzioni di qualità (DOP e IGP)	3	3	8%
Totale punteggio massimo		40	40	100%

Fig. 3 – *Criteri di selezione di cui al DM 299915 del 30 giugno 2021 raggruppati per tematica*

DANIA non prevede funzionalità preimpostate on line di elaborazione dei dati, dal momento che le possibilità di elaborare le informazioni in essa contenute sono potenzialmente infinite e dipendenti dalle modalità di selezione applicate da Ministeri e Regioni. Pertanto, scaduto il termine di presentazione delle domande (25 settembre 2021), i dati dei 249 progetti presentati da 97 enti irrigui sono stati scaricati da DANIA e importati in un foglio Excel appositamente implementato per la valutazione dei dati dichiarati dagli enti irrigui, ai fini della verifica dei criteri di ammissibilità e l'assegnazione dei punteggi [11]. La graduatoria provvisoria dei 159 progetti ammissibili è stata prodotta e pubblicata dal MASAF in soli cinque giorni (DM MIPAAF n. 0490962 del 30/09/2021) [12]. Sulla base del budget disponibile, è stata avviata l'istruttoria tecnica di progetti in posizione utile al finanziamento (57 progetti) acquisendone la documentazione progettuale a supporto dei dati dichiarati in DANIA. Questi documenti sono stati analizzati da un gruppo di 12 esperti che hanno concluso l'analisi in circa 3 mesi, giungendo nel settembre 2022 alla pubblicazione della graduatoria definitiva di 42 progetti finanziati per 517,4 milioni di euro (DM MIPAAF n. 0484456 del 30/09/2022).

2.2 Valutazione della procedura – alcuni indicatori di efficacia

Per valutare l'efficacia della procedura descritta può essere analizzata i) la riduzione dei tempi di verifica e ii) l'attendibilità dei dati dichiarati.

Riduzione dei tempi. Sono stati analizzati i tempi impiegati per ciascuna fase di valutazione con quelli impiegati per precedenti programmi di investimento, ossia il Programma di sviluppo rurale nazionale (PSRN) [13] e il Piano Sviluppo e Coesione (PSC) [14]. Per la fase di verifica dell'ammissibilità sono stati impiegati mediamente 0,03 giorni/progetto (indicatore Efficacia 1), valore notevolmente inferiore ai precedenti, pari a 5,4 per il PSRN e 8,9 giorni/progetto per il PSC (Tab. 1).

Piano/Programma di finanziamento	Progetti candidati a bando (n.)	Giorni necessari alla verifica di ammissibilità (n.)	Progetti ammissibili (n.)	Efficacia 1 (n. giorni per progetti ammissibili)
	A	B	C	B/C
PSRN 2014-2020 *Sottomisura 4.3*	84	245 (Commissione esperti)	45	5.4
PSC 2014-2020 *Sottopiano 2*	52	295 (Commissione esperti)	33	8.9
PNRR *I 4.3 M2C4*	249	5 (team DANIA foglio Excel)	159	0.03

Tab. 1 – *Efficacia nella fase di ammissibilità*

Una valutazione di efficacia è stata applicata anche all'intera fase di selezione dei progetti, dalla scadenza del bando alla pubblicazione dell'elenco dei progetti finanziati, sia in termini di giorni trascorsi per progetto finanziato (indicatore Efficacia 2) (70% in meno rispetto alle procedure precedenti) sia in termini di importo finanziato per giorno di valutazione (indicatore Efficacia 3) (fino a sette volte i precedenti valori) (Tab. 2).

Piano/ Programma di finanziamento	Giorni necessari alla valutazione (n.)	Progetti finanziati	Importo finanziato (Meuro)	Efficacia 2 (n. giorni per ogni progetto finanziato)	Efficacia 3 (importo finanziato al giorno)
	A	B	C	A/B	C/A
PSRN 2014-2020 *Sottomisura 4.3*	572	19	272.6	30.1	0.48
PSC 2014-2020 *Sottopiano 2*	456	15	85.9	30.4	0.19
PNRR *I 4.3 M2C4*	368	42	517.4	8.8	1.41

Tab. 2 – *Efficacia nell'intera fase di valutazione dei progetti*

Attendibilità dei dati. Il gruppo di valutazione di esperti incaricati ha confermato la coerenza tra i dati inseriti in DANIA dagli enti irrigui e la documentazione di progetto per il 69% dei progetti in questione (29 progetti su un totale di 42). Per i restanti 13 progetti, sono stati riscontrati 14 dati non corretti riguardanti alcuni criteri di selezione la cui valutazione era suscettibile da parte degli enti irrigui di un certo grado di soggettività e/o errore, ossia S8, S9 e S11 in Fig. 3. Per S8 alcuni enti irrigui hanno fatto riferimento alla documentazione prodotta a livello regionale anziché a rapporti nazionali utilizzati nei programmi precedenti e sulla base dei quali era stato costruito il criterio stesso [6 progetti interessati]. La valutazione del criterio S9 si è basata su mappe SPI disponibili online a scala molto ridotta, il che ha reso talvolta difficile la corretta ubicazione dell'intervento e quindi la relativa classificazione [2 progetti]. Infine, per S11 alcuni enti irrigui hanno omesso d'inserire delle apposite "parole chiave" pre-

viste dal bando in un campo specifico di DANIA, riscontrabili invece nella documentazione progettuale [4 progetti]. Per un solo progetto è stato corretto più di un criterio (S8+S9). Le discrepanze riscontrate hanno, quindi, riguardato il contesto dell'intervento più che le finalità e caratteristiche tecniche del progetto.

3. Conclusioni

L'analisi effettuata consente di sostenere che la procedura di selezione applicata è stata efficace nel ridurre i tempi di selezione. I risultati dimostrano che l'utilizzo di DANIA per la procedura di selezione ha ridotto notevolmente il tempo necessario per identificare l'ammissibilità del progetto al finanziamento e per completare il processo di selezione. La valutazione da parte di un comitato di esperti, infatti, prevede che tutti i progetti ammissibili debbano essere analizzati per essere inseriti in una graduatoria, anche se il budget è sufficiente solo per una parte di essi. La preselezione automatica tramite DANIA ha, invece, consentito di analizzare nel dettaglio da parte di un gruppo di valutazione di esperti la documentazione progettuale dei soli progetti idonei e in posizione utile al finanziamento. La procedura di selezione applicata si è rivelata anche affidabile rispetto ai dati inseriti dagli enti irrigui, che sono risultati generalmente precisi, tanto che nella successiva fase di indagine è stata riscontrata una buona corrispondenza tra i dati.

Si possono tuttavia evidenziare alcune criticità. Innanzitutto, questa procedura multicriteri si rivela idonea per la valutazione di progetti di cui sia stata preventivamente valutata la validità tecnica e la coerenza con gli obiettivi territoriali, potendone poi quindi verificare la sola conformità con le specificità e gli obiettivi di ciascun programma di finanziamento in termini di azioni ammissibili e obiettivi di intervento. Ecco perché i progetti in DANIA devono essere accettati dalle Regioni di riferimento che lo caratterizzano con una priorità di intervento. Inoltre, pur essendo in atto alcune procedure per garantire la completezza, l'accuratezza e la coerenza delle informazioni, la verifica dei dati di progetto non è completamente automatizzata, ma necessita di verifica formale da parte dell'Ente finanziatore (in questo caso il MASAF). Un altro aspetto cruciale di questo processo è la possibile duplicazione di progetti in DANIA, laddove questi vengano raggruppati o divisi per soddisfare i requisiti di specifici bandi di finanziamento, superabile con lo sviluppo di apposite maschere di candidatura dei progetti, collegate all'anagrafica del progetto ma indipendenti da essa.

Bibliografia

[1] **Ferrigno M., Zucaro R.,** "Le infrastrutture irrigue a sostegno dell'agricoltura italiana", in Zumpano C. (a cura), INFRASTRUTTURE RURALI E SVILUPPO TERRITORIALE.POLITICHE A CONFRONTO, Rete Rurale Nazionale, Roma (2023). ISBN 9788833853093

[2] **Ferrigno M., Folino L.A., "**Reti irrigue collettive: investimenti tra produttività e sostenibilità", *RRN MAGAZINE numero 18 febbraio 2023,* Rete Rurale Nazionale (Ed.), (Pianeta PSR – Il futuro in una goccia)

[3] **Zucaro R., Ferrigno M., Lorenzetti R., Folino L.A.**, "L'uso sostenibile dell'acqua in agricoltura nel quadro del PNRR", Pianeta PSR numero 106 ottobre 2021 https://www.pianetapsr.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2615

[4] **Zucaro R., Ferrigno M., Manganiello V.,** "Italian approach to quantify water for irrigation"*, in* Garrote L., Tsakiris G., Tsihrintzis V.A., Vangelis H., Tigkas D., (eds.) 2019. Managing Water Resources for a Sustainable Future. Proceedings of the 11th World Congress of EWRA on Water Resources and Environment, 25-29 June 2019, Madrid, Spain (http://drainage.cedex.es/site/docs/publicaciones/Garrote-et-al-(2019),-BICyL-EWRA2019_Proceedings.pdf)

[5] **Zucaro R., Manganiello V., Lorenzetti R., Ferrigno M.**, "Application of Multi-Criteria Analysis selecting the most effective Climate change adaptation measures and investments in the Italian context", Bio-Based and Applied Economics, 10 (2021) 109-122. doi: 10.36253/bae-9545.

[6] **Ferrigno M., Lorenzetti R., Folino L.A., Zucaro R.**, "The new Italian web database to support irrigation investment policies: DANIA", International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, 8 (2022) 64-83. doi: 10.1504/IJSAMI.2022.123047
[7] **Manganiello V., Ferrigno M.**, "SIGRIAN and DANIA to promote measurement of agriculture water use", in Proceedings of 12th World Congress on Water Resources and Environment, EWRA 2023, Thessaloniki, Greece.
[8] **Ferrigno M., Folino L. A., Crisponi N., Capone S., Manganiello V.**, "SIGRIAN and DANIA to support water related policies for efficient and sustainable irrigation", in Proceedings of 14th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2023, Bologna, Italy.
[9] https://sdgs.un.org/partnership-progress/pnrr-investments-resilience-irrigation-agro-system-better-management-water
[10] Decreto MIPAAF n. 299915 del 30 giugno 2021 (criteri di ammissibilità e selezione) (https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17125)(https://dania.crea...)
[11] Griglia dei criteri di cui al Decreto n. 299915 del 30 giugno 2021 e il relativo soddisfacimento (https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17125)
[12] Decreto MIPAAF n. 490962/2021 di approvazione degli elenchi dei progetti ammissibili e non ammissibili a finanziamento. (https://dania.crea.gov.it/Doc/MIPAAF-2021-0490962-DMapprovazione-elenchiprogettifondiPNRR%20(3).pdf)
[13] https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/11903
[14] https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/11194

La gestione ottimizzata dell'impianto di depurazione grazie a Controllori avanzati ed automatici del processo

Ing. Maria Serena Gironi, Mariaserena.gironi@hach.com – Sales Development Manager
HACH LANGE SRL, Milano

Riassunto
Il gestore di un impianto di depurazione di acque reflue si trova ad affrontare nuove sfide legate a richieste di qualità del trattamento sempre più elevate (normative sempre più stringenti, limiti su nuovi parametri, classificazione aree sensibili, ecc.) unitamente con la necessità di contenere i costi gestionali che, causa l'innalzamento dei costi, stanno diventando sempre più significativi (costi energetici, acquisto prodotti chimici usati nelle varie fasi di trattamento, smaltimento dei fanghi di depurazione). L'impiego di controllori automatici ed avanzati di processo che tengono sotto controllo le varie fasi di trattamento e gestiscono l'automazione dei dispositivi possono essere di grande aiuto per il gestore e dare una visibilità del processo in tempo reale 24/7.

Summary
A wastewater treatment plant manager is now facing new challenges related to ever higher treatment quality demands (increasingly stringent regulations, limits on new parameters, classification of sensitive areas, etc.) together with the need to reduce management expenses which, due to rising costs, are becoming increasingly significant (energy costs, purchase of chemicals used in the various treatment phases, disposal of sludge). The use of automatic and advanced process controllers that keep different treatment phases under control and manage the automation of the devices can be of great help to the operator and provide 24/7 real-time visibility of the process.

Introduzione
Il mercato delle acque reflue ha visto negli ultimi anni una continua evoluzione non soltanto per l'innovazione tecnologica che lo ha caratterizzato in termini di disponibilità di apparecchiature e strumenti di controllo sempre più affidabili e performanti, nonché di nuovi protocolli e tecnologie di comunicazione ma anche e soprattutto per il cambiamento di approccio che si è verificato nella gestione stessa dell'impianto di depurazione. Si è infatti gradualmente passati da una filosofia che prevedeva il semplice monitoraggio dei vari parametri chimico/fisici in uscita dall'impianto per avere la sicurezza del rispetto dei limiti legislativi (peraltro sempre più restrittivi perché associati alla definizione e riclassificazione delle aree sensibili, normativa con limiti sempre più stringenti) ad una filosofia che cerca di avere una comprensione e consapevolezza più approfondita dei meccanismi del processo allo scopo di ottimizzarne il funzionamento sia in termini di incremento della resa globale del processo sia per quanto riguarda la riduzione dei costi gestionali che il depuratore comporta. L'utilizzo di strumenti in linea affidabili che forniscono una misura dei parametri chiave del trattamento depurativo e permettono di avere una maggiore visibilità di ciò che sta avvenendo nel processo e soprattutto la loro integrazione in sistemi completi di controllo, verifica e regolazione automatica delle

macchine consente di ottenere una gestione più razionale delle singole fasi del trattamento depurativo, un incremento dell'efficienza globale dell'impianto nel suo complesso (anche in presenza di elevate fluttuazioni nel carico entrante) ed un'importante riduzione dei costi gestionali dell'impianto in termini di efficientamento energetico. Ciò a maggior ragione per gli impianti di depurazione di bassa potenzialità che sono spesso i più difficili da gestire e da ottimizzare per diverse ragioni: sono scarsamente controllati ed equipaggiati con strumenti di misura e controllo; hanno spesso problemi a garantire il risultato finale dell' effluente come rispetto dei limiti di legge; si trovano a gestire frequentemente picchi di carico improvviso (non equalizzato da elevati valori nel flusso entrante); si trovano in posizioni difficilmente raggiungibili e sono scarsamente presidiati.

1. Le fasi più critiche da gestire nel processo di depurazione

Le fasi più difficili da gestire in un impianto di depurazione in termini di monitoraggio dell'efficienza di trattamento e di riduzione dei costi gestionali annessi sono quelle legate all'abbattimento dei nutrienti (Azoto e Fosforo) nella linea acque e alla linea fanghi.

1.1 La defosfatazione chimica

La rimozione chimica del fosforo che può arrivare all'impianto di depurazione sotto diverse forme (come orto fosfato PO_4-P o fosforo legato alla materia organica) e con una concentrazione che tipicamente varia tra 5-30 mg/l, viene solitamente realizzata tramite l'aggiunta di agenti chimici che contengono ioni metallici (i più comuni: solfato di alluminio, solfato ferrico, cloruro ferrico). Il processo globale di eliminazione del fosforo che passa attraverso una serie di fasi (precipitazione, coagulazione, flocculazione e filtrazione con la formazione di molecole aggregate di fosfato di metallo) può essere effettuata prima (pre-precipitazione a monte delle vasche di ossidazione), durante (precipitazione simultanea nelle vasche a fanghi attivi) o dopo il processo biologico (post-precipitazione, a valle dei reattori biologici) ed, in ogni caso, porta alla formazione di fanghi che devono essere necessariamente smaltiti nelle successive fasi di trattamento.

Si intuisce facilmente come un controllo in continuo dell'ortofosfato grazie ad un analizzatore online che dà l'informazione in tempo reale della concentrazione effettivamente presente nella fase di trattamento e la sua implementazione a dispositivi di automazione che consentono il dosaggio automatico degli agenti precipitanti possa portare ad un notevole risparmio dei prodotti defosfatanti usati, ad una minor produzione dei fanghi da smaltire ed, infine, ma non meno importante, ad un effluente con concentrazioni del parametro di legge Fosforo a valori quasi costanti e comunque sempre al di sotto del limite normativo.

1.2 La rimozione dell'Azoto in un impianto funzionante con logica a Cicli alternati

Generalmente, l'Azoto, che può arrivare all'impianto di depurazione sotto diverse forme (principalmente azoto ammoniacale) viene eliminato attraverso un processo che prevede rispettivamente l'ossidazione biologica dei composti inorganici dell'azoto (fase di nitrificazione) e la successiva riduzione biologica dell'azoto nitrico e nitroso (fase di denitrificazione). Il controllo della fornitura di aria in un impianto a fanghi attivi è molto importante per due motivi: perché rappresenta un fattore determinante per l'efficienza del processo (in termini di rimozione dell'azoto, sedimentazione dei fanghi, stato di salute della biomassa) ma anche perché di fatto la fornitura dell'ossigeno nel trattamento di ossidazione rappresenta una delle principali voci di costo gestionali di un impianto (25-40%). Una fornitura ottimizzata nella vasca di ossidazione consente quindi di non avere sprechi di energia dovuti ad una fornitura eccessiva e permette di adeguare il sistema a condizioni variabili del carico entrante assicurando in tal modo la massima efficienza di trattamento e stabilità del processo. La rimozione dell'Azoto attraverso le fasi di Nitrificazione e Denitrificazione si concretizza in diversi schemi

di impianto: impianti con flusso a pistone, ossidazione in continuo e ricircolo miscela areata e impianti funzionanti con aerazione ad intermittenza – tipici degli impianti medio-piccoli e generalmente con problemi di spazio. In impianti a ciclo alternato sono quelli in cui la fase di nitrificazione e rispettivamente di denitrificazione avvengono nel medesimo comparto; in questo caso il processo ad aerazione intermittente permette, attraverso l'utilizzo di un ciclo di accensione e spegnimento dell'aria all'interno della vasca, la formazione di condizioni aerobiche ed anossiche adeguate per far avvenire sequenzialmente e alternativamente la nitro e la denitro. Il fattore determinante per aumentare la resa complessiva di rimozione dell'azoto è quello di ottimizzare la durata delle due fasi. Tradizionalmente la logica di alternanza nitro/denitro è una logica di tipo temporale: l'accensione dei meccanismi di aerazione per creare condizioni aerobiche e il loro spegnimento con l'attivazione contemporanea dei dispositivi di miscelazione avvengono in base a fasce orarie prestabilite. Si intuisce come un controllo ed una gestione automatica del ciclo alternato non su fasce orarie temporizzate ma basata sull'impiego di sonde ed analizzatori in continuo dei parametri chiave del processo (NH_4-H e NO_x-N) permetta di avere una gestione ottimale del processo, una logica più flessibile, razionale e flessibile nell'alternanza delle rispettive fasi ed ottenere conseguentemente un notevole risparmio energetico.

1.3 La fase di Disidratazione nella Linea Fanghi

I processi depurativi di trattamento delle acque reflue portano alla produzione di fanghi. Il deposito, la movimentazione e lo smaltimento del fango prodotto rappresentano importanti voci di costo operative. I costi si evidenziano in modo particolare nella fase di disidratazione del fango (centrifuga) dove viene aggiunto un polielettrolita, prodotto chimico necessario per l'addensamento del fango stesso. Si intuisce facilmente come, in questa fase di trattamento del fango di depurazione, l'implementazione di una misura in continuo ed in tempo reale della concentrazione degli SST (Solidi Sospesi Totali) ed un controllore di processo che, sulla base degli SST misurati sul fango da disidratare, dosi in automatico il polimero in centrifuga rappresenti decisamente un passo in avanti per la gestione ottimale anche della linea fanghi.

2. La piattaforma unica con i controllori automatici ed avanzati di processo RTC (Real Time Controller) per i depuratori di qualsiasi taglia

I Software ed algoritmi dei Controllori di Processo RTC sono appositamente progettati per garantire processi automatici di misura, controllo e gestione del processo garantendo un risparmio sui prodotti usati ed efficientamento energetico, sempre con la sicurezza di avere sempre uno scarico conforme alle normative vigenti. Partendo infatti dalle misure in campo fornite da sonde ed analizzatori che danno la visibilità completa di ciò che sta avvenendo nella specifica fase di trattamento, i software dei controllori di processo elaborano i segnali dal campo in algoritmi di calcolo e strategie di controllo di diversa tipologia (ad anello aperto, ad anello chiuso o una combinazione di entrambe) che controllano i processi non sulla base del tempo o volume ma sulla base dell'effettivo carico. Una diagnostica avanzata ed integrata nella strumentazione e nel controllore stesso aumenta l'affidabilità di processo, permettendo di stabilire se le variazioni di misura dipendono da alterazioni dello strumento o del processo in modo sempre da dare la massima sicurezza per il raggiungimento del risultato finale. I pacchetti SW di gestione del processo possono essere combinati in un unico pannello in modo da dare un'ottimizzazione a 360° del trattamento depurativo.

3. La centralina di misura Sc per gli impianti medio-piccoli

La centralina di misura delle sonde Sc4500plus è la soluzione ideale per il controllo di processo degli impianti medio-piccoli essendo caratterizzata da un investimento ridotto, da costi di installazione ridotti al minimo, da un'elevata flessibilità di integrazione nei sistemi di auto-

mazione già presenti in impianto con protocolli classici ed avanzati di comunicazione. Grazie ad una diagnostica avanzata integrata nella centralina stessa, fornisce in qualsiasi momento informazioni dettagliate sulla qualità della misura, sullo stato attuale di salute dello strumento e sulla eventuale necessità di manutenzione preventiva per ogni sonda. Il tutto accessibile anche da remoto tramite piattaforma cloud dedicata che permette l'invio di notifiche in caso di superamento di limiti impostati ed in caso di malfunzionamento o avvertimenti di guasto sugli strumenti di analisi. Tutti i parametri chiave del processo vengono memorizzati e si può visualizzare su apposita pagina grafica il trend che ne delinea l'andamento generale. Più centraline dello stesso tipo possono essere messe in rete tra di loro per creare un vero e proprio network di misura e controllo.

4. SW P-RTC per la gestione ottimale del processo di defosfatazione

Il Controllore di processo P-RTC (Phosphate Real Time Controller) consente di ottenere il massimo beneficio e risparmio nel dosaggio automatico degli agenti precipitanti (fino al 40% di risparmio) e nella produzione di fanghi perché, a differenza delle tradizionali tecniche basate solo sul valore della portata o del carico entrante, basandosi sulla concentrazione effettivamente presente di Orto-fosfato, tiene conto di eventuali fluttuazioni che si possono verificare ed è in grado di rispondere in tempo reale a variazioni repentine del parametro monitorato. Esperienze concrete dimostrano che i vantaggi ottenibili da una logica di regolazione di questa tipologia sono legati ai seguenti aspetti:

– miglioramento della qualità dell'effluente e costante rispetto dei limiti normativi: fissando il set point della concentrazione di PO4 si riesce a garantire una concentrazione di Ptot sempre al di sotto dei limiti normativi;

– risparmio nel dosaggio del precipitante chimico: vengono evitate situazioni di dosaggio eccessivo del defosfatante visto che viene monitorata in continuo la concentrazione di ortofosfato da abbattere;

– minor produzione di fanghi: il più razionale dosaggio di precipitante comporta una minor produzione dei fanghi che devono essere smaltiti nelle successive fasi di trattamento;

– maggiore stabilità di processo anche in condizioni di estrema variabilità del carico entrante

5. SW N/DN-RTC per la gestione ottimale del processo biologico a ciclo alternato

Il sistema di ottimizzazione N/DN RTC per impianti biologici funzionanti con processo a ciclo alternato è un controllore di processo che, sulla base della misura on-line dei parametri chiave della fase ossidativa (Ammoniaca e Nitrati, Ossigeno) consente la regolazione automatica della fase intermittente e della fornitura di ossigeno allo scopo di ottimizzare le performance della fase biologica sia per quanto concerne l'efficacia del trattamento che per ciò che riguarda la riduzione dei costi gestionali. Il controllore di processo N/DN RTC ottimizza in tal modo la durata delle fasi di nitrificazione e denitrificazione in funzione dei parametri analitici chiave che direttamente intervengono nel processo ad aerazione intermittente (concentrazione di azoto ammoniacale e di quello nitrico e nitroso). Questo tipo di regolazione è più favorevole rispetto alla logica basata sull'alternanza delle fasi su base temporale o parametri indiretti o sulla base della sola misura di ossigeno, dal momento che, attivando ad hoc i dispositivi di aerazione, comporta un minor consumo energetico, una maggiore efficienza di abbattimento dell'azoto (quindi una qualità più elevata dell'effluente) ed una maggiore stabilità di controllo.

6. Conclusioni

I vantaggi che derivano dall'utilizzo di misuratori in linea dei parametri chiave del processo depurativo cominciano ad essere sempre più apprezzati poiché, abbinati a controllori di processo specifici per le varie fasi che sono integrati direttamente nella centralina di misura si

traducono, oltre che in un miglioramento della qualità dell'effluente, anche in un risparmio economico facilmente quantificabile ed un incremento dell'efficienza globale di funzionamento dell'impianto di depurazione.

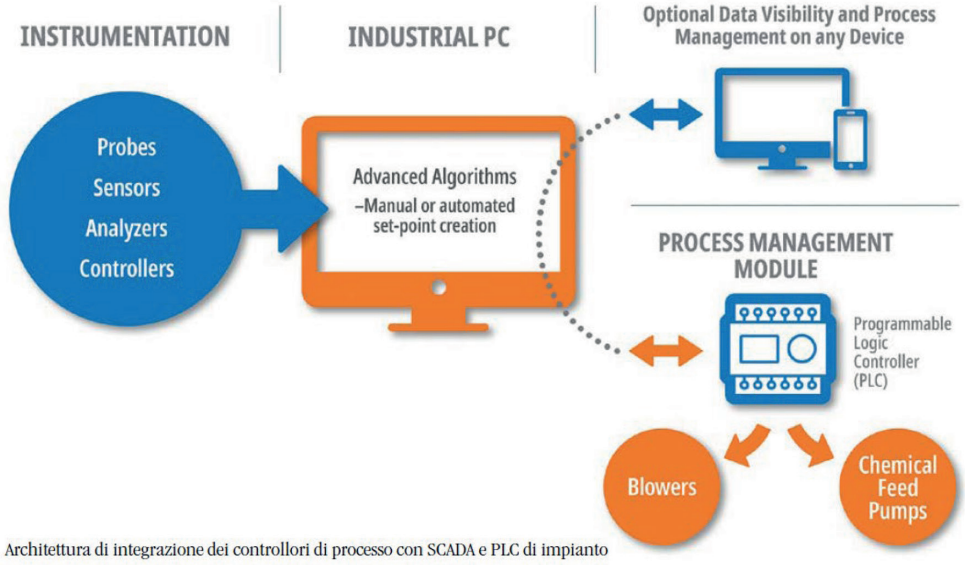


Fig. 1 – *Architettura di integrazione dei controllori di processo con SCADA e PLC di impianto*

ENAS Lotto 1: Interventi di risanamento tubazioni Coghinas I Relining Lu Bagnu – Castelsardo (SS)

Ing. Michele Meloni – mm@rotech srl
Rotech Srl

Riassunto
Il presente documento descrive gli interventi previsti all'interno dei lavori di risanamento della condotta Coghinas 1 in località Lu Bagnu, nel comune di Castelsardo (SS). Gli interventi di relining, ad oggi in corso di realizzazione da parte della ATI ROTECH – OnTecnology, prevedono l'inserimento di tubazioni in PRFV DN 1200 all'interno della condotta esistente DN 1400 in cemento armato, per un tratto complessivo di 2,5km. L'intervento si annovera tra i più innovativi della regione Sardegna fin dalle fasi preliminari, nelle quali è stato utilizzato un sistema di rilevamento LIDAR e Scan 3D; si tratta inoltre del primo progetto As-Built BIM sulle condotte ENAS. L'intervento si colloca quindi a pieno titolo tra quelli prediletti dai finanziamenti PNRR, secondo il principio cosiddetto DNSH.

Abstract
This document describes the interventions planned within the rehabilitation works of the Coghinas 1 pipeline in the Lu Bagnu locality, in the municipality of Castelsardo (SS). The relining works, currently being carried out by ATI ROTECH – OnTecnology, foresee the insertion of DN 1200 GRP pipes inside the existing DN 1400 reinforced concrete pipeline, for a total length of 2.5 km. The intervention ranks among the most innovative in the region of Sardinia right from the preliminary stages, in which a LIDAR and Scan 3D survey system was used; it is also the first As-Built BIM project on ENAS pipelines. The intervention is therefore rightfully among those favoured by PNRR funding, according to the so-called DNSH principle.

1. Introduzione

1.1 La Storia delle Condotte

Gli acquedotti "Coghinas I e II", alimentati dall'invaso di Casteldoria sul basso Coghinas, sono stati realizzati dalla Cassa per il Mezzogiorno tra la fine degli anni '60 e la prima metà degli anni '80, per l'approvvigionamento degli agglomerati industriali di Porto Torres, Sassari e Alghero, entrambi alimentati tramite le centrali di sollevamento dall'invaso di Casteldoria, a Santa Maria Coghinas.
Lo sviluppo complessivo della condotta è di circa 50 km, con tubi in cemento armato ∅ 1.400 mm. Attualmente è in esercizio solo una parte del primo tratto fino a Pedra Maiore per l'approvvigionamento dell'impianto di potabilizzazione omonimo (con circa 300 l/s).
Il secondo tratto, in esercizio, è attualmente alimentato dal Coghinas II tramite una breve condotta (circa 220 m) di collegamento in ghisa sferoidale ∅ 600 mm (realizzata alla fine degli anni '90) con una portata massima transitabile di circa 400 l/s.

1.2 Le problematiche principali e i frequenti disservizi

Le condotte, realizzate per la gran parte della loro estensione con tubi in CAP, hanno ormai raggiunto, entrambe, un avanzato stato di degrado. Inizialmente si registrava un numero di guasti intorno ai 24/25 annui (circa 2 ogni mese), insorgenti principalmente sull'acquedotto Coghinas I, dei quali 5 comportanti la fermata degli acquedotti e la sospensione dell'erogazione. Negli ultimi anni si è arrivati ad un numero di guasti, comportanti oltretutto sempre più cospicue dispersioni di risorsa, intorno ai 45/50 annui (quasi uno ogni settimana) ed equamente distribuiti fra i due acquedotti, dei quali circa la metà necessitano per l'esecuzione delle riparazioni, l'interruzione dell'approvvigionamento idrico. Normalmente i guasti interessano le giunzioni dei tubi e, a causa della rottura della guarnizione di tenuta, si verifica una fuoriuscita d'acqua che, per le caratteristiche dei terreni di posa (in gran parte sabbiosi), non sempre appare in superficie e quindi prosegue nella sua azione di abrasione della superficie esterna del tubo, provocando la lesione del calcestruzzo, la corrosione dell'armatura in acciaio e anche la rottura dei fili d'acciaio più esterni. Quanto più è alta la pressione (anche 12 bar sul Coghinas II e 4,5 sul Coghinas I) maggiore è la dispersione d'acqua e, conseguentemente, anche la sua azione abrasiva. In aggiunta, sono in stato di degrado avanzato anche i vari manufatti lungolinea, come i pozzetti di scarico e/o sfiato: oltre 150 sul Coghinas I e 220 sul Coghinas II.

1.3 La crescita urbanistica in corrispondenza del tracciato

Gli acquedotti Coghinas I e Coghinas II sono stati realizzati a suo tempo in ambiti territoriali destinati all'agricoltura, e in ogni caso inedificati. Per rendersi conto dell'evoluzione che il territorio ha subito si può prendere in considerazione l'acquedotto industriale Coghinas I. La progressiva espansione urbana delle aree attraversate dai due acquedotti, ha fatto sì che le due condotte, che nel periodo della loro progettazione e costruzione lambivano soltanto alcuni centri abitati, attualmente si ritrovano ormai all'interno di diversi agglomerati urbani, nelle periferie degli abitati di Valledoria (La Muddizza), Castelsardo (Lu Bagnu), Sorso, Sassari e Porto Torres.

La stazione appaltante ENAS, conscia della estrema urgenza dell'intervento, a febbraio 2023 ha appaltato 2 gare di RELINING con sistema di affidamento "Offerta Economicamente Più Vantaggiosa" (1 relativa al Coghinas I del valore di 12 milioni di Euro e I per il Coghinas II da 8 milioni di Euro).

L'ATI Rotech – On Tecnology si è aggiudicata il lotto Coghinas 1.

2. Lavorazioni previste nel progetto definitivo-esecutivo

Gli interventi previsti riguardano l'esecuzione del relining della condotta esistente "Coghinas I" in cemento armato DN 1400 con inserimento di una nuova condotta DN 1200 in PRFV. L'intervento presso la frazione di Lu Bagnu, nel comune di Castelsardo, consiste nell'esecuzione di due tratti separati, 2A e 2B, della lunghezza rispettiva di 1133 m e di 1407 m, per una lunghezza totale di 2540 m circa (Figura 1).

Denominazione intervento	Tipologia intervento	Diametro (mm)	Lunghezza (m)
COGHINAS 1			
3BC6.INT2A Intervento a Lu Bagnu	Relining + rifacimento camere lungo linea	DN 1200 in PRFV	1407 m
3BC6.INT2B Intervento a Lu Bagnu	Relining + rifacimento camere lungo linea	DN 1200 in PRFV	1133 m

Fig. 1 – *Contratto applicativo Castelsardo – Lu Bagnu*

Il relining delle condotte, ad oggi in corso lungo il tratto 2A, avviene sia in aree non urbanizzate, ma anche nella vicinanza di edifici privati e pubblici, con scavi effettuati in concomitanza di curve plano-altimetriche del tracciato esistente. Nell'aprile 2023, in fase di PFTE (Progetto di fattibilità tecnico-economica) è stato effettuato un rilievo LIDAR con elicottero, e contemporaneo rilievo dei manufatti a terra, per tutta la lunghezza della condotta.

2.1 Il rilievo con Laser-Scan 3D e il progetto costruttivo di Rotech

Al fine di ridurre in corso di esecuzione la possibilità di imprevisti la Committenza ha commissionato all'Impresa ROTECH, di effettuare un rilievo con utilizzo di tecnologia LASER SCAN 3D all'interno della condotta per definire puntualmente le variazioni plano-altimetriche presenti.



Fig. 2 – *Rilievo del tracciato della condotta esistente*

Il risultato dello studio ha comportato la determinazione di una situazione completamente differente da quanto previsto nello step progettuale del PFTE, basato su documenti cartacei, con un considerevole aumento di curve. Le soluzioni progettuali previste inizialmente sono state ripensate e ristudiate in funzione della "nuova" realtà accertata.

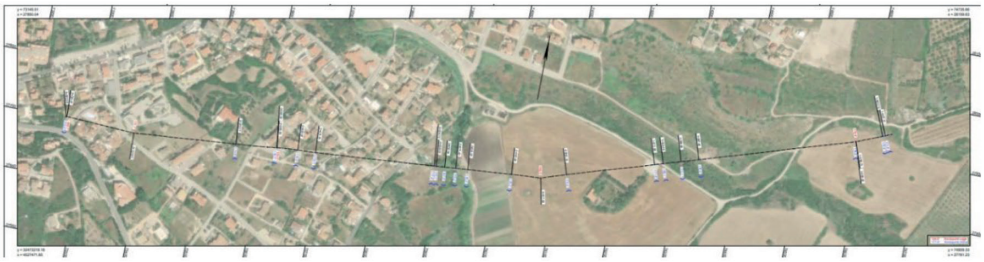


Fig. 3 – *Tratto 2A-1407m*



Fig. 4 – *Tratto 2B – 1133m*

3. Lavorazioni previste per il relining

L'attività prevede il risanamento di tratti di tubazione DN 1400 con l'immissione di tubazioni in PRFV del tipo Amiblu Flowtite Grey DN 1200, con tecnologia di produzione ad avvolgimento. Queste tubazioni hanno le seguenti caratteristiche:

– PN = 10
– SN = 10.000
– Diametro esterno 1229 mm
– Spessore di parete dei tubi 22,9 mm
– Lunghezze degli elementi standard da 1000 a 6000 mm
– Peso per metro lineare di tubo pari a 191 Kg/ml

L'accoppiamento con gli altri tubi o con i pezzi speciali viene effettuato tramite manicotto. Solo in alcuni specifici casi, invece, il collegamento tra le condotte è stato eseguito tramite laminatura a mano e in corrispondenza delle estremità o di alcuni pezzi speciali tramite flangiatura. I manicotti di giunzione sono tipo Flowtite, dotati di doppia guarnizione.
Lo strato sigillante di rivestimento interno a contatto con l'acqua (liner), chimicamente inerte, è compatibile con il trasporto di liquidi alimentari secondo DM 174 / 2004, assicura la tenuta del tubo e forma una superficie particolarmente liscia e priva di difetti. Il liner è realizzato con resina poliestere rinforzata con fibre di vetro. Dopo l'installazione in cantiere, viene verificata la tenuta dei singoli manicotti e giunzioni attraverso una prova di tenuta ad aria. Il Relining viene completato con l'iniezione di malte speciali a base cementizia all'interno dell'intercapedine tra PRFV e condotta esistente. Le iniezioni sono eseguite tramite appositi fori lungo la generatrice superiore della linea DN 1400 mm in modo da garantire il totale riempimento dell'intercapedine.

4. Il progetto costruttivo

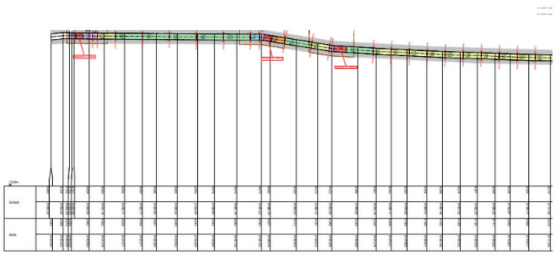


Fig. 5 – *Profilo della condotta*

Partendo dal progetto Definitivo-Esecutivo realizzato dai progettisti affidatari del servizio, la ROTECH, tramite i suoi tecnici interni dedicati alla commessa, ha realizzato la progettazione costruttiva dell'intero tratto. Tale aspetto risulta fondamentale per l'esecuzione del relining, in quanto consente di definire nel dettaglio la lunghezza di ogni singola tubazione e pezzo speciale e definire in maniera precisa anche tutti i punti di iniezione delle malte.

4.1 Il collaudo delle tubazioni PRFV Flowtite Grey

Una volta ordinati i tubi, prima della loro consegna in cantiere, l'ATI, insieme alla committente ENAS e la DLL, si è recata presso lo stabilimento AMIBLU in Spagna per la prova di collaudo. Ogni singola tubazione è stata marchiata in maniera univoca, secondo un preciso protocollo di produzione, al fine di collegarla anche alla modellazione finale tramite BIM.



Fig. 6 – *Arrivo delle tubazioni in cantiere e marchio univoco per tracciamento BIM*

5. Esecuzione dei lavori

Allo stato attuale del cantiere (settembre 2024) è stato realizzato il tratto 2B di relining di 1133 m ed è in fase di ultimazione anche il tratto 2A. I lavori risultano essere perfettamente in linea con il cronoprogramma del progetto esecutivo, la cui durata prevede 7 mesi per la conclusione di tutto il lotto del Coghinas I. ROTECH ha inoltre realizzato anche la modellazione degli as-built in modalità BIM del tratto di relining ultimato fino alla prima prova di collaudo ad aria.

5.1 Cantierizzazione

Ciascun tratto da risanare è caratterizzato da un'area destinata al deposito delle tubazioni in PRFV delle dimensioni di circa 2500 m^2. La scelta delle aree è stata condotta privilegiando i seguenti aspetti:

- la posizione: si è ricercata un'area baricentrica rispetto all'estensione del tratto di relining;
- l'accessibilità: accesso dei mezzi e degli approvvigionamenti attraverso percorsi agevoli e facilmente fruibili;
- la disponibilità: ove possibile, si è optato per aree di proprietà pubblica.

Ciascuna zona di deposito è caratterizzata da un'area recintata e ad accesso controllato, le aree di stoccaggio dei materiali di risulta e delle attrezzature, di parcheggio e di ricovero mezzi, e da un'area limitrofa, anch'essa opportunamente recintata e ad accesso controllato, dove avviene il deposito delle condotte e delle apparecchiature idrauliche. Per quanto riguarda l'area adibita ai baraccamenti del cantiere e per la fabbricazione dei blocchi Lego, è stata invece individuata una singola area per entrambi i tratti, in corrispondenza del tratto 2B, in prossimità di un parcheggio pubblico.

5.2 Scavi e opere provvisionali

Gli scavi lungo tutto il tratto di relining (circa 2,5 Km) sono risultati 28. Ogni scavo ha una profondità compresa fra 3m e 5m. Per la realizzazione delle fosse di inserimento, al fine di poter lavorare con lo spazio necessario per inserire le tubazioni in PRFV fino a 6 m di lunghezza, l'ingombro netto necessario è risultato pari a circa 7 m di lunghezza e 4 di larghezza. Considerata tale necessità, di concerto con i progettisti, Rotech ha ideato un sistema di sostegno degli scavi innovativo mediante l'utilizzo di blocchi di calcestruzzo prefabbricati, dotati di un sistema di incastro tipo lego, delle dimensioni di 1,6x0,8x0,8 m



Fig. 7 – *Legoblock*

per un volume di 1 m^3 cadauno. Per il sostegno di tutti gli scavi del tratto 2A e 2B, sono stati realizzati circa 1100 blocchi, 40 per ogni singolo scavo.

6. Dettaglio della tecnologia PRFV e delle lavorazioni

La tecnologia di relining in PRFV prevede l'inserimento delle singole tubazioni DN 1200 con l'ausilio di specifiche attrezzature per il trasporto e l'accoppiamento idraulico degli elementi inseriti all'interno della tubazione ospite. Al fine di poter comprendere meglio la specificità della tecnologia è opportuno considerare la sequenza completa delle fasi di lavoro: propedeutiche, principali e di completamento.

6.1 Lavorazioni propedeutiche all'installazione dei tubi:

– rilievo approfondito interno tramite laser Scan 3D, per tutta la lunghezza della condotta esistente;
– progettazione costruttiva di ciascuno degli elementi PRFV, verifica statica e studio del piano di montaggio;
– produzione dei tubi e dei pezzi speciali secondo la scannerizzazione 3D e la calibrazione della condotta per evitare situazioni tecniche non compatibili;
– controllo di qualità delle tubazioni sia allo stoccaggio e prima di ogni singolo inserimento;
– esecuzione delle fosse di inserimento;
– messa in sicurezza delle fosse tramite il sistema Lego-Block;
– pulizia a mano e idropulizia della condotta DN 1400;
– verifica fisica diretta della geometria della condotta con dima leggera in legno,
-videoispezione preliminare della condotta

6.2 Lavorazioni principali relative al relining con tubazioni PRFV:

– traslazione e posizionamento dei tubi e dei pezzi speciali;
– accoppiamento degli elementi tramite accoppiatore idraulico;
– collaudo preliminare ad aria dei manicotti di giunzione e produzione dei report di collaudo;
– assetto finale delle tubazioni tramite i distanziatori;

6.3 Al completamento del relining PRFV:

– tamponamenti delle testate e predisposizione degli sfiati;
– progettazione del piano di iniezione e studio della miscela della malta;
– getto dell'intercapedine, con le malte specifiche di riempimento;
– montaggio dei pezzi speciali in PRFV e pezzi in acciaio;
– realizzazione dei blocchi di ancoraggio della condotta;
– rimozione dei Lego-Block;
– riempimenti degli scavi lungo linea;
– prove finali di collaudo della tenuta idraulica (9 bar di pressione)

7. La modellazione BIM

L'importanza dell'opera ha determinato l'applicazione della modellazione BIM (Building Information Modeling) sia in fase di progettazione che di esecuzione. Tale aspetto è stato affrontato da Rotech realizzando la modellazione delle singole tubazioni e dei pezzi speciali e assemblandole all'interno del modello BIM secondo il progetto di montaggio effettivamente realizzato in cantiere. La modellazione è stata poi sottoposta ad una prima approvazione da parte della DL e successivamente ai tecnici esperti BIM della stazione appaltante di ENAS, secondo il PGI Piano di Gestione Informativa. Una volta terminato, ENAS avrà quindi a sua disposizione tutte le informazioni riguardanti la nuova tubazione e di ogni singolo elemento in

PRFV, oltre alla sua geometria, anche tutta la sua storia nel cantiere: produzione, installazione e dati relativi al suo collaudo.

8. Conclusioni

Essere Leader tecnologici significa rimanere sempre aggiornati, sia dal punto di vista delle lavorazioni, sia da quello del processo di progettazione.

Questo intervento in Sardegna ne è la dimostrazione, in quanto rappresenta un'opera di risanamento di grande portata per la regione con l'utilizzo di una tecnologia all'avanguardia, nonché il primo progetto di As-Built BIM relativo alle condotte di ENAS.

RESOURCE EFFICIENCY AND CIRCULAR ECONOMY

SISTEMI INNOVATIVI DI PREVENZIONE DEI RIFIUTI E GESTIONE CIRCOLARE DELLE RISORSE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Società Chimica Italiana – Divisione CABC, Associazione Rete italiana LCA – GdL Gestione e trattamento dei rif iuti**

A livello europeo quasi tutti i Paesi UE stanno portando avanti iniziative di prevenzione dei rifiuti, benché si utilizzino indicatori e target differenti che rendono difficile il confronto. Un contributo fondamentale a questo processo virtuoso può provenire anche dall'iniziativa di singole organizzazioni. Assieme alle pratiche di prevenzione, risultano determinanti, ai fini di una maggiore sostenibilità complessiva, azioni di gestione circolare di prodotti o materiali a fine vita. In quest'ottica occorre adottare adeguati strumenti di valutazione che possano evidenziare i benefici ambientali complessivi derivanti dalle soluzioni proposte. In questo seminario verranno pertanto approfonditi nuovi approcci, buone pratiche e casi studio che mostrino significativi avanzamenti nella realizzazione di prassi più sostenibili di prevenzione e gestione di residui, scarti, sottoprodotti di origine industriale o urbana.

Presidenti di sessione:
Fabrizio Passarini, Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Università di Bologna
Silvia Fiore, Politecnico di Torino
Danilo Bonato, Direttore Generale Erion

Individuazione di un set di indicatori di performance per il recupero di efficienza nella gestione integrata dei rifiuti urbani di Roma Capitale

Carmen Parente carmen.parente@comune.roma.it, Marta Giovanna Geranzani martagiovanna.geranzani@comune.roma.it, Luisa Frattini luisa.frattini@comune.roma.it (Dipartimento Ciclo dei Rifiuti, Prevenzione e Risanamento dagli Inquinamenti, Roma Capitale)

Riassunto

L'organizzazione di un sistema di gestione dei rifiuti efficace ed efficiente, che dia concreta attuazione all'economia circolare, non può prescindere dall'analisi della composizione merceologica della raccolta indifferenziata, per indirizzare le strategie utili al raggiungimento degli obiettivi di legge in materia di sostenibilità, in coerenza con le normative comunitarie, nazionali e regionali. L'attività di caratterizzazione merceologica dei rifiuti raccolti nel territorio comunale serve a determinare la qualità delle frazioni raccolte ed avviate a recupero e la quantità della materia che sfugge alla raccolta stessa, potenzialmente intercettabile, definendo, di conseguenza, l'accuratezza dell'intero processo di conferimento e raccolta dei rifiuti. Il Piano di gestione Rifiuti 2022-2030 di Roma Capitale costituisce un importante elemento di pianificazione strategica della città e pone obiettivi sfidanti in termini di raccolta differenziata. Partendo dalle analisi merceologiche condotte sui rifiuti capitolini raccolti nel 2023, il Dipartimento Ciclo dei Rifiuti, Prevenzione e Risanamento dagli Inquinamenti di Roma Capitale ha calcolato, per ciascuno dei quindici Municipi della città, indicatori di performance relativi alle frazioni organico e verde, imballaggi in vetro e materiali tessili presenti nell'indifferenziato; tali indicatori hanno permesso di circoscrivere i Municipi più critici. Lo studio definisce, poi, il recupero di efficienza possibile del sistema, per individuare quali sono i margini di miglioramento della raccolta differenziata e quali azioni, concrete e puntuali, operare nei Municipi individuati, portando la città verso l'attuazione di un sistema di circolarità dei rifiuti altamente performante. Considerando la produzione di rifiuti urbani di Roma Capitale per il 2022, pari a circa 1.600.000 t, il recupero di efficienza comporterebbe lo spostamento di materia dalla raccolta indifferenziata al corretto destino di oltre 93.000 t, con un incremento della raccolta differenziata di oltre 10 punti percentuali.

Summary

The organisation of an effective and efficient waste management system, which gives concrete implementation to the circular economy, cannot disregard the analysis of the product composition of undifferentiated waste collection, in order to direct the strategies useful to achieve the legal objectives of sustainability, in accordance with EU, national and regional regulations. The activity of product characterisation of the waste collected in the municipal territory determines the quality of the fractions collected and sent to recovery and the quantity of material that escapes collection itself, which can potentially be intercepted, consequently defining the accuracy of the

entire process of waste delivery and collection. The "Piano di gestione dei Rifiuti 2022-2030" of Roma Capitale is an important element of the city's strategic planning and sets challenging targets in terms of differentiated waste collection to allow a unified governance of waste on the territory. Based on the analysis of urban waste collected in 2023, the "Dipartimento Ciclo dei Rifiuti, Prevenzione e Risanamento dagli Inquinamenti" of Roma Capitale has calculated performance indicators for each of the city's fifteen Municipalities, relating to the organic and green fraction, glass packaging and textile materials in the undifferentiated waste stream; these indicators represent the potential efficiency recovery of the collection system and circumscribe the most critical Municipalities. This study defines, therefore, the margins for improvement in separate waste collection and what concrete and punctual actions should be taken in the identified Municipalities, leading the city towards the implementation of a highly performing waste circularity system. Considering the urban waste production of Roma Capitale for 2022, equal to approximately 1,600,000 t, the recovery of efficiency would entail moving 93,000 t of material from undifferentiated waste collection to the correct destination, with an increase in separate waste collection of over 10 percentage points.

1. Introduzione

La città di Roma, con una superficie di 1.287 km², è la seconda città d'Europa per estensione dopo la Grande Londra, ed è equivalente alla somma di 8 città italiane (Milano, Bologna, Torino, Genova, Napoli, Palermo, Catania e Firenze); inoltre, è il comune europeo con la maggiore presenza di aree verdi. La popolazione di oltre 2.800.000 abitanti la rende la più grande città italiana e, al fine di adeguare l'azione amministrativa dell'ente alle esigenze del decentramento, il territorio di Roma Capitale è articolato in quindici Municipi.
La produzione dei rifiuti per l'anno 2023 si è attestata a 1.598.752 t, di cui 744.065 t raccolte in modo differenziato, pari al 46,54% dei rifiuti prodotti. Il servizio di raccolta rifiuti urbani di Roma Capitale adotta il modello di raccolta a 5 frazioni merceologiche, così distinte: Raccolta Differenziata (RD), composta da rifiuto biodegradabile di cucine e mense (organico e verde – EER 20 01 08), imballaggi in materiali misti (plastica e metallo – EER 15 01 06), imballaggi in carta e cartone/frazione cellulosica (EER 15 01 01/20 01 01), imballaggi in vetro (EER 15 01 07), e Raccolta Indifferenziata (RUInd): rifiuti urbani non differenziati (EER 20 03 01). I rifiuti urbani sono intercettati sia tramite dotazioni stradali (STR), sia con la raccolta porta a porta (PaP), che raggiunge quasi un milione di residenti della Capitale; ogni Municipio della città ha zone servite con questa modalità, in relazione alle caratteristiche urbanistiche e alla densità abitativa [1].

2. Piano di Gestione dei Rifiuti 2022-2030 di Roma Capitale

In considerazione dell'esigenza di pianificare la gestione dei rifiuti urbani per raggiungere gli obiettivi europei, è stato redatto e adottato il Piano di gestione Rifiuti 2022-2030 di Roma Capitale (PGR-RC), redatto ai sensi dell'art. 13 del D.L. 50/22, nel quale si prospettano sfidanti obiettivi di raccolta differenziata per il periodo 2023-2030 e si prevede la contrazione della produzione dei rifiuti al 2030 per raggiungere 1.550.000 tonnellate, con un obiettivo di RD pari al 65%. Il PGR-RC indica che il sistema di gestione dei rifiuti ha la possibilità di elevare la raccolta differenziata per numerose frazioni merceologiche identificando i maggiori potenziali intercettabili ovvero la frazione organica (incluso il verde), gli imballaggi in vetro e i materiali tessili, con il confronto tra i valori di intercettazione che Roma ha raggiunto nel 2019 e i valori di riferimento nei casi in cui la RD (su scala regionale) raggiunga il 72,5% [2]; di seguito si riporta in Tab. 1 la Tabella n. 6.3.3 del PGR-RC:

Tabella 6.3.3	Intercettazione per RD (%) Dati 2019	Valori di riferimento
Carta & Cartone	60	60 – 65
Plastica	32	37 – 63
Tessile	10	17
Vetro	59	90 – 93
Legno	41	85 – 94
Ferrosi	28	80
Lattine non ferrosi	13	15
Verde	70	90- 97
Organico	46	72 - 84
Ingombranti	59	–
RAEE		
Inerti	65	90

Tab. 1 – *Valori di intercettazione RC al 2019 e Valori di riferimento con RD al 72,5%.*

3. Definizione di un set di indicatori di performance

Per ottimizzare la gestione integrata dei rifiuti urbani di Roma Capitale, è stato elaborato un progetto dettagliato di interventi che, partendo dalle frazioni sopra delineate, individuasse i territori da coinvolgere e quantificasse i possibili obiettivi in termini di recupero di materia. Al fine di ottenere tale risultato è stato definito un set di indicatori di performance per ogni Municipio di Roma Capitale, utilizzando i dati della campagna di analisi merceologiche del 2023, condotta da AMA S.p.A., soggetto affidatario del servizio. L'attività di caratterizzazione merceologica dei rifiuti urbani permette di analizzare sia l'intercettato, in qualità e quantità, che l'intercettabile, ossia la quantità residuale di rifiuti recuperabili ancora presenti in RUInd. Nel corso dell'anno 2023, sono state eseguite complessivamente 612 analisi merceologiche [3] dalle quali si è estrapolato (Tab. 2), per le frazioni merceologiche oggetto dello studio – la frazione organica (incluso il verde), gli imballaggi in vetro e i materiali tessili – il valore intercettabile; tale valore, sottratto all'errato destino e sommato all'intercettato, permette di ottenere un valore totale della RD sul bacino Roma del 64,14 %, molto vicino a quanto prospettato nel PGR-RC, postulando di poter intercettare il 100% della materia dispersa nell'indifferenziato[1]:

RIFIUTI URBANI RC - RECUPERO MATERIA	INTERCETTATO (anno 2022)			INTERCETTABILE (anno 2023)			TOTALE con INTERCETTABILE		
	t	%	pro-capite kg/ab	t	%	pro-capite kg/ab	t	%	pro-capite kg/ab
Produzione RU	**1.593.600,90**	100%	567				**1.593.600,90**	100%	567
RUInd	861.568,15	54,06%	306	290.121,08			571.447,07	35,86%	203
RD	**732.032,75**	**45,94%**	**260**				**1.022.153,83**	**64,14%**	**364**
Fr. ORGANICO+VERDE (EER 20 01 08/20 03 02/20 02 01)	*238.240,82*	*32,54%*	*85*	*119.120,23*	*13,83%*	*42*	*357.361,05*	*46,37%*	*142*
Fr. VETRO (EER 15 01 07)	*77.277,57*	*10,56%*	*27*	*87.996,31*	*10,21%*	*31*	*165.273,88*	*20,77%*	*64*
Fr. TESSILE (EER 20 01 10)	*6.609,24*	*0,90%*	*2*	*83.004,54*	*9,63%*	*30*	*89.613,78*	*10,53%*	*32*

Tab. 2 – *Simulazione del recupero di materia sulla % RD per Roma Capitale.*

Per aumentare l'efficacia della strategia dell'Ente, tenendo in considerazione il set di indicatori di performance per le frazioni organico (incluso verde) e gli imballaggi in vetro, si è proceduto ad individuare cinque Municipi con i valori più critici ovvero Mun. XI, Mun. XII, Mun. XIII, Mun. XIV, Mun. XV.

[1] Occorre precisare che i dati relativi all'intercettato sono del 2022 perché al momento di elaborazione dello studio non erano ancora disponibili i consuntivi per l'anno 2023.

4. Recupero di efficienza su 5 Municipi di Roma Capitale

Definiti i Municipi su cui agire, si è proceduto con il calcolo del Recupero Efficienza perseguibile (RE) in termini di materia, rispettivamente per la raccolta STR e PaP.

Partendo dai dati sulle frazioni intercettabili nei Municipi più critici e postulando, in questo caso, di riuscire ad intercettare le percentuali minime dei valori di riferimento con RD al 72,5% (tabella 1), sono stati ottenuti i risultati in termini di RE rappresentati in percentuale (%), nella tabella 3 per la raccolta STR e in tabella 4 per la raccolta PaP, e, in peso, nella tabella 5 per la raccolta STR e in tabella 6 per la raccolta PaP:

EER 20 03 01	Recupero efficienza in % - Valori STR						
	Organico+ Verde	*Organico da cucina*	*Verde comp*	*Vetro*	*Tessili*	*Totale*	*%Ab. serviti con STR*
Mun. XI	12,32%	11,02%	1,31%	11,40%	1,24%	24,97%	83%
Mun. XII	11,78%	11,78%	0,00%	9,93%	1,61%	23,32%	88%
Mun. XIII	14,27%	12,12%	2,15%	11,85%	2,14%	28,26%	75%
Mun. XIV	12,25%	7,86%	4,38%	10,94%	2,38%	25,57%	66%
Mun. XV	20,97%	9,63%	11,34%	7,06%	1,86%	29,89%	71%

Tab. 3 – *Recupero efficienza in %, raccolta STR*

EER 20 03 01	Recupero efficienza in % - Valori PaP						
	Organico+ Verde	*Organico da cucina*	*Verde comp*	*Vetro*	*Tessili*	*Totale*	*%Ab. serviti con PAP*
Mun. XI	14,68%	10,55%	4,13%	9,10%	1,18%	24,95%	17%
Mun. XII	19,81%	6,93%	12,89%	5,61%	1,50%	26,92%	12%
Mun. XIII	18,19%	6,48%	11,71%	9,57%	0,60%	28,36%	25%
Mun. XIV	11,90%	7,70%	4,20%	5,36%	1,27%	18,52%	34%
Mun. XV	18,49%	6,96%	11,53%	10,90%	1,54%	30,93%	29%

Tab. 4 – *Recupero efficienza in %, raccolta PAP*

EER 20 03 01		Recupero efficienza in t - Valori STR							
	Totale Abitanti	*Abitanti serviti da STR*	*RUINd*	*Organico+ Verde*	*Organico da cucina*	*Verde comp*	*Vetro*	*Tessili*	*Totale*
Mun. XI	152.569	126.632	38.749,47	6.490,54	5.928,67	561,87	4.909,56	2.836,46	**14.236,56**
Mun. XII	140.337	123.497	37.789,95	6.182,44	6.182,44	0,00	4.168,23	3.578,71	**13.929,37**
Mun. XIII	130.379	97.784	29.921,98	5.751,00	5.035,87	715,14	3.940,72	3.770,17	**13.461,90**
Mun. XIV	190.283	125.587	38.429,55	6.068,03	4.196,51	1.871,52	4.673,03	5.387,82	**16.128,88**
Mun. XV	160.630	114.047	34.898,47	9.066,62	4.669,42	4.397,21	2.736,04	3.814,40	**15.617,07**
Totale	**774.198**	**587.547**	**179.789,43**	**33.558,63**	**26.012,90**	**7.545,73**	**20.427,59**	**19.387,57**	**73.373,78**

Tab. 5 – *Recupero efficienza in peso, raccolta STR*

EER 20 03 01		Recupero efficienza in t - Valori PaP							
	Totale Abitanti	*Abitanti serviti da PAP*	*RUINd*	*Organico+ Verde*	*Organico da cucina*	*Verde comp*	*Vetro*	*Tessili*	*Totale*
Mun. XI	152.569	25.937	7.936,64	1.527,01	1.162,72	364,29	802,39	549,22	**2.878,62**
Mun. XII	140.337	16.840	5.153,17	1.233,67	495,74	737,93	321,04	453,48	**2.008,19**
Mun. XIII	130.379	32.595	9.973,99	2.195,28	897,66	1.297,62	1.060,24	352,08	**3.607,59**
Mun. XIV	190.283	64.696	19.797,04	3.040,83	2.116,30	924,52	1.177,92	1.478,84	**5.697,59**
Mun. XV	160.630	46.583	14.254,31	3.204,37	1.378,39	1.825,98	1.726,20	1.291,44	**6.222,00**
Totale	**774.198**	**186.651**	**57.115,16**	**11.201,15**	**6.050,81**	**5.150,34**	**5.087,79**	**4.125,06**	**20.414,00**

Tab. 6 – *Recupero efficienza in peso, raccolta PAP*

Limitando l'azione ai soli cinque Municipi oggetto degli interventi, si è giunti a quantificare il Recupero Efficienza con un valore pari a 93.787,78 t, che permetterebbe di raggiungere un valore di RD sul bacino Roma del 56,83% (tabella 7):

RIFIUTI URBANI RC - RECUPERO EFFICIENZA	t	%	pro-capite kg/ab
Produzione RU	1.593.600,90	100%	567
RUInd	861.568,15	54,06%	306
RD	732.032,75	45,94%	260
Recupero Efficienza sui 5 Municipi (RE)	**93.787,78**	**10,89%**	
RUInd aggiornato con RE	767.780,37	43,17%	273
RD aggiornato con RE	825.820,53	56,83%	294

Tab. 7 – *Simulazione del Recupero Efficienza sulla % RD.*

5. Conclusioni

Sulla base dei dati ottenuti e con l'obiettivo di migliorare la qualità di vita dell'intera città capitolina coinvolgendo direttamente il city user, Roma Capitale ha deciso di perseguire, in via prioritaria nei territori dei citati Municipi, le seguenti azioni:
– studio del servizio di raccolta PaP e successiva riorganizzazione, in accordo con le peculiarità territoriali di Roma Capitale;
– incremento e completamento delle postazioni stradali di raccolta dei rifiuti, con particolare riferimento alle dotazioni per la raccolta dell'organico e degli imballaggi in vetro;
– diminuzione del numero delle dotazioni per la raccolta della frazione indifferenziata, in base ad un'attenta mappatura territoriale di richiesta di servizio;
– organizzazione di un nuovo modello di raccolta dei materiali tessili con, ad esempio, campagne mirate e giornate dedicate;
– implementazione di nuove modalità di raccolta sostitutive e/o integrabili con le esistenti;
– campagne di *nudgind* per aumentare la sensibilizzazione e la consapevolezza dell'utenza circa la produzione del rifiuto, contribuendo a modificarne i comportamenti per prevenirli e ridurne le quantità.
Il presente studio evidenzia che gli obiettivi di recupero di efficienza in una realtà complessa come quella della Capitale possono essere perseguiti con politiche e interventi mirati e circoscritti, sia in termini di frazioni merceologiche coinvolte, sia in termini territoriali. La città è stata ricondotta a sistemi semplificati, dove gli interventi divengono più attuabili e misurabili. Il monitoraggio del set di indicatori di performance dei cinque Municipi consentirà di valutare l'andamento degli interventi che verranno messi in campo.

Bibliografia

[1] Contratto di servizio tra Roma Capitale ed AMA S.p.A. per la gestione dei rifiuti urbani valevole per gli anni 2024-2025, approvato con Deliberazione di Giunta Capitolina n. 82 del 21 marzo 2024.
[2] Piano di Gestione dei Rifiuti Roma Capitale (PGRRC), approvato con Ordinanza del Commissario Straordinario di Governo per il Giubileo della Chiesa Cattolica n. 7 del 01 dicembre 2022.
[3] Relazione Analisi Merceologiche Rifiuti Raccolti da AMA S.p.A. (Anno 2023).

Nitrogen recovery from municipal sewage sludge

Paul Stopp p.stopp@biorestec.de, Jakub Krajewski
BIORESTEC GmbH, Laatzen (Germany)

Summary
A semi-technical test plant was operated for sequential nitrogen recovery from the vapours produced during sewage sludge drying. The innovative essence was the arrangement of several vapour extractors for the production of condensates with different ammonium contents, which can be treated or recycled as individually required. As a result, concentrations of up to 40 g NH4-N/L were achieved in the first extractor. Subsequent rectification increased the content to 149 g/L. This results in a highly concentrated ammonia solution that can be removed from the municipal wastewater treatment cycle and used, for example, for the production of fertiliser production or for flue gas cleaning. With partial drying from around 25 to 45 % dry residue, a total of 80 % of the original ammonium load could be transferred to the vapours.

Riassunto
È stato messo in funzione un impianto di prova semi-tecnico per il recupero sequenziale dell›azoto dai vapori prodotti durante l›essiccazione dei fanghi di depurazione. L›essenza innovativa è stata la disposizione di diversi estrattori di vapore per la produzione di condensati con diversi contenuti di ammonio, che possono essere trattati o riciclati a seconda delle esigenze. Di conseguenza, nel primo estrattore sono state raggiunte concentrazioni fino a 40 g NH4-N/L. La successiva rettifica ha aumentato il contenuto fino a 149 g/L. Si ottiene così una soluzione di ammoniaca altamente concentrata che può essere rimossa dal ciclo di trattamento delle acque reflue municipali e utilizzata, ad esempio, per la produzione di fertilizzanti o per la depurazione dei gas di scarico. Con un›essiccazione parziale da circa il 25 al 45% di residuo secco, è stato possibile trasferire ai vapori un totale dell›80% del carico di ammonio originale.

1. Introduction

The recovery of nitrogen from wastewater and waste streams is becoming increasingly important considering scarce energy resources and the growing demand for alternative and renewable energy sources [1], [2], [3]. Current processes are still either aimed at eliminating the nitrogen, whereby it is usually converted into its elemental form and emitted into the atmosphere, or it is recovered using sulphuric acid, which on the one hand limits the utilisation possibilities and on the other hand is associated with a high consumption of operating materials. The recovery of nitrogen as a highly concentrated ammonia solution, however, has great potential to contribute to the more considerate use of resources and the development of renewable energy sources. For example, savings can be made in the energy-intensive production of ammonia using the Haber-Bosch process, which is particularly important for the production of fertilisers and therefore for the food supply.
In the context of agricultural substrates (fermentation residues, liquid manure), sequential evaporation is a technology for nitrogen recovery in the form of a highly concentrated ammo-

nia solution, which has already been successfully demonstrated on both a semi-industrial and industrial scale [4]. The principle is based on the lower boiling temperature of ammonium compared to water.
In previous studies, ammonia concentrations of up to 5 % were achieved in the condensate, where a total of > 95 % ammonia nitrogen was removed from the initial substrate. With post-treatment by means of rectification, the concentration was increased to up to 25 % NH_3.
In this study, the applicability of sequential nitrogen recovery was investigated on digested sludge of a municipal sewage treatment plant. An essential difference compared to digestate or slurry, which were investigated in previous BIORSTEC projects, was the significantly higher dry matter content (DM) (approx. 25 % compared to 4 – 6 % DM), so that the process was implemented in a screw dryer.

2. Paper

This study presents the results from the operation of a semi-industrial test plant for sewage sludge drying with sequential nitrogen recovery. The screw dryer was operated as part of the research project SATELLITE (FKZ 02WPR1546H) on the site of a sewage treatment plant in Hildesheim, Germany. The following section starts with a description of the test plant and the substrate used. The nitrogen concentrations resulting from the drying process and the subsequent rectification are then presented. Finally, the study contains an upscaling for a large-scale plant based on the test results.

2.1 Materials & Methods

The dewatered sludge was dried in a double-walled screw dryer with a heating capacity of 40 kW, a length of 6.090 mm and a diameter of 250 mm. Heating was provided be thermal oil. Conductivity in the condensates was measured by JUMO digiLine Ci, the flow of condensate was measured by analogue water meters. The hopper was fed manually. A schematic diagram of the plant is shown in Fig. 1.

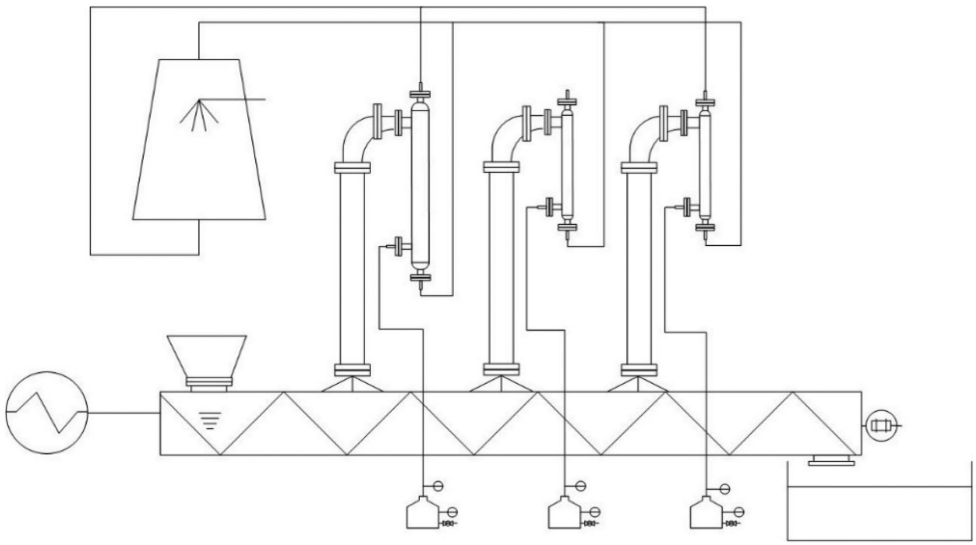


Fig. 1 – *Schematic diagram of the semi-industrial test plant for sewage sludge drying with sequential nitrogen recovery*

		Mean	Min	Max
DM	**% OS**	28	25	35
NH4-N	**mg/l**	4.530	1.440	7.350
Total N	**mg/l**	13.030	9.950	19.200

Tab. 1 – *Input characteristics of the investigated dewatered sewage sludge*

To reach a state of equilibrium, the screw dryer was continuously fed with dewatered sewage sludge until a regular discharge was achieved. After a throughput of around 100 kg, continuous operation was realised. The characterisation of the dewatered sludge over the entire test period is summarised in Tab. 1.
With regard to the input properties, there are high fluctuations in both the DM and the nitrogen concentrations, which can be attributed to three possible causes. Firstly, a new digester was put into operation at the sewage treatment plant, whereby experience has shown that a corresponding biocenosis can be expected to set in for several months and the resulting digested sludge is therefore subject to corresponding fluctuations. In addition, operational problems in the sludge dewatering process were also observed on several test days, resulting in the discharge of almost not dewatered sludge onto the storage site. As a high proportion of the NH4-N content is transferred to the liquid phase during dewatering in normal operation, the incorrect operation of the centrifuges resulted in a correspondingly higher input of ammonium nitrogen into the sludge being analysed. Another reason for the fluctuations can be explained by the fact that, due to the poor accessibility to the freshly discharged sludge caused by the operation, substrate was generally used, which collected at the edge of the sludge storage area and could therefore be subject to corresponding weather-related influences.

2.2 Results
Tab. 2 summarises the operating settings of the test facility. Series of tests were carried out with different drying temperatures (110°C – 160°C). The resulting NH4-N concentrations from the respective vapour extractions over the entire test period are shown in Fig. 2.
In accordance with the assumption that the highest ammonium concentration occurs at the beginning of the drying process immediately after the substrate feed and that the content decreases over the length of the dryer, the highest concentrations were generally achieved in the first pass. The range of values varied between 7.1 and 40.0 g NH4-N/L depending on the input quality and operating settings. On average, around 50 % of the original ammonium load was transferred to the vapours of the first extractor.
The range of the NH4-N concentration after the second extractor was between 4.7 and 15.7 g/L, meaning that the content has already been significantly reduced compared to the previous discharge. On average, this vapour fraction still contained around 17 % of the original NH4-N load of the input.

		Mean	Min	Max
Temperature	°C		110	160
Rotations	**min^{-1}**		0,1	0,2
Flow rate	**kg/h**	10,7	7,0	13,9

Tab. 2 – *Operational settings of the semi-technical test facility*

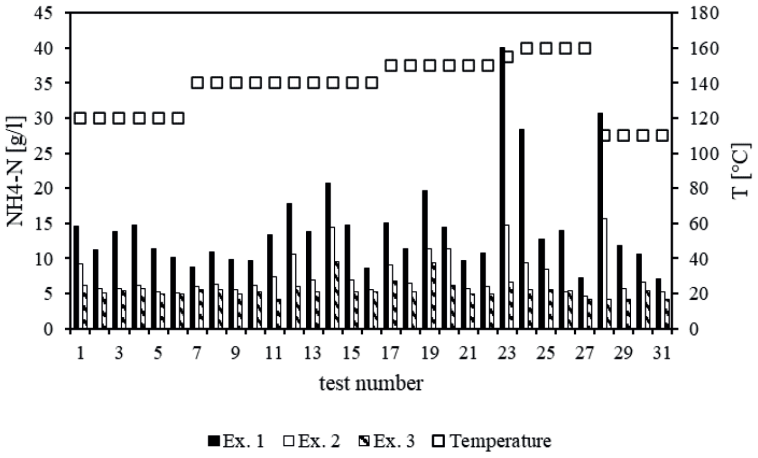


Fig. 2 – *Resulting NH4-N concentrations in the condensate after drying*

A further reduction in the ammonium concentration can be observed for the third extractor, with values between 4.2 – 9.4 g/L being achieved here. In relation to the input quantity, the ammonium content corresponded to around 6 % of the original load.
For the dried sludge, an average DM of 44 % was achieved, while the NH4-N concentrations fluctuated in a range between 0.6 – 7.2 g/l depending on the nature of the initial material.
With regard to the drying temperature set in each case, Fig. 2 also shows an increase in the ammonium concentration for the extractor as the temperature rises. The concentration of 30.7 g NH4-N/l on day 31 is not considered representative, as this value immediately followed a restart after an interruption to carry out maintenance work and the plant was therefore not in a state of equilibrium. With an operating setting of T = 110 °C, an average content of 9.5 g NH4-N/l was achieved. In comparison, a steady increase in NH4-N concentrations up to 15.5 g/l at T = 160 °C can be observed for the mean values of the respective drying temperatures. However, this test setting falls within the period of the previously described operational disruption due to the accumulation of sludge below the first vapour discharge, so that even higher concentrations can be expected. The correlation of increased N recovery with increasing operating temperature was also observed in comparable studies in the context of thermal treatment of sludge [5], [6].
To increase the ammonium content, the highly concentrated condensates from the drying process were collected and then fed into a rectification column. The resulting ammonium concentrations in the input as well as the top and sump product can be seen in Fig. 3. The initial content of 13.2 g NH4-N/l was increased to up to 149.0 g/l in the final product. A concentration of 1.4 g/l resulted in the bottom product, which corresponds to a further removal of > 90 %.

2.3 Upscale
The evaluation of the tests has shown that when drying from 25 to around 35 % DM, around 60 % of the ammonium nitrogen in the vapours can be recovered (Fig. 4). Against this background, a case study was developed that enables nitrogen removal and concentration as an upstream unit before the actual drying process for a sewage treatment plant with a capacity of 240,000 population equivalent. The thermal sludge treatment is planned for a capacity of 95,000 t sludge per year including external quantities. The upstream pre-treatment also offers the advantage of simple integration into existing systems.

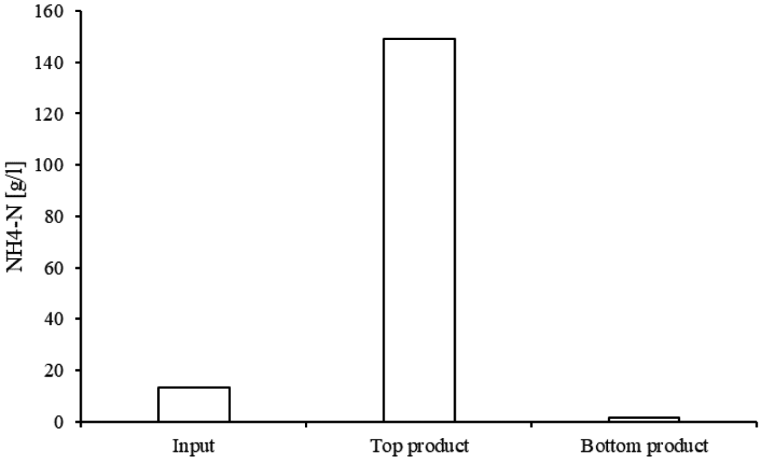


Fig. 3 – *Concentration of nitrogen after rectification process*

Fig. 5 shows a schematic representation of the concept with the respective material flows. The mechanically dewatered sewage sludge is first fed into a partial drying process and only transferred to the full drying process at a DM of 32 %. During partial drying, a vapour stream of 14,800 t/a and a NH4-N content of around 10 g/l is produced, which is further concentrated in a downstream rectification process. The ammonia water produced can be used for operational purposes (e.g. flue gas cleaning after sewage sludge incineration) or marketed in fertiliser production or the chemical industry. The effluent from rectification (bottom product) is biologically treated together with the vapours produced during full drying, which are significantly reduced in nitrogen due to the previous partial drying.

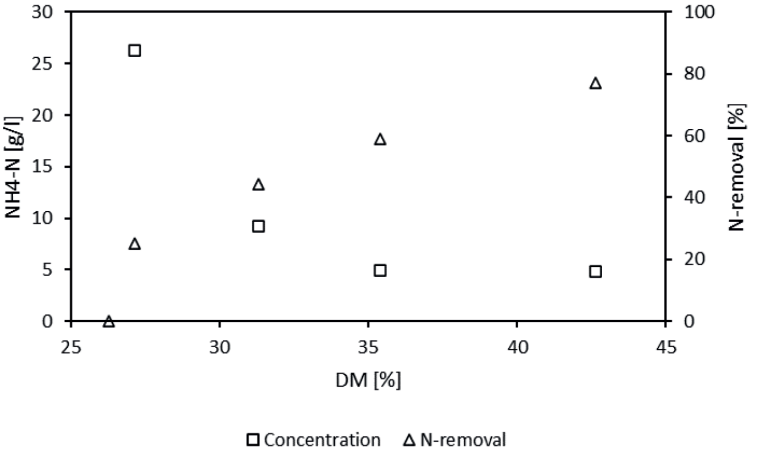


Fig. 4 – *Nitrogen removal during drying process*

3. Conclusions

The semi-technical tests for sewage sludge drying with sequential nitrogen recovery can make a significant contribution to reducing the operating costs of municipal sewage treatment plants. The aeration of the aeration tanks for biological treatment represents a

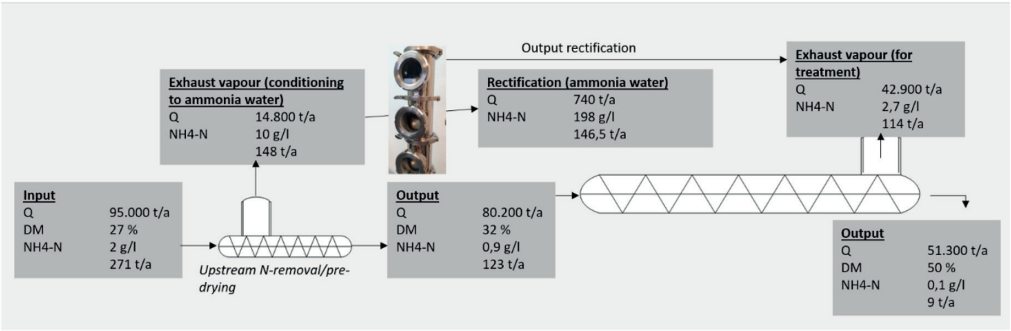


Fig. 5 – *Calculated material flows for a treatment plant with a capacity of 95,000 t/a*

significant consumer of electrical energy, so that the reduction of the nitrogen load in the vapours can significantly reduce the load. Calculations as part of an upscaling for thermal sewage sludge treatment with a volume of 95,000 t/a resulted in a reduction in the nitrogen load of 57 %. Further treatment of the vapours using rectification can produce a highly concentrated ammonia solution, which can be used, for example, for flue gas cleaning in thermal sewage sludge treatment or for the production of fertilisers. By substituting synthetically produced ammonia using the Haber-Bosch process, a relevant contribution can be made to reduce energy consumption and the associated CO2 emissions. The fractional evaporation process has already been successfully demonstrated for volume reduction and nitrogen removal from agricultural substrates such as fermentation residues and liquid manure. In this study, the suitability of nitrogen fractionation was also demonstrated for material flows from the municipal sector with a significantly higher solids content, meaning that the technology is suitable for all nitrogen-containing sludges.

Bibliography

[1] **Beckinghausen et al.** From removal to recovery: An evaluation of nitrogen recovery techniques from wastewater, Applied Energy 263 (2020)

[2] **Deng et al.** Recovery and applications of ammoniacal nitrogen from nitrogen-loaded residual streams: A review, Journal of Environmental Management 295 (2021)

[3] **Aziz et al.** Ammonia as Effective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization, Energies 2020, 13, 3062

[4] **BMBF.** KompaGG-N – Komplettaufbereitung von Gülle und Gärresten, Verfahrensentwicklung unter Berücksichtigung regionaler Stoffstromkonzepte für Nähr– und Schadstoffe, Projektblatt, https://www.fona.de/medien/pdf/ProjektbltterKMU-i_2021_2.pdf, 2021

[5] **Horttanainen et al.** Nitrogen release from mechanically dewatered sewage sludge during thermal drying and potential for recovery, Journal of Cleaner Production, Volume 142, Part 4, 2017, Pages 1819-1826, ISSN 0959-6526

[6] **Deviatkin et al.** Possibilities for enhanced nitrogen recovery from digestate through thermal drying, Journal of Material Cycles and Waste Management, 20. 10.1007/s10163-017-06

U.P.S.Y. textile waste recycling and young innovators
Sottoprodotti e rifiuti tessili per la formulazione di scenari di reimpiego nella formazione

Francesca Passeri, arch.francescapasseri@gmail.com
U.P.S.Y., Confartigianato Imprese Parma, Parma

Summary
This paper goes towards a new landscape and practice in the textile waste and fashion industry transition and their evolution in educational field. The pilot case study has grown through a collaborative system in which several actors move together connecting the theme of fashion consumption to the educational field building a resilient, sustainable, inclusive approach to rise youth soft skills. Both critical analysis and craftsmanship workshop give value to a different learning methodology focused on circularity as a regenerative way to guide creativity into the theme of waste recovery and new practices with an educational goal deeply crossed to the Sustainable Development Goals of Agenda 2030.

Riassunto
Il tema trattato all'interno di questo paper costituisce un approfondimento verso nuovi scenari e buone pratiche nel territorio degli scarti tessili, della transizione del settore moda e della sua evoluzione in ambito educativo. Il caso studio oggetto della relazione è stato reso possibile grazie ad un sistema collaborativo in cui diversi attori hanno contribuito, con le proprie azioni, al compimento di un passo indispensabile verso la comprensione di confini, movimenti e luoghi, intesi come contesti di interpretazione del cambiamento anche nel settore dell'uso e consumo dei prodotti della moda, conducendo l'innovazione verso nuovi progetti resilienti, sostenibili e inclusivi. L' analisi critica e la sperimentazione hanno dato luogo allo svolgimento di pratiche di progetto la cui sostenibilità e creatività rigenerativa ha creato un ponte tra giovani, territorio locale, scuola, università, artigianato, aziende e professionisti impegnati nella moda etica, rendendo efficaci alcuni obiettivi che sono diventati i motori di un processo partecipato dove il gioco delle competenze e dei risultati è rimasto indissolubilmente intrecciato agli obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell' Agenda 2030.

1. Introduzione
La crescente espansione dei mercati globali, la velocizzazione dei processi produttivi e l'utilizzo di nuove tecnologie hanno permesso uno sviluppo economico basato su uno sfruttamento indiscriminato di risorse naturali ed umane in nome di un imperativo di crescita dei beni. Il settore del fashion design e del tessile, focus di questa analisi, si prefigura come uno dei

comparti industriali maggiormente responsabili di problematiche ambientali e sociali a livello globale. All'interno di questo report sono presentate le potenzialità di alcuni elementi indispensabili per la salvaguardia della sostenibilità circolare delle rimanenze in cui la creatività gioca un ruolo decisivo come anello di una catena di valore che partendo dall' ambiente si estende attraverso sapere e cultura fino a mettere in rilievo l'importanza dello sviluppo di nuove metodologie e idee. Sustainable design thinking, economia circolare e design for emotional durability ne diventano gli assi portanti affinché il concetto di sostenibilità rintracciata nelle rimanenze venga considerata quale risorsa di base per la sperimentazione innovativa nel campo non solo dell'artigianato e della creatività bensì dell' istruzione. Affinché l'acuta conoscenza dei resti produttivi permetta ai giovani di crescere idee operando nel rispetto dei limiti ambientali e sociali, questo paper supporta uno sviluppo strategico di sostenibilità attraverso l'idea della rinascita dei capi di moda con un approccio alla Circular Economy come punto di partenza alimentando quelle competenze trasversali la cui futura applicazione darà origine a nuove professioni o green jobs, intese in modo virtuoso come sostenibili e sociali [1]. Tra cui quella dell'artista artigiano che ha per vocazione una relazione con i contesti locali, in generale tutto quel che la sostenibilità ambientale chiede di preservare nell'esercizio delle proprie attività. Quella dell'artigianato è una sostenibilità sostenibile, nel senso che nel concreto del processo di manodopera contempla criteri di tutela dell'ambiente mentre il giovane è il canale piu' concreto per portare gli ideali di tutela ambientale dentro la praticabilità quotidiana della creazione di ricchezza, la quale passa attraverso l'esperienza organizzata in entità collettive come scuola o impresa. I giovani sono gli interpreti naturali di questa sostenibilità praticabile, il loro stile di vita ha il compito di dirigersi verso l'attenzione a evitare sprechi e pratiche che amplificano eventuali danni all'ambiente.[2].
L'informazione e l'attenzione al cambiamento di fattori che accelerano costantemente l'uso e consumo dei prodotti, conducono l'istruzione ad accrescere all'interno dei propri scenari formativi competenze trasversali utili alla sensibilizzazione delle complessità ambientali facendo in modo che le scelte comportamentali degli studenti si dirigano concretamente verso gli obiettivi dell'Agenda 2030, come ad esempio, attivare la ricircolazione dei capi in un'ottica anti-spreco o auto produrre per dare vita a valori aggiunti condivisi. L'adozione di queste nuove misure di apprendimento rende il contesto scuola un luogo aperto in cui far nascere scelte etiche e applicare in modo efficace il design for emotional durability, fenomeno basato sul concetto di trasparenza, sull'uso responsabile delle risorse e sulla costante ricerca di nuove modalità di vita, produzione e consumo, mettendo in circolo gesti antichi come quello di cucire o rammendare grazie alla manodopera, oggi intesi come rivoluzionari.[3] Il paper affronta il contesto attuale descrivendo l'esperienza d'aula come "rigenerativa" dando un volto alle proprietà positive di questa best practice riconoscendone il basso impatto ambientale e la sua validità come soluzione a l'insostenibilità del fast fashion.

2. Relazione
Nell'immaginario collettivo quando si pensa allo scarto, si possono manifestare sentimenti di repulsione associati ad un elemento di degrado e inutilità, il disordine turbando i nostri schemi, può reindirizzare i nostri atteggiamenti poiché lo scarto o i cumuli di rifiuti sono fonte d'informazione in grado di comunicare o suggerire quale tipo di merce gli individui hanno la tendenza ad utilizzare oppure a scartare. Il valore della merce rifiutata inoltre può darci indicazioni sulla situazione economica e sulle abitudini della società di riferimento in cui i consumatori tendono a procurarsi beni e dove l'intero processo che assicura la soddisfazione deve essere equilibrato da una continua produzione di nuovi valori d'uso.[4]

2.1 Il contesto

Il sistema moda produce ogni anno tonnellate di giacenze tessili o abiti inutilizzati che finiscono in discarica, nella moda il modello di sviluppo va nella direzione di un ampliamento delle potenzialità legate al riciclo e al riuso e alla ricerca di soluzioni che ne prolunghino la vita trasformando quei capi, percepiti come scarti o giunti al loro fine vita, in nuova materia con cui ricreare. Convertire le mentalità verso nuove destinazioni è un cambiamento indispensabile che si attiva anche nell'ambito delle competenze trasversali per istruire i giovani su concetti cardine quale ad esempio quello di eco-efficacia in cui bisognerebbe imitare il metabolismo efficace della natura 'dalla culla alla culla' dove il concetto di rifiuto non esiste. [5]. I rifiuti tessili giocheranno sempre più un ruolo non marginale sia nell'economia circolare sia nella vita quotidiana. Questo anche perché, grazie al riutilizzo possiamo diventare consapevoli di un processo in cui l'Italia ha un ruolo centrale nell'industria del "vestire [6]. (Fig.1). Il modello di business del settore moda è basato sull'immagine e sulla comunicazione di uno stile riconoscibile dal consumatore che è attratto dalla bellezza del prodotto piuttosto che dalla presa di coscienza del suo grado di inquinamento e dalla sua sostenibilità, infatti consumatori poco consapevoli e produttori poco responsabili collaborano alla perpetuazione del circolo vizioso della fast fashion [7]. Questo paradigma, estraneo al modello dell'economia circolare, amplifica i danni ambientali generati dal settore tessile, la sostenibilità – così come definita nel Rapporto Bruntland del 1987 – richiede un equilibrio fra il soddisfacimento delle esigenze presenti e la possibilità delle future generazioni di sopperire alle proprie promuovendo un nuovo sistema complesso che massimizza le opportunità di recupero e passa da un approccio reattivo ad un approccio anticipatorio in modo tale da evitare o ridurre la generazione di scarti e rifiuti [8]. Problematiche importanti si rilevano anche al termine della catena, nella destinazione finale degli indumenti arrivati a fine vita e nella gestione degli scarti tessili, tradotta in una generazione di rifiuti che satura discariche con abiti venduti in blocco alle ditte di smistamento e riciclo del tessile senza sistemi regolamentati di flussi in entrata. Oltre al rafforzamento di una diseguaglianza economica, questo tipo di importazione è la causa della dispersione di rifiuti tessili nell'ambiente e in discariche abusive (Atacama in Cile e città di Accra in Ghana) perciò tra gli standard applicabili e attualmente diffusi nel settore moda vi sono recenti certificazioni che mirano ad un sistema economico pensato per potersi rigenerare da solo con prodotti certificati reintegrati nell'ambiente o destinati ad essere rivalorizzati. La Camera Nazionale della Moda Italiana ha promosso nel 2012 il "Manifesto della sostenibilità per la moda italiana" organizzato per fasi della catena del valore, tra i suoi principi la necessità di proteggere sia i lavoratori da qualsiasi violazione dei loro diritti sia la scelta di materie prime in fase di lavorazione o distribuzione dei prodotti [9]. Negli ultimi anni la sostenibilità è diventata un driver di scelta prioritario per decidere cosa indossare anche fra le giovani generazioni che stanno prendendo le distanze da logiche consumistiche per abbracciare il second hand, il trend del riutilizzo spopola per alimentare una idea di personalizzazione sempre maggiore e una eco-consapevolezza seguendo gli obiettivi dell'Agenda 2030. Come ha evidenziato lo studio "The State of Fashion 2019" elaborato della società McKinsey&Company [10], nove consumatori su dieci della Gen Z ritengono che le aziende si debbano prendere la responsabilità di affrontare questioni ambientali e sociali. (Fig.2).

2.2 L'azione pilota, la scuola come palestra di soft skill

Per il suo ruolo centrale nell'istruzione dei giovani, il mondo scuola rappresenta l'ambiente privilegiato per esercitare soft skills prendendo spunto dai temi della contemporaneità. Allineare scuola e mondo del lavoro con un approccio metacognitivo guidando i giovani alla scoperta del potenziale creativo degli scarti tessili così come interrogarsi sulle possibilità creative insite nelle rimanenze è il principale obiettivo di U.P.S.Y. Unique Planet Sustanable

Young un progetto che si innesta, come altri esempi innovativi italiani che hanno intrapreso la strada verso il cambiamento, nei paradigmi di una circolarità intesa come risorsa inesauribile, sfida ambientale e specchio di abilità personali collegate all'intelligenza emotiva. La *Slow Fashion* [11]., locuzione coniata da Kate Fletcher nel 2007, si riferisce a pratiche di ideazione, produzione e consumo di moda che si pongono in alternativa ai sistemi dominanti per valorizzare l'aspetto collaborativo della produzione e delle risorse a livello locale. Il report pone l'accento sull' ultima esperienza didattica attivata Parma presso il Liceo Classico Linguistico G.D. Romagnosi dove il programma pianificato dal Consiglio docenti ha valorizzato un percorso di formazione e pratica con lezioni sui temi della moda sostenibile, social justice e inquinamento ambientale e laboratori di osservazione, conoscenza e sperimentazione della materia scartata tramite il supporto del modulo creativo-artigianale U.P.S.Y., dedicato alla creatività, all'artigianato e manodopera d' impresa con interconnessioni al sistema giovanile. Esperienze partecipate erano già state costruite con azioni pilota nel 2021 presso l'Istituto Professionale Industria e Artigianato I.P.S.I.A. Sistema Moda di Parma e la vittoria del format durante l'edizione 2022 della Settimana Europea dei Rifiuti ne ha permesso la sua ampia divulgazione all'interno del mondo dell'innovazione didattica (Didacta, Firenze,2023) come riferimento locale e regionale con il recente inserimento nel IX e X Volume Innovatori Responsabili dell'Emilia Romagna. Nel 2024, grazie alla collaborazione con il Liceo Classico G.D. Romagnosi di Parma, 40 studenti sono quindi diventati i veri protagonisti del processo di apprendimento studiato per arricchire le attività formative di competenze trasversali ed imprenditoriali, ragionando sul tema dell'impatto.

2.3 Partnership e fasi dell' esperienza di apprendimento

Organizzata con due fasi di sviluppo temporale – formativa e pratica – l'esperienza di apprendimento, oggetto dell' analisi a seguire, mobilita l'acquisizione delle abilità necessarie a promuovere le competenze culturali e sociali utili ad affrontare e risolvere una situazione-problema (inquinamento tessile) con la creazione di un prodotto finale (collezione da giacenze industriali), programmando la partecipazione di diversi attori territoriali e una presentazione pubblica da parte degli allievi ad altre classi, alla scuola, ai genitori, agli esperti e alla cittadinanza (Festival dello Sviluppo Sostenibile ASVIS 2024, ente organizzatore Università di Parma). Il modello di cooperative learning attivato dai docenti è costituito da lezioni introduttive, curate dalla realtà formativa Sow School of Wrad [12], e laboratori artigianali studiati dall' esperto d'area e professionista del life-cycle assessment e upcycling, F.Passeri, U.P.S.Y.[13], utilizzando giacenze delle aziende del distretto moda Confartigianato Imprese Parma [14].

2.4 Approccio metodologico e obiettivi

Con una visione olistica, il progetto promuove lo sviluppo da parte degli allievi di un pensiero interconnesso ampliando la motivazione personale con differenti metodologie: induttive a partire dall'osservazione, laboratoriali in cui l'intuito venga praticato e tradotto in un saper fare (learning by doing) e cooperative in cui il collaborare in gruppo o il peer tutoring diventino occasioni per creare una zona di sviluppo prossimale in cui tutti gli alunni possano accrescere le loro competenze (cooperative learning). Griglie e schede per l'osservazione sistematica e rubriche di valutazione delle competenze costituiscono il report finale di valutazione, completando il processo per restituire un'esperienza in linea con la sfida che la scuola si trova ad affrontare, ovvero innovare l'azione educativa potenziando la centralità dello studente e incrementando la collaborazione con il contesto territoriale. Le soft skills ritenute fondamentali per la crescita personale assumono una maggiore importanza collegandosi ad un mondo esterno e reale con attività orientate all'azione e basate proprio sulle competenze trasversali, *capacità che permettono al giovane di agire consapevolmente e di affrontare le sfide poste dai mo-*

delli organizzativi fra cui la **competenza imprenditoriale** che consiste invece nella capacità di pensare, gestire e sviluppare progetti che apportano valore sociale e culturale, rappresentando quindi un'opportunità per il benessere della società. Nella sezione del workshop pratico, le competenze di Educazione allo Sviluppo Sostenibile – Cooperazione, Azione, Creatività – sono intrecciate a competenze imprenditoriali, è prevista una cassetta degli attrezzi con strumenti di lettura da cui prendere spunto per la fase di riprogettazione creativa dei capi tenendo conto dei contenuti qualitativi e delle sfide presenti nei due saggi dedicati alla moda etica e circolare – "La rivoluzione comincia dal tuo armadio" di Marina Spadafora, Luisa Cioni, "I vestiti che ami vivono a lungo" di Orsola De Castro – avviando gli studenti verso la conoscenza approfondita di una moda etica e consapevole con l'obiettivo di riportare all'interno del proprio progetto autogestito e costruito per gruppi di lavoro i temi del recupero e delle abilità individuali. Attraverso l'utilizzo sia di giacenze provenienti da aziende manifatturiere sia di abiti usati, si è adottato un approccio circolare al design for emotional durability [15] e alle tecniche di upcycling [16], con obiettivi didattici che invitano a mettere in discussione le proprie abitudini legate al consumo di vestiti facendosi una idea dei processi di produzione globali e riflettendo criticamente sugli interessi del fast fashion (Tab.1). "Il ritmo con cui abbiamo prodotto finora è diventato insostenibile…Recuperare e rielaborare capi usati frena i consumi e aiuta il pianeta. Come consumatori di moda oggi abbiamo nuove, straordinarie e fantasiose possibilità, che derivano dalla pratica dell'upcycling" [17]. La progettazione del workshop prende spunto da uno dei paradigmi economici di Ellen Mac Arthur Foundation – il modello REMAKE del 2019[18] che permette più usi per un singolo utente poiché i prodotti durano più a lungo e sono utilizzati più volte (Fig.3) e si concentra su aspetti di durabilità fisica ed emozionale del prodotto disegnato. Nel caso specifico, l'uso della tecnica di upcycling utilizzata professionalmente da esperto e tutor, permette di ridisegnare l'identità e l'uso dei capi a cui talvolta viene assegnata una nuova identità e funzione. (Fig.4).

2.5 Output del workshop artigianale

Output 1: Strategic Agenda 2030: orientamento agli studenti utile per guidare la gestione innovativa degli scarti.

Output 2: Pilot cases: presentazione di casi di successo con approccio all'economia circolare.

Output 3: Textile Waste Management: conoscenza degli scarti di lavorazione e attivazione dello scambio con le imprese del territorio.

Output 4: Artcraft Training module: offrire le competenze utili per affrontare le sfide di innovazione sostenibile attraverso lo sviluppo creativo

3. Conclusioni

Non è possibile fare un progetto che funzioni in una società complessa se non si ricorre ad una pluralità di conoscenze, specialmente le conoscenze locali che, per l'ambiente, sono assolutamente fondamentali; un progetto funziona se si riesce a valorizzare l'unicità e la particolarità di ogni contesto, che non ricostruibile in assenza di coloro che vi abitano. L'economia circolare è anche la sostenibilità circolare delle opere [19]. Per creare partecipazione nel territorio su tali argomenti è essenziale rendere interessati e protagonisti i giovani oltre che avere una vision del rapporto tra uomo, ambiente e scelte di vita, fra cui "cosa indossare". Questo cambio di visione può porre l'accento sull'artigianalità, sulla cura della realizzazione, sulla creatività generando un nuovo modo di rapportarsi con lo stile, con sé stessi, con il mondo. Cambia il modo di progettare in cui uno dei punti di forza è l'aggettivo "creativo" che sottolinea una rielaborazione del prodotto e l'aumento del suo valore in infinite combinazioni e modifiche, una unicità che permette di distinguersi ma anche di essere riconosciuti come parte di una tendenza, ponendo in secondo piano la denuncia di un sistema fortemente problematico e

dando spazio alle caratteristiche e alle abitudini positive che si possono rintracciare in piccoli sistemi locali e in noi stessi. L'arte in senso proprio è caratterizzata dalla scoperta di qualcosa di nuovo in noi stessi come esseri umani e questa scoperta può derivare dalla creazione dell'opera d'arte o dal divertimento o dal risultato che se ne ricava.[20] Il principio del lifelong learning, l'apprendimento lungo tutto l'arco della vita, il valore della formazione continua e permanente sono ormai prospettive entrate a pieno titolo nel bagaglio culturale ed esperienziale delle giovani generazioni. In questo scenario, il talento è connesso nella percezione dei giovani a creatività e vocazione artistica, rendendo appunto il sapere e fare artigiano un contesto intrecciato con l'universo sperimentale, il quale evoca nell'immaginario collettivo dei giovani una gamma di aspetti che eccedono in misura considerevole il lavoro (Fig.5).
Praticare manodopera artigianale creativa non è solo una scelta professionale o un modo di lavorare, ma è per tanti giovani il modo per praticare nel quotidiano capacità creative, propensioni a pensare e fare differente, dando base materiale solida alla propensione all'innovazione originando la possibilità di praticare autonomia e apprezzare un prodotto finale in cui rispecchiare sé stessi [21]. Il tema della circolarità dei materiali unito a quello della creatività può rappresentare un importante volano di investimento per l'innovazione in cui il mondo dell'istruzione stesso può giocare un ruolo di leadership contribuendo allo sviluppo di formae mentis creative capaci di attivare idee virtuose.

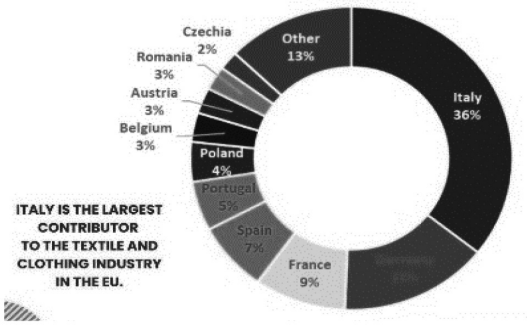


Fig. 1 – *Grafico di incidenza in percentuale dei principali paesi che producono abiti e materiale tessile, Fonte European Apparel and Textile Confederation*

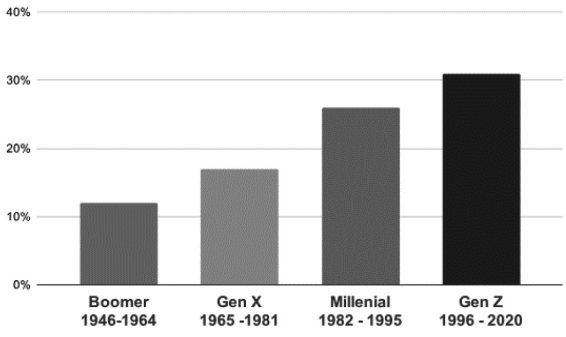


Fig. 2 – *Percentuale di consumatori disposti a pagare di più per prodotti con il minor impatto ambientale. Fonte Lifegate, 6° Osservatorio nazionale sullo stile di vita sostenibile di LifeGate*



Fig. 3 – *Uno dei 4 modelli di business circolari emersi nel 2019 Circular business models: redefining growth for a thriving fashion industry, Fonte Ellen MacArthur Foundation,2021*



Fig. 4 – *Immagine di un capo ideato all'interno del workshop U.P.S.Y. attivato durante il progetto PCTO"La Moda può essere sostenibile?"organizzato dal Liceo Classico G.D.Romagnosi di Parma, Novembre – Marzo 2024*

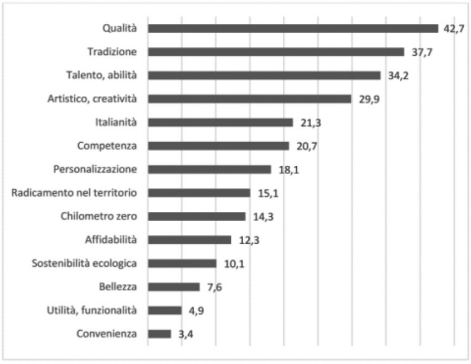


Fig. 5 – *Cosa evoca alla mente dei giovani 18-35enni l'artigianato (val. %) Il totale non è uguale a 100 perché erano possibili più risposte, Fonte Indagine Censis, 2024*

FINALITÀ	• Comprendere i significati di sostenibilità e di economia circolare, sottolineando l'importanza dell'adozione di un pensiero sistemico, e applicarli al settore moda.
OBIETTIVI SPECIFICI	• Conoscere i materiali, le sostanze chimiche e i processi utilizzati nel ciclo produttivo della moda e il loro impatto ambientale. • Conoscere i fattori di rischio per la sicurezza e la salute dei capi di abbigliamento. • Comprendere la relazione tra le filiere produttive della moda e i diritti sociali delle lavoratrici e dei lavoratori del settore. • Saper trasformare un oggetto (in particolare tessile) nell'ottica della circolarità.
ARGOMENTI TRATTATI NELLA SEZIONE FORMATIVA	• Sostenibilità e cambiamento • Social justice • Natural World (le fibre naturali) • Man Made Fiber (le fibre artificiali) • Survival kit: le certificazioni
EXPERTISE DELLA SEZIONE WORKSHOP	• Osservazione degli scarti tessili in ambito creativo • Seconda vita degli indumenti e recupero di abiti post consumer • Tecniche di fashion recycling e upcycling • Elaborazione di una scheda ideativa • Questionario di restituzione / strumento IOV • Teambuilding

Tab. 1 – *Schema delle finalità e obiettivi della unità di apprendimento realizzata a Parma*

Bibliografia

[1] **Rapporto Finale, 4° Radar artigiano Confartigianato-Censis**, *Giovani e lavoro:nuovi valori e attrattività dell'artigianato*, Roma, 25 giugno 2024

[2] **Cardarelli A., Giacomella L., Romagnoli G.,** *Una moda (in)sostenibile: equità sociale, inquinamento e responsabilità del consumatore*, Aware, Sez.1, Aprile 2021

[3] **De Castro O.,** *I vestiti che ami vivono a lungo,*Corbaccio,2021

[4] **Mary Douglas,** *"Il mondo delle cose"*, 1992

[5] **Braungart M., McDonough W.,** *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo, Torino, 2003*

[6] **EURATEX European Apparel and Textile Confederation,** https://www.rehubs.eu/
Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain – A Global Roadmap, 30 Maggio 2023, https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/sustainability-and-circularity-textile-value-chain-global-roadmap

[7] **Fashion Revolution** https://www.fashionrevolution.org/ Riconosciuta oggi come una delle organizzazioni non profit più diffusa, presente in ben 92 paesi, che si batte per cambiamenti positivi e duraturi nella moda ("Good Clothes, Fair Pay" e "Who made my fabric?") pubblica annualmente il Fashion Transparency Index, un'analisi e una classificazione dei principali marchi di moda secondo le informazioni che gli stessi forniscono sul loro impatto.

[8] **Maria Ferri L.,Massara T.,Riva M.,Rizzuto E.,Strasserra C.,** *Quaderno Italiano di Economia Circolare, realizzato* da AISEC, ALTIS e Bureau Veritas Italia, maggio 2017

[9] **Camera nazionale per la moda italiana,** *Manifesto della sostenibilità per la moda italiana,* 2012

[10] **McKinsey & Company**, *The State of fashion*, 2024

[11] **Treccani. (s.d.).** Treccani. https://www.treccani.it/enciclopedia/slow-fashion_(Lessico-del-XXI-Secolo)

[12] **Sow School of Wrad** https://www.schoolofwrad.com/ Un esempio in ambito didattico di community che vuole incoraggiare e sostenere una nuova forma di attivismo sostenibile nelle nuove generazioni attraverso la diffusione della verità attorno al tema moda e sostenibilità.

[13] **Passeri F.,** *U.P.S.Y., il pianeta giovane di Francesca Passeri,* 20 Aprile 20233, articolo rivista digitale "Dire, Fare, Insegnare" https://www.direfareinsegnare.education/didattica/u-p-s-y-il-pianeta-giovane-di-francesca-passeri/
[14] **Spirito Artigiano,** *Media La sostenibilità conviene. Su Spirito artigiano sfide e opportunità di un futuro tutto da costruire,* 25 Maggio 2024
[15] **Zavagno A., Prof. D'Itri E.** Tesi in Design for the Fashion System, *Upcycling as a design strategy to innovate fashion processes and create a local value chain with the support of digital technologies. The Offbeat District case,* Politecnico di Milano, 2021
[16] **Braungart M., McDonough W.,** *The upcycle: Beyond sustainability--designing for abundance,* Manifesto, 2013
[17] **Spadafora M., Cioni L.,** *La rivoluzione comincia dal tuo armadio,* Ed. Solferino, 2020
[18] **Ellen MacArthur Foundation,** *Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition,* Isola di Wight (UK), 2012
[19] **Profumi E.,** *L'economia circolare è anche la sostenibilità circolare delle opere*, intervista a Marianella Sclavi, Economia Circolare 16 Luglio 202,1 https://economiacircolare.com/intervista-marianella-sclavi-arte-di-ascoltare
[20] **Bateson G.,** *Questo è un gioco!,*1996,Milano, Cortina
[21] **Rapporto Finale, 4° Radar artigiano Confartigianato-Censis**, *Giovani e lavoro:nuovi valori e attrattività dell'artigianato*, Roma, 25 giugno 2024

Cinema per il Creato – Una rassegna cinematografica sull'ecologia integrale e sull'esigenza di cambiare stili di vita

Gianluca Bortolotti, bortolotti.gianluca@gmail.com referente del Circolo Laudato Si' "Sala Teatro San Giorgio" – Ingegnere, Joint Diploma in Ecologia integrale

Riassunto
Abbiamo ideato una rassegna cinematografica di documentari sui temi dell'Ecologia Integrale: Cinema per il Creato e quest'anno abbiamo programmato la terza edizione.
Non è una semplice proiezione di film-documentari. Tutte le serate della rassegna sono organizzate così: una lettura tratta dalle encicliche, un ospite che parla per 15/20 minuti sul tema della serata o sul documentario proiettato, poi la proiezione del film. Nelle scorse edizioni hanno accettato di essere nostre ospiti persone di primaria importanza e note: registi, giornalisti, professori universitari e religiosi.
Perché solo film documentari = per vedere e capire i problemi ambientali e sociali che affliggono il mondo, per questo non vogliamo fiction ma solo documenti che mostrino la realtà delle problematiche;
Perché la lettura tratta dall'enciclica = per diffondere l'Ecologia integrale;
Perché l'intervento dell'ospite = per portare la voce di figure autorevoli che si spendono per questi temi e fare rete con loro;

Summary
We have created a film festival of documentaries on the themes of Integral Ecology: Cinema for Creation and this year we have scheduled the third edition.
It is not a simple screening of documentary films. All the evenings of the festival are organized like this: a reading from the encyclicals, a guest who speaks for 15/20 minutes on the theme of the evening or on the documentary screened, then the screening of the film. In the past editions, people of primary importance and well-known have accepted to be our guests: directors, journalists, university professors and religious figures.
Why only documentary films = to see and understand the environmental and social problems that afflict the world, for this reason we do not want fiction but only documents that show the reality of the problems;
Why the reading from the encyclical = to spread Integral Ecology;
Why the intervention of the guest = to bring the voice of authoritative figures who are dedicated to these issues and network with them;

1. Introduzione

Siamo un Circolo Laudato Si' e la relativa parrocchia. Il Circolo Laudato Si' si chiama "Sala Teatro San Giorgio", Via Valsugana n. 87, 3510 San Giorgio in Bosco (PD) ed io mi onoro di esserne il referente. La parrocchia è: Parrocchia di San Giorgio Martire, Via Valsugana n. 87, 3510 San Giorgio in Bosco (PD). Facciamo parte del Movimento Laudato Si', un movimento

internazionale nato negli USA nel 2015 e riconosciuto dal Vaticano che ha come obiettivo la cura del Creato.
In particolare siamo un gruppo di 10 persone (9 membri del Circolo + il parroco) fortemente impegnati nel fare animazione territoriale sui temi dell'Ecologia Integrale partendo dai contenuti delle Encicliche di Papa Francesco. Durante l'anno facciamo diversi eventi per sensibilizzare la comunità ed il territorio sulla cura della Casa Comune e di quanti la abitano, ma in particolare ci siamo inventati una rassegna cinematografica di documentari su questi temi. L'abbiamo chiamata Cinema per il Creato e quest'anno abbiamo programmato la terza edizione.

2. Relazione
La rassegna cinematografica Cinema per il Creato, in realtà non è una semplice proiezione di film-documentari. Tutte le serate della rassegna sono organizzate così: una lettura tratta dall'Enciclica Laudato Si', un ospite che parla per 15/20 minuti sul tema della serata o sul documentario proiettato, poi la proiezione del film. Nelle scorse edizioni hanno accettato di essere nostre ospiti persone di primaria importanza e note: registi, giornalisti, professori universitari e religiosi.
Perché solo film documentari = per far vedere e far capire i problemi ambientali e sociali che affliggono il mondo, per questo non vogliamo fiction ma solo documentari che mostrino la realtà delle problematiche;
Perché la lettura tratta dall'enciclica = per diffondere l'Ecologia integrale;
Perché l'intervento dell'ospite = per portare la voce di figure autorevoli che si spendono per questi temi e fare rete con loro;
La prima edizione (2022) ha avuto titolo: Cinema per il Creato – Fig.1
La seconda edizione (2023): Cinema per il Creato presenta: "Siamo tutti fratelli" – Fig.2
La terza edizione (2024): Cinema per il Creato presenta: "Nutriamoci di bellezza e amore – energie per salvare il mondo" – Fig.3
Quest'anno abbiamo avuto l'onore di chiudere la rassegna con un videomessaggio di ringraziamento, saluto ed augurio del Cardinale Pietro Parolin, che è stato pubblicato anche da Vatican news e si può vedere all'indirizzo https://m.youtube.com/watch?v=1qlw25b5zTY
Altri eventi di animazione che realizziamo durante l'anno sono:
– Un ciclo di incontri autunnali che abbiamo chiamato "Incontri per la Casa Comune": serate in cui invitiamo una personalità a parlare di problemi socio-ambientali e in cui c'è anche un momento di confronto con il pubblico in sala
– Uno stand dell'Ecologia Integrale durante la sagra paesana: in cui realizziamo laboratori e giochi a tema per la gente che partecipa alla sagra
– Eventi simbolici durante la "settimana Laudato Si'" (l'anno scorso la piantumazione di un ulivo insieme alla comunità mussulmana del nostro paese)
– Animazione delle liturgie durante il tempo del Creato (dal 1 settembre al 4 ottobre)
– Partecipiamo come Circolo Laudato Si' al progetto "Inclusionet – Comunità Includente", finanziato con fondi TOCC del Ministero della Cultura, con lo scopo di creare una società aperta ed inclusiva partendo da laboratori culturali sui temi dell'Ecologia Integrale.
– Organizziamo incontri con gruppi per presentare l'ecologia integrale e le nostre iniziative, se richiesto.

3. Conclusioni
Crediamo fortemente nel nostro progetto di animazione territoriale sui temi dell'ecologia integrale e con le nostre attività vogliamo sensibilizzare il nostro territorio su questi temi e creare una nuova sensibilità, un nuovo attivismo e nuove reti di cittadini e associazioni che si impegnino per la salvaguardia della nostra Casa Comune. Legare la spiritualità e la convinzione che tutto è connesso alla cura dell'ambiente è una chiave innovativa e vincente per questi obiettivi.



Cinema per il Creato

Rassegna cinematografica ispirata dall'Enciclica Laudato Si' di Papa Francesco

È la prima volta che un papa affronta in modo così profondo e sistematico il problema della cura del creato ed in particolare della nostra casa comune. Questo è il segnale della grande responsabilità assegnata dal Creatore al genere umano per evitare l'avvio di un'Apocalisse accelerata.
Le importanti conferenze internazionali di quest'anno hanno dato scarsi risultati per la salvaguardia del pianeta e l'aiuto alle popolazioni più fragili.
Il grido del Papa chiede una conversione ecologica integrale e profonda. Non è un nuovo ecologismo della Chiesa Cattolica, ma l'ascolto del grido della terra, dei poveri e delle giovani e future generazioni, che chiedono di agire subito e profondamente per la salvezza di tutti e per garantire a tutti un futuro dignitoso. Papa Francesco ci chiama a **VEDERE** i problemi, a **CAPIRE** la situazione e ad **AGIRE**, ciascuno con le proprie possibilità, per porvi rimedio.

Perché?

Il cinema, la settima arte, può velocizzare un messaggio, innescare un dibattito, attrarre pubblico che non sarebbe interessato ad una semplice conferenza e, quindi, può accelerare la diffusione di una informazione. A volte attraverso la suggestione delle immagini si possono veicolare concetti molto complessi e renderli alla portata di tutti.
Ultimamente si parla tanto di ambiente attraverso i telegiornali, ma la sensazione è che la maggior parte delle persone non sappiano di cosa si sta parlando e dei rischi che corriamo, mentre chi deve prendere decisioni per l'umanità tergiversa (ormai da molti anni).
Il Papa ha avuto il coraggio della denuncia, e ha seminato nell'orto dei cristiani un seme di senape, l'Enciclica, che sta germogliando e stimolando la nascita di movimenti, di politiche e di azioni, la Piattaforma Laudato Si', la petizione "Pianeta Sano, Persone Sane" e tante altre, per ispirare non solo i cristiani, ma tutti gli uomini di buona volontà, alla conversione ecologica integrale e alla sostenibilità.
Con profonda cura l'uno dell'altro e di tutta la creazione; per costruire insieme un futuro migliore; perché siamo tutti parte dello stesso incredibile miracolo e perché nessuno si salverà da solo.

Le serate sono organizzate secondo Normativa emergenza Covid19

Cinema per il Creato - programma

presso Sala S. Giorgio, Via Sega, S. Giorgio in Bosco

04.03
La responsabilità del cattivo custode
ANTROPOCENE, L'EPOCA UMANA
Un film di Jennifer Baichwal, Edward Burtynsky, Nicholas de Pencier - 2018

11.03
Il grido della terra e il grido dei poveri
ANAMEI - LOS GUARDIANES DEL BOSQUE
Un film di Alessandro Galassi - 2021

18.03
I problemi della casa comune attraverso la vita e le opere di un testimone
IL SALE DELLA TERRA
Un film di Wim Wenders e Julien Ribero Salgado – 2014

25.03
Il grido delle giovani generazioni
I AM GRETA - UNA FORZA DELLA NATURA
Un film di Natan Grossman - 2020

01.04
Dare il proprio contributo
DOMANI
Un film di Cyril Dion e Melanie Laurent - 2015

08.04
Laudato Si', ispirare la conversione
PAPA FRANCESCO. UN UOMO DI PAROLA
Un film di Wim Wenders – 2018

INGRESSO GRATUITO INIZIO H 20.45

È gradita la prenotazione tramite la pagina Facebook "Parrocchia di San Giorgio in Bosco"

Fig. 1 – *Locandina della prima edizione (2022)*



Cinema per il Creato

presenta la rassegna 2023

Siamo tutti fratelli

Torna Cinema per il Creato, e torna con una nuova proposta: raccontare il bisogno urgente di "fratellanza" che c'è nel mondo, che Papa Francesco ha espresso nell'Enciclica Fratelli Tutti.
Questa edizione sarà quindi concentrata sul "grido dei poveri", dei fragili, delle "pietre scartate", degli abitanti delle "periferie esistenziali" e avrà come binari entro cui svolgere il nostro percorso sinodale e quaresimale, oltre all'Enciclica Laudato Si', soprattutto l'Enciclica Fratelli Tutti.
Non è possibile trattare un argomento così vasto e complesso in poche serate, quindi il nostro obiettivo è lanciare dei temi per un approfondimento personale, dare degli argomenti di riflessione, smuovere le coscienze, secondo il metodo che ci ha indicato il Papa con la Laudato Si': **VEDERE, CAPIRE, AGIRE**, ciascuno con le proprie capacità.
Nella Fratelli tutti riecheggia una domanda: in questo mondo estremamente globalizzato chi considero "il mio prossimo" e come mi comporto verso di lui: come "i briganti", come chi guarda e passa oltre, o come "il samaritano" (cfr. Lc 10, 29-35). I tragici fatti mondiali di quest'ultimo anno ci hanno mostrato l'urgenza di prendere una decisione a riguardo. Certo non tutti possiamo essere eroi, ma tutti possiamo fare qualcosa e il nostro piccolo impegno, quella piccola goccia di noi che doneremo, unita a quelle degli altri, può formare un oceano.

Solo insieme possiamo fare la differenza!

Le serate sono organizzate secondo Normativa emergenza Covid19



Fig. 2 – *Locandina della seconda edizione (2023)*



Fig. 3 – *Locandina della seconda edizione (2024)*

Bibliografia

[1] **Francesco,** *Laudato Si'. Lettera enciclica sulla cura della casa comune*, Figlie di San Paolo, 3ª edizione (2015)

[2] **Francesco,** *Querida Amazonia. Esortazione apostolica post-sinodale al Popolo di Dio e a tutte le persone di buona volontà, in appendice Documento finale del Sinodo*, Figlie di San Paolo (2020)

[3] **Francesco,** *Fratelli tutti. Lettera enciclica sulla fraternità e l'amicizia sociale*, Ancora Srl (2020)

[4] **Francesco,** *Laudate Deum. Esortazione apostolica a tutte le persone di buona volontà sulla crisi climatica*, Libreria Editrice Vaticana (2023)

Il Controllo di Gestione applicato alla Movimentazione dei Rifiuti

Luca Realdon l.realdon@masplus.digital, Matteo Brazzale
Mas Plus S.r.l., Vicenza

Riassunto
Un modello di controllo di gestione specifico per il business dei rifiuti che, utilizzando un concetto originale chiamato "linee di servizio" (LDS), organizza in modo chiaro, utile e personalizzabile i dati aziendali riguardanti le movimentazioni, ricavi e costi associati ad essi. Queste "linee di servizio" rappresentano il metodo tramite cui rifiuti provenienti da fonti diverse ma trattati allo stesso modo dal punto di vista economico possono essere aggregati per ricavare dei costi standard, utili per poter calcolare costi, guadagni e margini relativi alla movimentazione dei rifiuti.

Summary
A business management model specific for the waste sector which, through an innovative concept called "service lines" (SL), organizes in a clear, useful and customizable way the company's data regarding movements, earnings and costs of it. This "service lines" represents the method through which waste, coming from different sources but treated economically in the same way, can be aggregated to calculate the standard cost which is useful to find out earnings, costs and margins related to the waste management.

1. Introduzione
Il settore rifiuti è caratterizzato da molte PMI poco organizzate o da gruppi di aziende non omogenee e nonostante ci siano grosse quantità movimentate e buoni guadagni, essi sono difficili da tenere sotto controllo. In queste aziende i dati sono disponibili in abbondanza ma per la maggior parte non sono strutturati e organizzati.
Utilizzando i concetti della gestione di controllo aziendale [1] e le nostre conoscenze del settore abbiamo ideato un modello che si propone di organizzare questi dati tramite il concetto di "linee di servizio" e di renderli pronti per essere utilizzati per analisi di vario genere, soprattutto in ottica di economia circolare.

2. Relazione
L'integrazione del modello segue tre passi: definizione e acquisizione dei dati, l'implementazione del modello tecnico-economico di controllo nel business aziendale e la scelta del processo e tecnologia per la visualizzazione dell'output finale.

2.1 I Dati
Quali sono le informazioni di base necessarie per un sistema di controllo efficace?
Il modello si alimenta di dati generalmente prelevabili dai gestionali aziendali.
– Dal gestionale ambientale: formulari, tipicamente estratti dal gestionale ambientale; fatture attive e passive, estratte dal gestionale ambientale o amministrativo a seconda dei casi, associandole laddove possibile ai relativi formulari, dati registro ore dei mezzi.

– Dal gestionale contabile: movimenti contabili; piano dei conti riclassificato; fatture attive e passive (meglio se prese dal gestionale ambientale se le righe sono collegate ai formulari).
Questo insieme di dati viene utilizzato dal modello, che viene implementato digitalmente per una facile elaborazione, per produrre dei report in output che possono essere standard o personalizzati in base alle esigenze (Fig. 1).

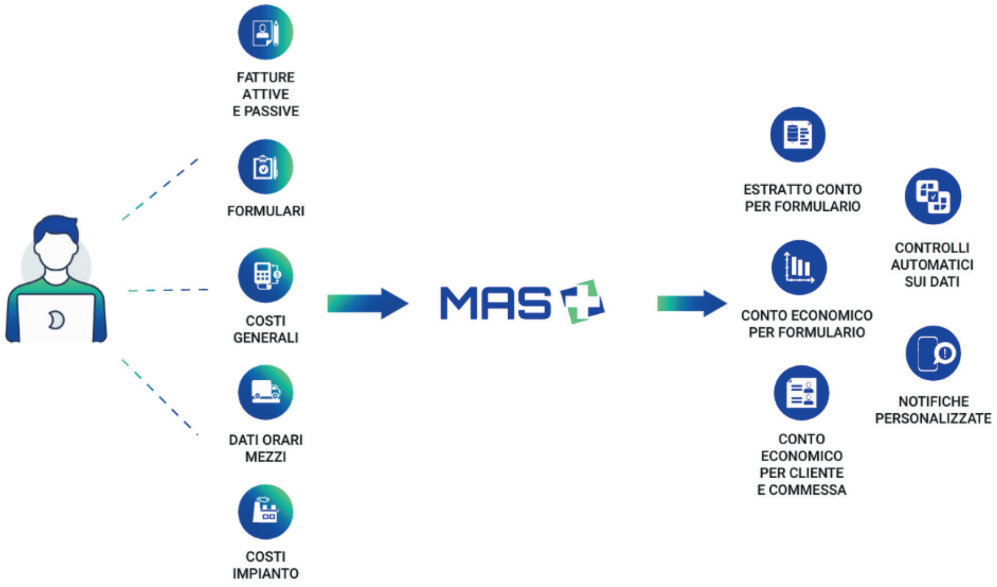


Fig. 1 – *Dati in input al modello e rispettivo output.*

2.2 Il Modello Tecnico-Economico di Controllo
Come funziona effettivamente il business dell'azienda?
I prossimi passi spiegano il processo step by step utilizzato per implementare il modello in un'azienda.
– Mappare quante e di quali autorizzazioni dispone l'azienda, con annessi impianti associati;
– Identificare le linee di servizio.
Una linea di servizio (LDS) è un gruppo di rifiuti, identificabile tramite una mappatura degli elementi dei rispettivi formulari, che ha una gestione omogenea dal punto di vista tecnico-operativo ed economico.
Da notare che NON è un concetto autorizzativo.
Un esempio:
un impianto ha una linea di selezione manuale dei rifiuti da costruzione e demolizione. Entrambi i rifiuti entrano con il codice 170904 e l'operazione R12 (selezione). Uno dei box dell'impianto è dedicato al recupero del legno. Tale box contiene il legno che viene recuperato a mano dagli operatori che selezionano il rifiuto misto. Il box però contiene anche del legno entrato in impianto con il codice 150103 e l'operazione R13 (messa a riserva).
Il legno da selezione esce con il codice 191207 (come da prescrizione autorizzativa) verso l'impianto X.
I due materiali sono diversi dal punto di vista autorizzativo ma dal punto di vista tecnico-operativo ed economico sono identici in quanto sono stoccati nella stessa area, miscelati e non più separabili in maniera esatta ed entrambi vanno a finire nello stesso impianto di uscita ed hanno la stessa valorizzazione economica.

Per quanto riguarda il modello quindi questi materiali appartengono alla stessa linea di servizio (LDS).
In generale una linea di servizio è definita come un insieme di flussi di rifiuti identificabili prendendo in considerazione uno o più parametri dei formulari.
Questi flussi definiscono una serie di materiali omogenei per trattamento tecnico-economico.
I parametri in oggetto permettono di identificare costi e ricavi diretti del formulario per il calcolo del margine del formulario e quindi, per aggregazione, della LDS.
Alcuni di questi parametri possono essere:
– ENTRATA: intermediario – produttore – trasportatore – operazione – codice CER – stato fisico
– USCITA: intermediario – produttore – destinatario – trasportatore – operazione – codice CER – stato fisico
Per configurare le linee di servizio è necessario visitare l'impianto e farsi spiegare i flussi di gestione dei rifiuti con l'aiuto dell'autorizzazione e del responsabile d'impianto.
Bisogna mappare ogni linea di servizio senza dimenticarsi nulla, ricordiamo che:
– Le linee di servizio negli impianti possono essere di sola entrata, sola uscita o di entrambe le tipologie (ambivalenti).
– Le linee di servizio di sola entrata sono quelle associabili solamente a formulari che hanno come destinatario solo l'impianto di riferimento.
– Le linee di servizio di sola uscita sono quelle associabili solamente a formulari che hanno come produttore solo l'impianto di riferimento.
– Le linee di servizio di entrata ed uscita (ambivalenti) sono quelle associabili sia a formulari che hanno come destinatario l'impianto di riferimento, che a formulari che hanno come produttore l'impianto di riferimento.

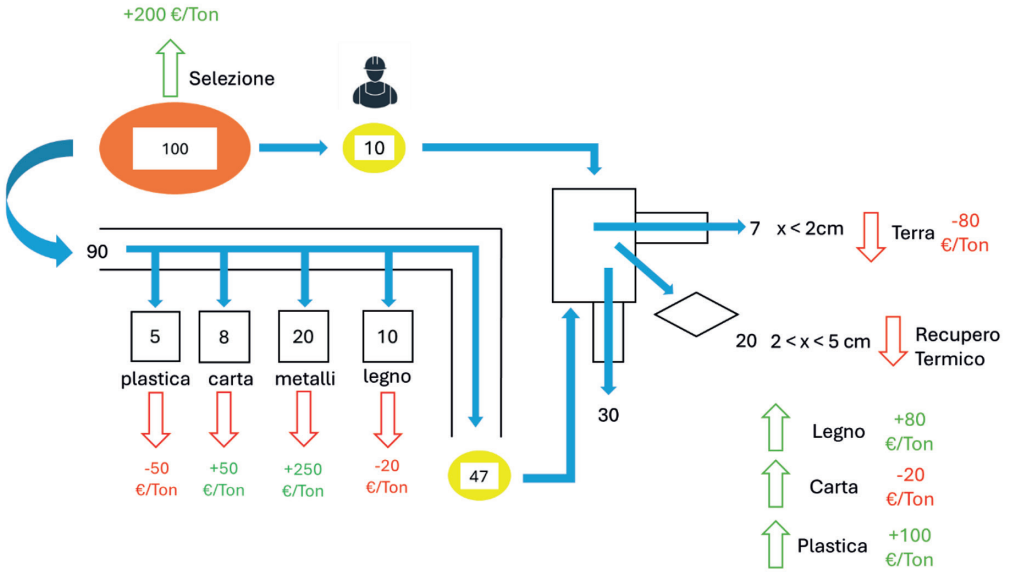


Fig. 2 – *Esempio di un impianto mappato con più linee di servizio*

In questo esempio un impianto riceve in entrata un mix di plastica, carta, metalli e legno. Le frecce in verde verso l'alto rappresentano le linee di servizio in entrata, le frecce rosse verso il basso rappresentano la stima approssimativa delle quantità (fatto 100 il totale).

Dal prospetto dell'immagine (Fig. 2) risulta quindi che le linee di servizio dell'impianto sono:
– Selezione (entrata);
– Legno (ambivalente);
– Metalli (ambivalente);
– Plastica (ambivalente);
– Carta (ambivalente);
– Terra (uscita);
– Recupero termico (uscita);
– Discarica (uscita).

Analizzando il bilancio di conto economico dell'ultimo anno disponibile, se non esistente va definito un modello di riclassifica insieme ai suoi KPI per definirlo.
Solitamente questi KPI sono il margine di ogni formulario (ricavi diretti – costi diretti di formulario), il costo STD industriale di linea/impianto e il relativo margine industriale e infine i costi generali di linea/impianto (EBITDA).
Quante e quali sono le risorse (umane e tecniche) che entrano in gioco su ogni linea è l'informazione che permette di avere il costo industriale di linea/impianto (€/Ton) e il margine industriale.
Il totale dei costi generali, non compresi nell'analisi precedente, separa il margine industriale dall'EBITDA. Questa informazione permette di avere il costo generale di linea/impianto (€/Ton).
– Definire i costi standard per linea.
Si tratta di definire due casi di diversi tipi di linee di servizio:
– Le linee di servizio ambivalenti, che sono caratterizzate dall'entrata e dall'uscita di materiale, sono le "migliori" da analizzare perché è molto facile confrontare costi e ricavi però possono diventare un rompicapo quando sono caratterizzate da una quantità differente tra ingresso e uscita, ad esempio:
un impianto ritira legno e rifiuto misto. Il rifiuto misto contiene legno. Il legno recuperato dal rifiuto misto viene stoccato insieme al legno ritirato dal cliente.
Il legno ritirato dal cliente ha dei ricavi di trasporto e smaltimento, che confluiscono nella LDS "legno". Il rifiuto misto invece ha i suoi ricavi che confluiscono nella linea di servizio "selezione". Il legno viene poi conferito ad impianti di destinazione finale, sostenendo costi di recupero e di trasporto.
In questa situazione è facile capire come la LDS legno abbia nel periodo, ad esempio, entrate per 30 ton, travasi interni dalla LDS "selezione" per 20 ton e quindi uscite totali per 50 ton. I costi sono su tutte le 50 ton uscite. I ricavi sono solo sulle 30 ton entrate. Quindi se facciamo un ricavo medio di entrata esso è sottostimato.
Per analizzare correttamente questo dato usiamo una tariffa standard che possiamo inserire manualmente nella gestione dei costi (STD). La tariffa STD di entrata sarà pari al ricavo medio di ritiro a cliente, la tariffa media di uscita sarà pari al consuntivo medio di uscita.
– Le linee di servizio di sola entrata o di sola uscita che non hanno associate nessuna fattura di costo (ma solo di ricavo) o viceversa, tramite la riga di formulario. Esse, infatti, sono le linee "peggiori" da analizzare perché hanno solo ricavi (o solo costi) ma non hanno costi (o ricavi). Sono anche quelle più importanti dal punto di vista del preventivo perché il loro prezzo genera spesso la maggior parte dei ricavi (costi) aziendali nel settore dei rifiuti.
Vediamo alcuni esempi:
– Un impianto ritira rifiuto misto (LDS di sola entrata "Selezione"). Il rifiuto misto viene separato nelle sue frazioni recuperabili ma una parte consistente va in discarica (LDS di sola uscita "Discarica").

In questa situazione è facile capire come la LDS "Selezione" abbia solo ricavi. I produttori pagano per conferire il rifiuto. D'altro canto, la LDS "Discarica" ha solo costi. L'impianto paga la discarica per conferire la frazione non recuperabile del rifiuto. Il margine generato dall'impianto è correlato al costo della discarica così come lo è il prezzo del rifiuto misto che l'impianto applica ai produttori.
– Un impianto ritira carta acquistandola dai produttori (LDS di sola entrata "carta da rifiuto"). La carta viene lavorata, trasformata in MPS (Materie prime secondarie) e venduta alle cartiere (LDS di sola uscita "Carta MPS"). In questa situazione è facile capire come la LDS "carta da rifiuto" abbia solo costi. I produttori vengono pagati per conferire il rifiuto. La LDS "carta MPS" invece ha solo ricavi. L'impianto vende la carta MPS alla cartiera.
– Per analizzare correttamente questo dato si usa una tariffa standard che possiamo inserire manualmente nella gestione dei costi (STD).
– Si può decidere se vedere l'estratto conto per formulario e il conto economico per la LDS a valori STD o consuntivi.
– Identificare i mezzi, il loro relativo costo orario o kilometrico e la relativa modalità di rendicontazione se diversa dal formulario.

2.3 Elaborazione dei Risultati
L'ultimo passo che rimane è quello di definire dei report per aggregare i dati e renderli di più facile lettura.
Un report standard ha solitamente questa forma:
– Bilancio Riclassificato;
– CE per autorizzazioni;
– CE per LDS/formulario;
– EC per formulario;
– Margini per produttore;
– Margini per intermediario;
– Margini per commerciale (il dato del commerciale va aggiunto in anagrafica, se c'è un intermediario il cliente è l'intermediario, se non c'è il cliente è il produttore);
– Quantità per LDS.
Il report standard è solo esemplificativo dei dati che più comunemente sono necessari, può essere adattato a mostrare anche altri dati in base all'esigenza.

3. Conclusioni
In conclusione, le linee di servizio (LDS) si sono rivelate uno strumento utile e funzionale per il controllo di gestione nel settore del waste management. Tramite la mappatura degli elementi in comune dei rispettivi formulari è possibile raggruppare rifiuti provenienti da diverse fonti ma con un trattamento tecnico-operativo ed economico omogeneo per poi poter analizzare costi, ricavi e margini in maniera semplice per ottimizzare il business aziendale.
Il tutto è pensato in ottica di economia sostenibile, per rendere più facile alle imprese monitorare la quantità di rifiuti che gestiscono o che producono e per facilitarne la certificazione ISO 14001.

Bibliografia
[1] **Anna Maria Arcari**, *Programmazione e Controllo, 1° gennaio 2023.*

Adozione del sistema IA nel servizio di igiene urbana–Il modello Flegrea Lavoro

Valentina Sanfelice di Bagnoli, valentinasanfelice@gmail.com
Amm. Unico Flegrea Lavoro S.p.A., Bacoli (Na)

Riassunto
Flegrea Lavoro, ha integrato un modello di Intelligenza Artificiale che consente agli utenti del servizio di raccolta di rifiuti di comunicare in maniera naturale con il front office dell'azienda, fornendo dati e informazioni in formato standardizzato in modo da risolvere tempestivamente qualsiasi problematica connessa alla raccolta dei rifiuti.
L'utilizzo della IA ha reso possibile la gestione delle segnalazioni di disservizi automatizzando ulteriormente il processo.
In buona sostanza nel momento in cui viene segnalato un disservizio dall'utente, lo stesso viene, in tempo reale, smistato direttamente all'operatore, che provvede immediatamente a risolvere il disservizio in base al luogo del disservizio e dell'operatore che opera nella zona in cui si è verificato.

Summary
Flegrea Lavoro has integrated an Artificial Intelligence model that allows waste collection service users to communicate naturally with the company's front office, providing data and information in a standardized format to promptly resplve any issues related to waste collection. The use of AI has made it possible to manage service disruption reports, further automating the process. Essentially when a disruption is reported by a user, it is immediatly routed, in a real time, to the operator, who promptlyresolves the issue based on the location of the disruption and the operator working in the affected area.

1. Introduzione

Il progetto descritto in questo documento ha come obiettivo principale l' introduzione di un sistema avanzato di intelligenza artificiale nel settore della gestione dei rifiuti. Questo sistema permette di ricevere segnalazioni da parte dei cittadini, tramite applicazioni mobili o chiamate al centralino, e di inoltrare le richieste agli operatori ecologici in tempo reale, ottimizzando le operazioni.
Il sistema creato ha utilizzato una serie di tecnologie moderne per lo sviluppo delle varie componenti. Il backend del sistema è stato sviluppato utilizzando PHP e MySQL per la gestione dei dati, con API REST basate su JSON per la comunicazione tra moduli. Il frontend, compresa la dashboard, è stato costruito utilizzando JavaScript, con framework come Laravel e HTML5. Python è stato utilizzato per l' integrazione delle funzionalità di intelligenza artificiale, consentendo una gestione avanzata delle interazioni vocali e testuali. Il sistema di intelligenza artificiale (AI) adottato si basa su modelli avanzati di elaborazione del linguaggio naturale, in particolare ChatGPT, che consente di interpretare le richieste degli utenti tramite interazioni vocali e testuali. Il componente di Speech-to-Text utilizza algoritmi di riconoscimento vocale ad alte prestazioni, permettendo una trascrizione accurata delle segnalazioni

ricevute tramite chiamata. Questa funzionalità è supportata da modelli di deep learning che apprendono continuamente dai dati forniti, migliorando nel tempo la precisione della trascrizione. Parallelamente, la tecnologia Text-to-Speech implementata consente di restituire risposte vocali naturali, generando una conversazione fluida con l' utente. L'AI non si limita a trascrivere e rispondere alle segnalazioni, ma è anche in grado di analizzare e classificare i disservizi, indirizzando automaticamente le richieste agli operatori ecologici più adatti in base alla loro disponibilità e posizione geografica.

2. Applicazione pratica del sistema IA

Il sistema di intelligenza artificiale (AI) adottato si basa su modelli avanzati di elaborazione del linguaggio naturale, in particolare ChatGPT, che consente di interpretare le richieste degli utenti tramite interazioni vocali e testuali. Il componente di Speech-to-Text utilizza algoritmi di riconoscimento vocale ad alte prestazioni, permettendo una trascrizione accurata delle segnalazioni ricevute tramite chiamata. Questa funzionalità è supportata da modelli di deep learning che apprendono continuamente dai dati forniti, migliorando nel tempo la precisione della trascrizione. Parallelamente, la tecnologia Text-to-Speech implementata consente di restituire risposte vocali naturali, generando una conversazione fluida con l'utente. L'AI non si limita a trascrivere e rispondere alle segnalazioni, ma è anche in grado di analizzare e classificare i disservizi, indirizzando automaticamente le richieste agli operatori ecologici più adatti in base alla loro disponibilità e posizione geografica.

2.2 Sistema VOIP e IVR

Il sistema VOIP (Voice Over IP) è stato implementato utilizzando infrastrutture di rete basate su protocolli SIP (Session Initiation Protocol), che consentono la gestione efficiente delle chiamate in entrata e in uscita. Il sistema IVR (Interactive Voice Response) svolge un ruolo cruciale nello smistamento automatico delle chiamate, presentando all'utente un menu interattivo e raccogliendo le informazioni necessarie per elaborare la segnalazione. L'IVR è integrato con l'AI, che elabora le richieste vocali in tempo reale e guida l'utente verso la risoluzione del problema senza l'intervento umano. Questo processo avviene attraverso l'uso di API REST che collegano il sistema VOIP e l'AI, assicurando che le chiamate siano elaborate rapidamente e correttamente instradate.

2.3 Geolocalizzazione via Mobile App

La componente di geolocalizzazione dell'App Mobile sfrutta i servizi di localizzazione GPS e API di mappe per ottenere la posizione precisa del disservizio segnalato. L'implementazione di queste funzionalità avviene attraverso chiamate asincrone a servizi di terze parti che forniscono coordinate geografiche accurate in tempo reale. Oltre alla posizione, l'App consente all'utente di allegare foto e inserire dettagli descrittivi che aiutano gli operatori ecologici a identificare meglio la natura del problema. Tutti i dati raccolti dall'App sono inviati tramite un canale sicuro SSL/TLS verso un endpoint dedicato, dove vengono elaborati e inseriti nella piattaforma gestionale. Questo sistema permette una comunicazione bidirezionale tra l'App e il back-end, assicurando un costante aggiornamento dello stato delle segnalazioni.

3. Flusso dei Dati

3.1 Raccolta delle Segnalazioni

La raccolta delle segnalazioni avviene attraverso due canali principali: l'App Mobile e il centralino basato su AI. L'App Mobile è sviluppata in modo nativo per le piattaforme Android e iOS, e utilizza framework moderni come Flutter per garantire un'interfaccia utente reattiva

e un'esperienza fluida. Ogni segnalazione inviata tramite l'App viene arricchita con metadati quali la posizione GPS, immagini, e informazioni testuali, che vengono successivamente trasmesse al back-end tramite API RESTful. Il centralino, invece, sfrutta la tecnologia AI per trascrivere automaticamente le segnalazioni fornite vocalmente dagli utenti. Il sistema di riconoscimento vocale è basato su reti neurali convoluzionali (CNN) che analizzano il flusso vocale e lo convertono in testo. Una volta trascritte, le informazioni vengono elaborate e indirizzate agli operatori ecologici competenti.

3.2 Gestione degli Operatori Ecologici
Il sistema di gestione degli operatori ecologici è progettato per ottimizzare l'assegnazione delle segnalazioni basandosi su un algoritmo di prossimità geografica. Ogni segnalazione ricevuta viene analizzata e abbinata agli operatori disponibili, in base alla loro posizione attuale rispetto al luogo del disservizio. L'algoritmo considera anche fattori come la priorità della segnalazione e il carico di lavoro corrente degli operatori. Gli operatori ricevono le notifiche direttamente sui loro dispositivi mobili, e possono visualizzare i dettagli della segnalazione, accettarla e iniziare l'intervento. Il sistema traccia automaticamente lo stato delle segnalazioni, aggiornando in tempo reale il dashboard amministrativo e notificando l'utente quando il problema viene risolto.

4. Architettura del Sistema
L'architettura del sistema è suddivisa in diversi moduli che comunicano tra loro attraverso API RESTful e servizi di messaggistica. La componente back-end è stata sviluppata utilizzando un'architettura a microservizi, garantendo una maggiore scalabilità e resilienza. Ogni modulo è responsabile di una funzione specifica, come la gestione delle segnalazioni, il coordinamento degli operatori, e l'integrazione con il sistema AI. La dashboard di monitoraggio, accessibile via web, è stata costruita utilizzando tecnologie come React.js per il front-end e Node.js per il back-end, fornendo una vista in tempo reale dello stato delle segnalazioni e permettendo interventi manuali da parte dell'amministrazione, se necessario.

4.1 Efficientamento dell'interazione con l'utenza
L'implementazione di questa soluzione ha portato significativi miglioramenti operativi per Flegrea Lavoro. Il sistema ha permesso di ridurre drasticamente i tempi di risposta alle segnalazioni, migliorando la gestione complessiva delle operazioni di raccolta rifiuti. La combinazione di AI, geolocalizzazione e automazione delle chiamate ha eliminato errori dovuti a malintesi e ha ottimizzato l'assegnazione delle risorse. Inoltre, l'interfaccia user-friendly dell'App Mobile ha facilitato la partecipazione attiva dei cittadini, aumentando la trasparenza e la fiducia nel servizio. L'integrazione con i sistemi esistenti e l'adozione di un'architettura flessibile e scalabile ha garantito che il sistema possa essere facilmente aggiornato e migliorato in futuro

4.2 Ottimizzazione nella gestione dei disservizi
Le soluzioni tecnologiche adottate hanno dimostrato di essere efficaci e scalabili, con un impatto diretto sulla riduzione dei tempi di risposta alle segnalazioni e sulla qualità del servizio offerto. Il sistema di intelligenza artificiale ha permesso di gestire in modo automatico e preciso le interazioni con gli utenti, migliorando l'efficienza operativa e riducendo la necessità di interventi manuali. La possibilità di integrare ulteriormente il sistema con altre tecnologie emergenti, come la gestione predittiva dei disservizi tramite machine learning, apre nuove prospettive di sviluppo per il futuro. In definitiva, il successo di questo progetto rappresenta un esempio di come l'AI e la digitalizzazione possano trasformare settori tradizionali come la gestione dei rifiuti, apportando benefici sia all'azienda che ai cittadini.

3. Conclusioni

La sfida che abbiamo voluto abbracciare riguarda in buona sostanza l'ottimizzazione dei servizi pubblici che solitamente sono scarsamente oggetto di applicazione di tecnologie avanzate, questo soprattutto per quel che concerne l'igiene urbana.

Al contrario di quel che si può immaginare, l'applicazione di tecnologie, oltre a semplificare le operazioni di gestione del servizio pubblico, è in grado di creare una raccolta di dati necessaria e indispensabile alla programmazione ed al miglioramento delle attività future.

La centralità che assume il rapido collegamento tra l'utente e l'operatore che gli gestisce il servizio rappresenta l'atto strategico per l controllo delle attività ed il relativo miglioramento.

Inoltre non va trascurato il fatto che l'utilizzo di tecnologie moderne aumenta la conoscenza e la professionalizzazione di tutti coloro che operano nell'ambito del processo di erogazione del servizio; i lavoratori che sono a contatto diretto con l'utenza infatti sono storicamente operatori che hanno una bassa alfabetizzazione ed anche se questo fenomeno tende negli anni a proporre profili maggiormente formati e preparati, resta di fatto un problema che richiede interventi necessari a garantire che il contatto con l'utente proponga profili pronti e preparati sia sul piano umano che professionale.

Biometano dagli scarti agroalimentari della Provincia di Trento: stima del potenziale

Luca Tomasi luca.tomasi@fmach.it, Daniela Bona, Andrea Cristoforetti, Luca Grandi, Silvia Silvestri
Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige (TN)

Riassunto
Il Piano Energetico Ambientale della Provincia di Trento 2021-2030 [1] individua, fra i vari propositi, opportunità di valorizzazione energetica attraverso la produzione di biogas/biometano delle biomasse di scarto generate dalle filiere agroalimentari trentine. Per la prima volta in Provincia di Trento, grazie ad uno studio iniziato nel 2022 su incarico dell'Agenzia provinciale per le risorse idriche e l'energia, la Fondazione Edmund Mach (FEM) ha quantificato il biogas potenziale ottenibile dai principali scarti agroalimentari generati sul territorio provinciale, individuando aree territoriali ottimali – anche con riferimento alle zone vulnerabili ai nitrati – e verificando la resa di possibili mix di co-fermentanti, al fine di fornire un supporto preventivo alle successive fasi di pianificazione per la realizzazione degli impianti di valorizzazione degli effluenti zootecnici abbinabili a scarti agroindustriali, nel rispetto della normativa di settore.

Summary
The Environmental and Energy Plan of the Province of Trento 2021-2030 [1] identifies, among other purposes, opportunities for energy valorization through the production of biogas/biomethane from residual biomass generated by the provincial agri-food supply chains. For the first time in the Province of Trento, thanks to a study started in 2022 on behalf of the Provincial Agency for Water Resources and Energy, Fondazione Edmund Mach (FEM) has quantified the potential biogas obtainable from the main agri-food residues generated in the provincial territory, identifying optimal territorial areas – also with reference to the areas identified as vulnerable to nitrates – and verifying the yield of possible mixes of fermentable matrices, in order to provide preventive support to the subsequent planning phases for the construction of plants for the valorization of livestock effluents that can be combined with agro-industrial waste, in compliance with sector regulations.

1. Introduzione

Il settore del biogas in Provincia di Trento solo recentemente ha conosciuto un certo sviluppo in campo agroindustriale, principalmente con la realizzazione di impianti alimentati a reflui zootecnici, sia aziendali che consortili. Malgrado il contesto montano sia caratterizzato da realtà produttive piccole ed estremamente frammentate, ad oggi si contano ormai più di dieci impianti a biogas funzionanti, oltre ad ulteriori iniziative in fase di progettazione/realizzazione. Il principale freno alla diffusione degli impianti a biogas in Trentino è rappresentato dalla sostenibilità economica, che, nel caso di matrici a bassa resa metanigena quali i reflui zootecnici, obbligherebbe a prediligere taglie impiantistiche al di sopra di una certa soglia, poco

adeguate ad un territorio alpino. Il progressivo effetto delle economie di scala verificatosi nel corso degli anni ha contribuito indubbiamente ad abbassare tali limiti dimensionali, da cui la comparsa dei primi piccoli impianti in assetto cogenerativo. Nella dieta degli impianti zootecnici l'integrazione di scarti derivanti da altre filiere, contemplata anche a livello normativo, potrebbe incrementare la resa in biogas. Lo studio in oggetto si è svolto in due fasi: nel corso del 2022 è stata effettuata una ricognizione su tutto il territorio provinciale direttamente presso un'ampia selezione di aziende agroindustriali e zootecniche per ottenere un quadro quantitativo degli scarti disponibili e formulare così ipotesi di scenari di valorizzazione soprattutto per le aree ambientalmente sotto pressione (zone vulnerabili ai nitrati o a rischio di diventarle) o per distretti ritenuti particolarmente favorevoli in termini di disponibilità di scarti valorizzabili. Nel corso del 2023 è stato compiuto un ulteriore approfondimento: le principali matrici identificate sono state campionate e sottoposte ad analisi chimico-fisica e test di produzione di biogas in scala di laboratorio, per individuare i mix ritenuti più opportuni in uno scenario reale, tenendo conto di distanze, quantità, stagionalità e compatibilità teorica delle miscele. Infine, la caratterizzazione agro-ambientale del digestato ha permesso di definire le proprietà fertilizzanti dello stesso.

2. Relazione

Lo studio [2], avviato nel 2022, si è posto inizialmente l'obiettivo di aumentare il grado di dettaglio raggiunto nell'ambito di indagini precedenti sugli scarti organici generati in Provincia di Trento, attraverso un reperimento "sul posto" delle informazioni quali-quantitative che non erano ottenibili con le risorse impiegabili in occasione dei precedenti studi e sviluppando ipotesi di scenari impiantistici sulla base di rese metanigene ottenute da letteratura o archivi interni FEM. Il secondo step dello studio [3], ultimato nel 2023, ha riguardato la caratterizzazione dei principali scarti individuati e la conduzione di prove di laboratorio per verificare la resa energetica (produzione metanigena) dei possibili mix più opportuni.

2.1 Quantificazione delle biomasse e sviluppo di scenari per impianti a biogas agro-zootecnico e agro-industriale

Il grado di dettaglio raggiunto nell'ambito delle precedenti indagini (es: studi finalizzati alla stesura del Piano Energetico Ambientale 2013-2020) era condizionato dal fatto che l'origine dei dati quantitativi derivava da database pubblici, quali estrazioni aggregate da MUD ed anagrafe zootecnica provinciale. Tale dettaglio poteva essere incrementato unicamente attraverso il reperimento "sul posto" delle informazioni necessarie. Si è ricorso, pertanto, alla somministrazione di questionari, intercettando le singole aziende anche mediante sopralluoghi dedicati, rendendosi disponibili a fornire supporto nella compilazione del format di raccolta dati e fornendo informazioni capaci di sensibilizzare i produttori sull'argomento della circolarità. Le informazioni richieste riguardavano i quantitativi annui (peso del tal quale) e la tipologia degli scarti, la loro destinazione attuale, la loro classificazione (sottoprodotti o rifiuti), l'eventuale stagionalità.

La selezione delle Aziende agroindustriali è partita dall'elenco fornito dalla C.C.I.A.A. di Trento, risultato di un'estrazione di sedi ed unità locali che hanno dichiarato come prevalenti o secondarie attività economiche rientranti nelle classificazioni di industria delle carni (e macellazione), della frutta (e ortaggi), dei cereali, del pane e dei prodotti dolciari, della birra. Come criterio base per la selezione si è scelto di intercettare le aziende con un numero di dipendenti maggiore-uguale a 20. Sono state selezionate più di 120 realtà produttive, delle quali con circa 100 è stato possibile stabilire un contatto telefonico o via e-mail. Di esse, circa l'80% ha restituito il questionario compilato. Il settore dei piccoli frutti, di cui sono comunque conosciuti sommariamente i limitatissimi quantitativi di scarto in virtù di precedenti

collaborazioni, è stato considerato trascurabile. I dati della filiera lattiero-casearia erano già conosciuti, grazie a precedenti indagini. Sulla base di uno studio specifico precedentemente effettuato per l'Istituto Tutela Grappa ed il Consorzio Vini del Trentino, il presente lavoro si è potuto avvalere dei dati aggregati da esso derivati e riguardanti gli scarti fermentescibili potenzialmente avviabili a digestione anaerobica: vinaccia fresca, vinaccia esausta, feccia e borlanda. Si può ritenere che le informazioni riguardanti entrambe le filiere lattiero-casearia e viti-vinicola siano rappresentative dell'80% circa della produzione provinciale.
Il dato di partenza relativo alla quantità delle matrici tal quali dichiarate dai produttori ha permesso la stima della produzione potenziale teorica di biogas e biometano. I fattori di conversione sono stati assunti da archivi interni FEM, da dati di letteratura, nonché dalla rete di contatti con enti affermati che si occupano del settore (es: CRPA, Laboratorio Biomasse dell'Università delle Marche, TIS Bolzano, …). Dall'indagine condotta da FEM oggetto della presente relazione il totale del biometano potenzialmente producibile a partire dagli scarti delle filiere selezionate è stato quantificato in più di 3 mln di Nm^3/anno (Fig. 1). Di questi, quasi 2,2 mln di Nm^3/anno sono riconducibili a rifiuti e scarti agroalimentari non stagionali, circa 260.000 a rifiuti e scarti agroalimentari stagionali e 1 mln a scarti di cantine e distillerie (pertanto stagionali).

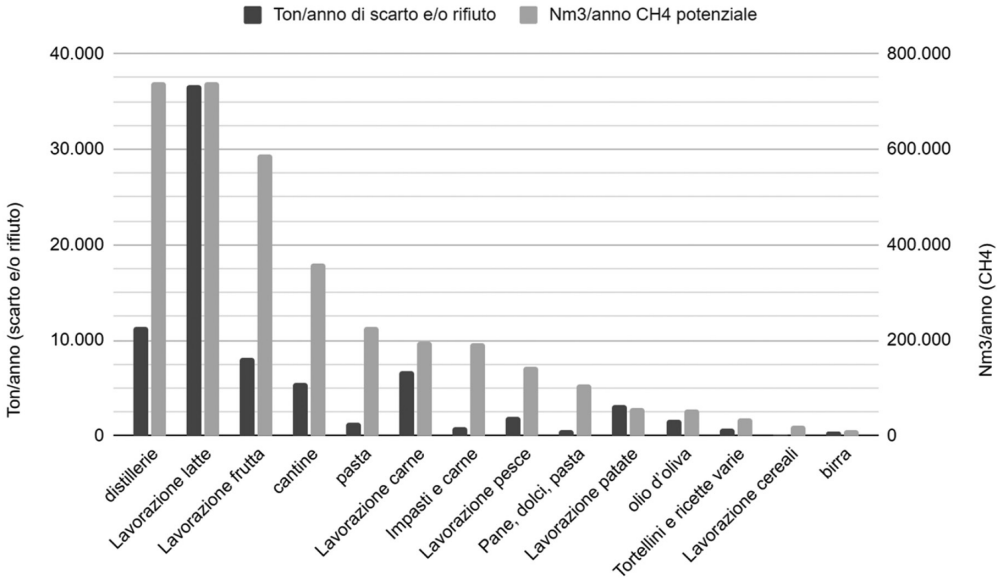


Fig. 1 – *quantitativi provinciali ricavati dall'indagine condotta e relativa potenzialità energetica*

Le risorse disponibili hanno inoltre permesso – in accordo con la Struttura Organizzativa PAT richiedente – di realizzare un'indagine specifica sui reflui zootecnici generati in due delle tre zone vulnerabili ai nitrati (ZVN) individuate come da Deliberazione della Giunta provinciale n. 1015/2021: Valsugana e Lago della Serraia.
Per l'indagine sono state selezionate, dall'elenco delle aziende zootecniche fornito dal Servizio Agricoltura PAT, le realtà che soddisfano i due seguenti requisiti: numero di capi > 10 e percentuale di superficie aziendale ricadente in ZVN > 5%. La selezione ha portato ad individuare e contattare 51 aziende in Valsugana e 6 in zona Lago della Serraia, la cui consistenza è rappresentata in Tab. 1. Per tutte si è reso necessario il sopralluogo, al fine di fornire supporto nella compilazione del questionario. Dati i requisiti stabiliti per la selezione delle aziende (in

particolare: sup. ZVN > 5%), si può ritenere che il potenziale teorico ottenibile dalla zootecnia possa essere considerato una stima cautelativa, in quanto non tutte le realtà produttive sono state intercettate. Il questionario somministrato agli allevatori prevedeva informazioni riguardanti il numero di capi distinti per età, la durata dell'alpeggio, il quantitativo di paglia utilizzata per la lettiera; tramite opportuni fattori di conversione se ne è potuta desumere la produzione di reflui annua, distinta fra liquame e letame.

ZVN	CONSISTENZA CAPI (UBA)	% LIQUAME/LETAME
Lago della Serraia	375	100
Valsugana	2.335	83

Tab. 1 – *Cconsistenza zootecnica nelle aree ricadenti in ZVN indagate. Fonte: indagine FEM.*

La potenzialità energetica – in termini di produzione di biogas – dei reflui zootecnici è stata ricavata partendo dal numero di UBA, applicando fattori di conversione interni, affinati nel corso degli anni sulla base dell'esperienza accumulata sul territorio trentino. Per le due ZVN i dati sono da ritenersi maggiormente realistici, in quanto ottenuti da un'indagine sul campo, mentre per il resto della Provincia si è partiti dai database disponibili ed applicando assunzioni ed approssimazioni basate sulla conoscenza del territorio.
Partendo dai potenziali energetici teorici esprimibili da ogni singola matrice, si è proceduto ad ipotizzare una serie di scenari di valorizzazione per i singoli distretti produttivi del territorio, tenendo conto di alcune considerazioni, di seguito riportate:
– Il bacino di confluenza delle matrici di alimentazione dell'impianto non deve superare un certo raggio chilometrico, tenendo anche conto dell'orografia che in alcuni contesti può risultare impervia.
– La taglia maggiormente indicata per il contesto trentino potrebbe essere quella dei 300 kW di potenza elettrica nel caso di cogenerazione (al tempo non era ancora stato emanato il decreto FER2), corrispondenti a circa 600.000 Nm^3 di biometano prodotto dal reattore anaerobico. Per la produzione di metano si ritiene che la più piccola taglia impiantistica tecnologicamente affidabile e commercialmente diffusa a sufficienza sia pari ai 50 Nm^3/h di biometano prodotto, che per circa 8.000 h/anno di funzionamento (ipotesi cautelativa) consiste nella disponibilità annua di circa 400.000 Nm^3 di CH_4. Seppure la tecnologia dell'upgrading del biogas si stia rapidamente evolvendo e diffondendo, tale soluzione impiantistica presenta dei costi realizzativi ancora nettamente superiori rispetto al semplice assetto cogenerativo. Pertanto, si ritiene che per tale scelta impiantistica sia da suggerire la massima taglia ottenibile in un determinato territorio, al fine di favorire le economie di scala.
– Nell'ipotesi di mix con reflui zootecnici, per le aree agricole la legislazione locale (al netto di eventuali limitazioni legate ad esigenze del processo anaerobico) permette una percentuale di co-fermentanti pari a max 30% di scarti differenti da effluenti zootecnici.
– In questa prima fase dello studio, la resa metanigena dei mix è stata calcolata come somma aritmetica delle rese stimate per le singole matrici, con la consapevolezza di un successivo approfondimento mirato al fine di verificare l'effettiva compatibilità delle stesse (vedasi paragrafo successivo).

2.2 Caratterizzazione energetica degli scarti delle filiere agro-industriali trentine e analisi dell'integrazione degli stessi nelle diete degli impianti
Il potenziale energetico esprimibile – in termini di produzione di biogas – dagli scarti individuati nell'ambito dell'indagine 2022, è stato stimato ricorrendo a dati di letteratura e/o presenti negli archivi FEM. Per verificare la resa ed il processo di degradazione di diverse miscele

di biomasse in co-digestione con gli effluenti zootecnici è stata condotta successivamente una sperimentazione dedicata.
Sono state individuate dieci diverse possibili miscele (Tab. 2), corrispondenti a svariate realtà produttive presenti sul territorio. Di queste, previo appositi campionamenti, sono state verificate la potenzialità in termini di biometano, la degradabilità anaerobica e l'interazione tra le diverse biomasse.
Le biomasse considerate sono state: scarti di lavorazione della frutta e della birra, oli e grassi di frittura, scarti di lavorazione delle patate, sanse di olive, siero del latte, scarti di lavorazione del formaggio (spazzolatura forme), vinacce esauste, scarti di panificazione. Per la conduzione di test di digestione anaerobica in batch de in semi-continuo ci si è avvalsi della strumentazione FEM: uno strumento (Respiro Biogas) dotato di tre reattori della capacità di 20 litri, completamente miscelati e riscaldati (mesofilia o termofilia) e dotati di un sistema di misura della pressione interna che sono stati utilizzati per la misura del BMP degli scarti di panificazione e per il test finale in semi-continuo sul mix ritenuto maggiormente rappresentativo della realtà provinciale, nonché uno strumento (Gas Endeavour) per tutte le altre determinazioni, composto di 15 bottiglie da 500 ml miscelate in automatico e mantenute in temperatura in bagno termostatico, con misura della produzione di metano per via volumetrica. I mix sono stati caratterizzati dal punto di vista chimico ed analizzati in termini di potenzialità di biometano, di degradabilità e di interazione tra le biomasse nel processo di digestione anaerobica, per suggerire quindi potenziali impieghi in co-digestione in impianti agricoli alimentati a reflui zootecnici.

MIX	BIOMASSA 1	BIOMASSA 2	BIOMASSA 3	BIOMASSA 4
Mix 1	Scarti patate	Oli		
	98%	2%		
Mix 2	Trebbie	Scarti di panificazione		
	48%	52%		
Mix 3	Trebbie	Scarti di panificazione	Scarti frutta	
	15%	15%	70%	
Mix 4	Scarti frutta	Scarti di panificazione		
	80%	20%		
Mix 5	Trebbie	Scarti di panificazione	Scarti frutta	Scarti formaggio
	8%	**4%**	**80%**	**8%**
Mix 6	Vinacce	Scarti di panificazione	Scarti frutta	
	46%	9%	45%	
Mix 7	Vinacce	Scarti di panificazione	Trebbie	
	72%	8%	20%	
Mix 8	Vinacce	Scarti frutta	Trebbie	
	50%	40%	10%	
Mix 9	Vinacce	Scarti frutta	Trebbie	Scarti di panificazione
	50%	**40%**	**5%**	**5%**
Mix 10	Vinacce	Sanse di olive	Trebbie	
	38%	57%	5%	

Tab. 2 – *Composizione dei mix testati*

Il mix 9, costituto da una miscela di trebbie, scarti di lavorazione della frutta, scarti della lavorazione di pane/farine e vinacce, è ritenuto per ragioni quantitative quello maggiormente rappresentativo per la Provincia e la sua potenzialità specifica in termini di biometano è risultata pari a 0,19 Nm^3 CH_4/kg SV.
Il grafico sotto riportato (Fig. 2), evidenzia come la produzione di metano si sia concentrata nei primi giorni di processo, fino all'ottavo circa, con un picco al primo giorno di test (41 Nlt/kg SV al secondo giorno).

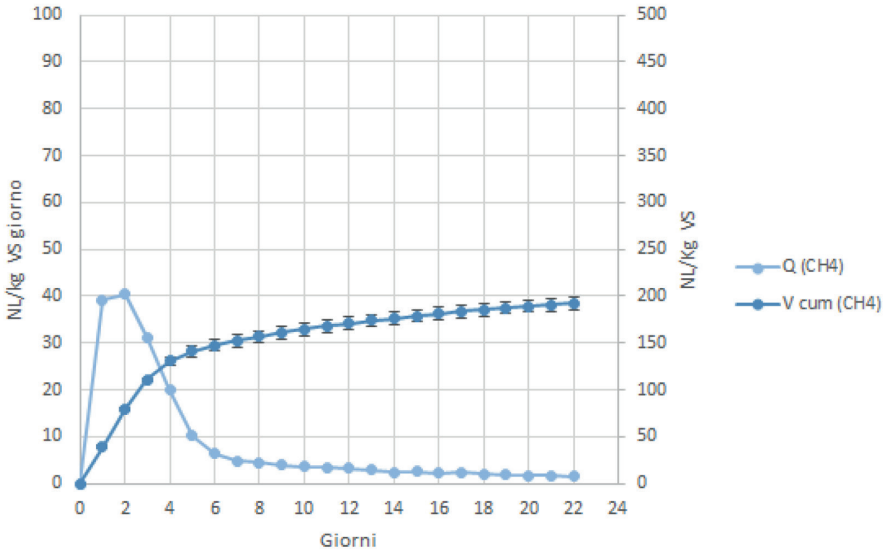


Fig. 2 – *Produzione specifica cumulata di biometano e portata giornaliera del mix 9*

I risultati ottenuti hanno confermato il possibile effetto di incremento nella produzione di biometano dei co-fermentanti alimentati in impianti a reflui zootecnici. Vanno però tenuti in considerazione numerosi aspetti di processo, quali la concentrazione in solidi (ed effetto inibente della lignina) in quelle miscele dove siano presenti le vinacce esauste, l'eventuale acidificazione ed un'adeguata rimozione dei solidi volatili caricati.

3. Conclusioni

L'indagine quantitativa (prima fase dello studio) ha permesso di ottenere un quadro piuttosto particolareggiato, mai prima d'ora disponibile, degli scarti generati dal settore agroindustriale provinciale. Il filtro applicato all'atto della selezione delle aziende da intervistare ha intercettato un numero di produttori piuttosto rappresentativo dello stato dell'arte in relazione alle finalità dello studio. Quanto eseguito in maniera sufficientemente completa per le due aree "pilota" ZVN – avvalendosi di un'indagine approfondita applicata anche al settore zootecnico oltre che agroindustriale – ha permesso di effettuare considerazioni e valutazioni di scenario maggiormente realistiche rispetto alle considerazioni teoriche sviluppate in precedenza e di introdurre la co-digestione di effluenti zootecnici e sottoprodotti al fine di promuovere un utilizzo locale di queste risorse e di migliorare la sostenibilità economica degli impianti agricoli, nel rispetto delle norme ambientali e dei piani di utilizzazione agronomica del digestato. Il successivo approfondimento attraverso prove di laboratorio su campioni appositamente prelevati ha permesso di raccogliere dati relativi alle specifiche biomasse prodotte sul terri-

torio provinciale e di elaborare ipotesi di miscela che tengano conto di numerosi aspetti, per ogni distretto produttivo.
I risultati ottenuti rappresentano quindi una base di dati importante da cui poter attingere in attività di pianificazione future e/o nell'ambito di veri e propri studi di fattibilità dedicati.
Inoltre, la sinergia con altri progetti (es: PNRR-iNEST) consentirà di elaborare un modello di bioeconomia circolare territoriale, basato su ipotesi e scenari di valorizzazione non solo energetica ma anche agronomica ed ambientale delle biomasse. Il modello prenderà in considerazione gli aspetti legati alla decarbonizzazione e il bilancio dei macronutrienti, quali azoto e fosforo, derivanti dall'integrazione di scarti agro-industriali in impianti di digestione anaerobica di reflui zootecnici.

Bibliografia

[1] Piano Energetico Ambientale Provinciale (PEAP) 2021-2030 – allegato 8, https://www.provincia.tn.it/Documenti-e-dati/Documenti-di-programmazione/Piano-Energetico-Ambientale-Provinciale-2021-2030.
[2] Tomasi L., Cristoforetti A., Bona D., Grandi L., Silvestri S., "Scenari impianti a biogas agro-zootecnico e agro-industriale", 2022, https://www.provincia.tn.it/content/view/full/94415.
[3] Bona D., Cristoforetti A., Grandi L., Tomasi L., Silvestri S., "Caratterizzazione energetica degli scarti delle filiere agro-industriali trentine e analisi dell'integrazione degli stessi nelle diete degli impianti", 2023. Pubblicazione a breve sul sito internet della Provincia Autonoma di Trento, per info contattare luca.tomasi@fmach.it.

Optimization processes for anaerobic fermentation of nitrogen-rich substrates

Paul Stopp p.stopp@biorestec.de, Jakub Krajewski
BIORESTEC GmbH, Laatzen (Germany)

Summary
During anaerobic fermentation of nitrogenous substrates such as farm manure, waste from food industry or the municipal sector, ammonia can cause inhibition of the microorganisms and even lead to digestion failure. An innovative approach for the digestion of nitrogen-rich substrates was investigated. Experiments were carried out in a 15 m3 test-fermenter in combination with a pilot plant for fractional evaporation. The plant was fed with highly nitrogenous residues from mill production. A low-nitrogen recirculate from evaporation was fed back into the digester to dilute the input. The nitrogen content was reduced from around 6,000 mg/L to under 4,000 mg/L in the fermenter so that the biological process could be significantly stabilized. On this basis, a large-scale biogas plant was designed.

Riassunto
Durante la fermentazione anaerobica di substrati azotati, come letame agricolo, rifiuti dell'industria alimentare o del settore municipale, l'ammoniaca può causare l'inibizione dei microrganismi e persino il fallimento della digestione. È stato studiato un approccio innovativo per la digestione di substrati ricchi di azoto. Gli esperimenti sono stati condotti in un fermentatore di prova da 15 m3 in combinazione con un impianto pilota per l'evaporazione frazionata e la rettifica. L'impianto è stato alimentato con residui altamente azotati provenienti dalla produzione molitoria. Un ricircolo a basso contenuto di azoto proveniente dall'evaporazione è stato reimmesso nel digestore per diluire l'input. Il contenuto di azoto è stato ridotto da circa 6.000 mg/L a meno di 4.000 mg/L nel fermentatore, in modo da stabilizzare significativamente il processo biologico. Su questa base, è stato progettato un impianto di biogas su larga scala.

1. Introduction

Anaerobic digestion of nitrogenous waste, such as from the food industry, has a high potential for producing biogas due to its organic content. However, biogas production is often below the performance limit due to simultaneously high nitrogen concentrations. Ammonia inhibition is one of the most common causes of process disruptions [1], [2]. As soon as methane production drops or even stops completely, the recovery of the biocoenosis from ammonia inhibition is a major challenge. Methods to overcome ammonia inhibition like air-stripping, biological treatment, chemical precipitation and ammonia-binding are still facing challenges for full-scale application due to complexity and economic reasons [3]. Also, co-fermentation with carbon-rich substrates to increase the C/N ratio for regulation usually only leads to a slow alleviation of ammonia inhibition, so that current studies are increasingly focussing on the removal of nitrogen before the fermentation process [4], [5].
In the present study, semi-technical tests were carried out on the nitrogen removal from digestate from the fermentation of grain waste by means of fractionated evaporation. For this purpose, waste from a grain mill (wheat bran, feed meal, husks) was first fermented in a test

fermenter (15 m3). The resulting fermentation residue was further treated in a test plant for fractional evaporation. Fractional evaporation is a process for volume reduction and nitrogen recovery in the form of a highly concentrated ammonia solution, which is based on the lower boiling temperature of ammonia compared to water. In the case considered here, the focus was only on the reduction of nitrogen in order to obtain a recirculate, which was fed back into the biogas plant input for dilution. The generated data were used for upscaling the process for a full-scale anaerobic digestion plant with a capacity for treating 57,000 t of grain waste per year.

2. Paper

The following sections describe a concept for nitrogen removal from high concentrated substrates to enhance methane yield by overcoming ammonia inhibition while anaerobic digestion of grain waste. Results from operating semi-technical test plants for anaerobic digestion and nitrogen removal as well as laboratory tests for residual gas potential are presented. Based on the results, an upscale for a full-scale treatment plant was carried out.

2.1 Materials & Methods

The feedstock for anaerobic digestion was collected from a grain mill and consisted of wheat bran (68 %), feed meal (19 %) and husks (13 %). In addition, the input was diluted with tap water in accordance with the intended process concept to reduce the nitrogen concentration. The digester was initially started up without nitrogen removal. Coupling with the mobile pilot plant for evaporation of the digestate and subsequent return of the nitrogen-reduced concentrate to the digester input took place 8 weeks after start-up. The resulting volumetric loading rate can be seen in Fig. 1.

2.2 Results

2.2.1 Semi-technical tests with nitrogen removal

At the beginning of the trials without recirculation, biogas production was initially stable with methane yields of around 200 m³ CH4/t of fresh mass (FM), but around day 40 a steady decline in methane production was observed (see Fig. 2 and Fig. 3), which is associated with the nitrogen inhibition of the anaerobic biocenosis. Only with a reduction in the volumetric loading rate and higher dilution with tap water could both the amount of biogas produced and the methane yield be increased again.

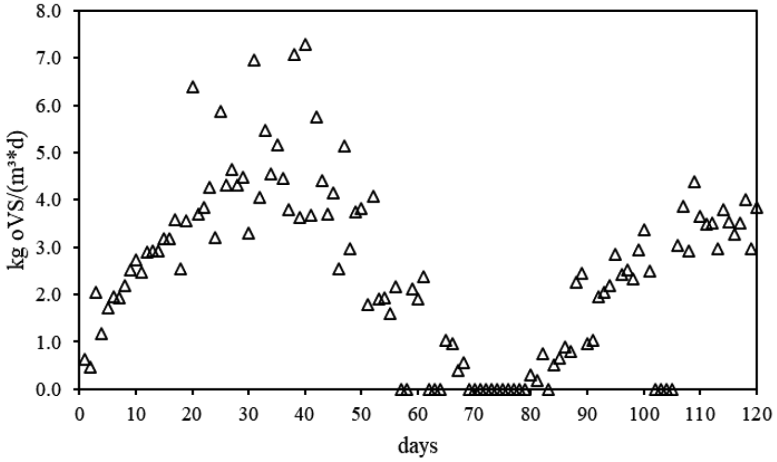


Fig. 1 – *Volumetric loading rate of the test fermenter*

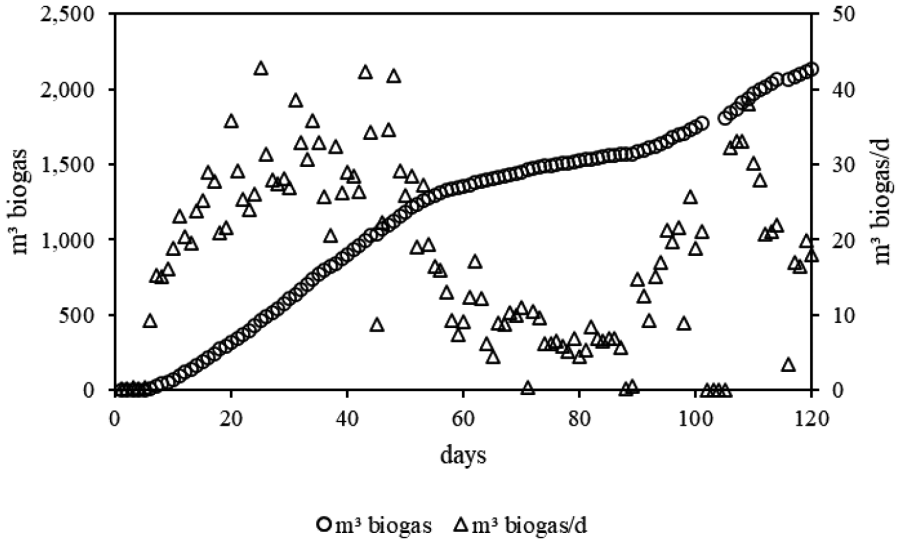


Fig. 2 – *Cumulative and daily biogas volume after fermentation of grain waste*

By returning the nitrogen-reduced concentrate from day 60, it was possible to gradually increase the volumetric loading rate again and minimise dilution with tap water without causing further inhibition by nitrogen.

The gas composition was analysed before and after feeding. This shows that the CH4 content is always lower after feeding, which can be attributed to losses during feeding. As a result, the real methane yield tends to be slightly higher than the measured yield.

Fig. 4 shows the nitrogen concentrations in the fermenter and the underlying volumetric loading rate. With the use of nitrogen removal, the concentration could be kept below the desired 4,000 mg NH4-N/L. However, the mobile test plant was limited in throughput due to its size and was at the limit of its capacity with the achieved volumetric loading rate of approx. 4 kg VS/(m³*d).

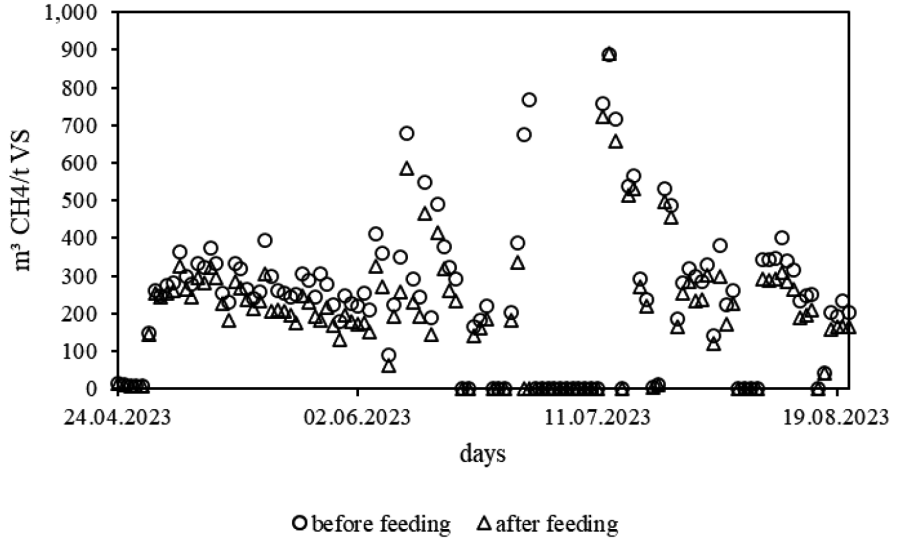


Fig. 3 – *Methane yield after fermentation of grain waste*

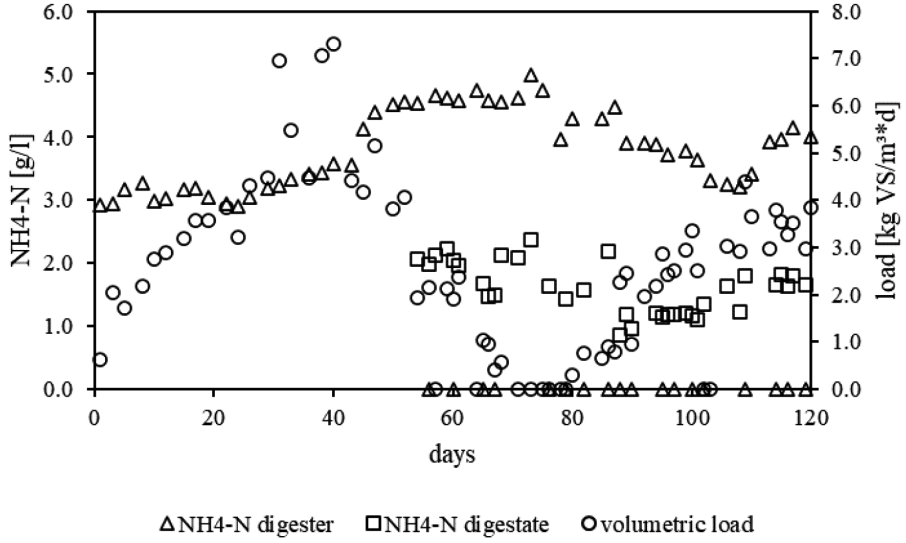


Fig. 4 – *Nitrogen concentrations in the fermenter and in the digestate after nitrogen removal*

2.2.2 Laboratory tests to determine residual gas potential

Only one fermenter was used in the semi-industrial trial, meaning that the potential methane yield from the post-digester could not be recorded. For this reason, the residual gas potential of the resulting fermentation residue was analysed in the laboratory following the semi-industrial trials. Three parallel trials with an inoculum of 300 ml each and a substrate addition of 16 g were carried out. The experiment was terminated as soon as no further increase in the biogas yield was observed on four consecutive days. The results of the residual gas potential in relation to the methane content are shown in Fig. 5.

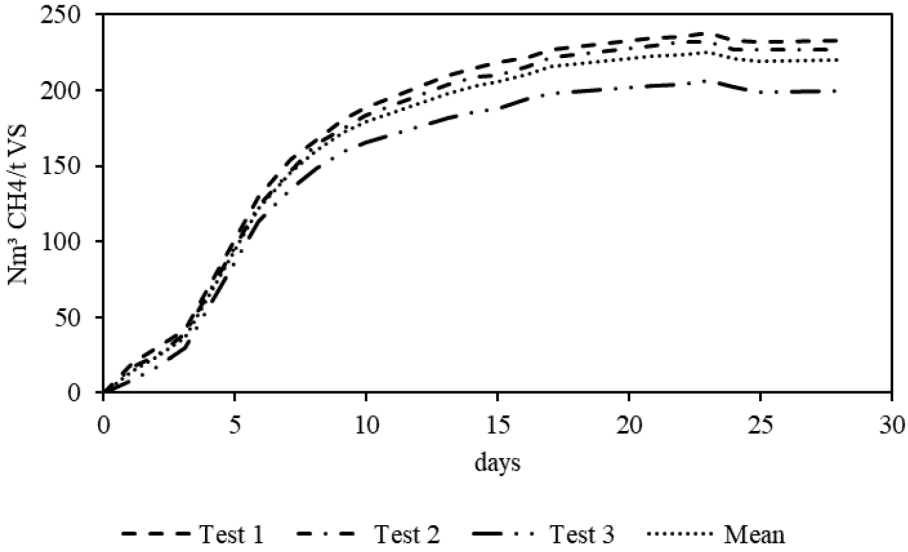


Fig. 5 – *Resulting residual biogas potential*

		Methane yield [m³ CH4/t VS]	Volumetric load [kg VS/(m³*d)]
Yield (laboratory tests)	wheat bran	383	
	feed meal	411	
	husks	397	
	substrate mixture	360	6,1
Yield (semi-technical tests)	substrate mixture	331	3,9
Residual gas potential	substrate mixture	222	0,6

Tab. 1 – *Summary of specific methane yields and volumetric loading rates (own analyses)*

2.3 Upscale

The data determined in the tests served as the basis for the design of the process and the components required for a full-scale application. Further input variables were the intended input quantities of the individual substrates and the respective (organic) solids contents. Fig. 6 shows a flow scheme of the concept for a full-scale application.

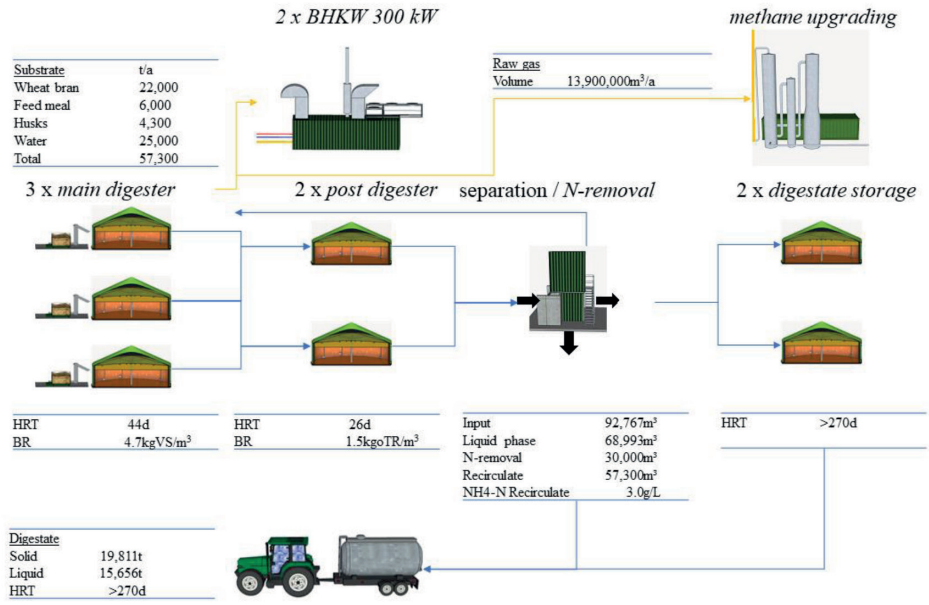


Fig. 6 – *Flow scheme for full-scale digestion of grain waste with integrated nitrogen removal*

3. Conclusions

Previous laboratory tests on the fermentation of grain waste confirmed the assumption of ammonia inhibition. The subsequent semi-technical tests also showed a drop in biogas production after a few weeks. In both cases, the effectiveness of recirculating nitrogen-reduced digestate following evaporation was demonstrated. In addition, the order of magnitude of the methane yield of the substrate mixture determined in the laboratory could be verified in the semi-industrial process. Deviations can be attributed to idealized laboratory conditions as well as minor differences in the composition of the substrate. The investment costs for nitro-

gen removal amount to around 13 % and operating costs to around 4 % of the total costs of the biogas plant. This makes it possible to operate the biogas plant more economically with nitrogen-containing substrates. Large-scale technical implementation is planned for 2025.

Bibliography

[1] **Zhu, J.; Zhang, J.; Tang, Y.; Zhang, X.; Shi, X.; Wang, X.; Li, Y.** Enhancement of Fermentation Performance in the Anaerobic Co-Digestion of Chicken Manure and Corn Straw under Biogas Slurry Reflux via Air Stripping of the Digestate. Agronomy 2024, 14, 1794. https://doi.org/10.3390/agronomy 14081794

[2] **Perman, E.** Challenges associated with high-solid anaerobic digestion, Down-scaling, plug-flow behaviour and ammonia inhibition, Doctoral Thesis No– 2024:41, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences

[3] **He, K., Liu, Y., Tian, L., He, W., Cheng, Q.** Review in anaerobic digestion of food waste, Heliyon 10, 2024

[4] **Alison E Cox, Cigdem Eskicioglu.** Ammonia recovery via stripping from hydrothermal liquefaction aqueous from sludge for anaerobic co-digestion pretreatment, Chemical Engineering Journal, Volume 496, 2024, 153715, ISSN 1385-8947

[5] **Jizhong Meng, Lin Shi, Yuansheng Hu, Zhongzhong Wang, Zhenhu Hu, Xinmin Zhan.** Integration of anaerobic digestion and electrodialysis for methane yield promotion and in-situ ammonium recovery, Bioresource Technology, Volume 402, 2024, 130770, ISSN 0960-8524

Regione Piemonte-Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti

Paola Molina paola.molina@regione.piemonte.it,
Adele Celauro, Anna Maria Nemo, Paolo Penna, Lucia Venturi Casadei,
Direzione Ambiente, Energia e Territorio – Settore Servizi Ambientali, Regione Piemonte

Riassunto
L'istituto normativo del sottoprodotto è di fondamentale importanza nella transizione ecologica e circolare dell'economia poiché contribuisce ad un utilizzo attento e responsabile delle risorse naturali e alla riduzione della produzione dei rifiuti con conseguenti benefici ambientali ed economici. Tuttavia la fattispecie "sottoprodotto" finora non è stata pienamente utilizzata dal sistema produttivo italiano. Il presente articolo illustra l'iniziativa del Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti (costituito da Regione Piemonte, Arpa Piemonte e Associazioni di categoria) e in particolare l'approccio metodologico utilizzato per fornire un supporto agli operatori nell'applicazione concreta della disciplina dei sottoprodotti. Il gruppo effettua approfondimenti sui casi portati al tavolo dalle associazioni di categoria, per conto dei loro associati, relativamente a residui che presentano elementi di criticità nella gestione ed elabora la documentazione utile per supportare gli operatori a dimostrare il rispetto delle condizioni di sottoprodotto stabilite dalla norma.

Summary
The regulatory framework for by-products is of fundamental importance in the ecological and circular transition of the economy as it contributes to the careful and responsible use of natural resources and the reduction of waste production, resulting in environmental and economic benefits.
However, the by-product regulatory framework has not yet been fully utilized by the Italian production system.
This article aims to illustrate the initiative of the working group on by-products (comprising Regione Piemonte, Arpa Piemonte, and trade associations of Piedmont area) and, in particular, the methodological approach used to support operators in the practical application of the by-product regulations. The group addresses management issues and critical aspects related to by-products and provides useful documentation to help operators meet the conditions established by national regulations.

1. Introduzione

L'art. 184 bis del D.Lgs. 152/2006 [1] definisce il sottoprodotto come sostanza od oggetto originato da un processo di produzione che, rispettando determinate condizioni stabilite dallo stesso articolo, possa essere gestito come bene all'interno della stessa filiera o in una filiera produttiva diversa, senza mai entrare nella disciplina dei rifiuti.
L'istituto normativo del sottoprodotto rientra tra le misure che contribuiscono alla prevenzione della produzione dei rifiuti, prioritaria tra i criteri di gestione dei rifiuti individuati dall'art. 179 del D.Lgs. 152/2006.
La Strategia nazionale per l'economia circolare (approvata con il Decreto MITE n. 259 del 24 giugno 2022) [2] è il documento programmatico all'interno del quale sono individuate le

azioni, gli obiettivi e le misure che si intendono perseguire nella definizione delle politiche istituzionali volte ad assicurare un'effettiva transizione verso un'economia circolare.
Al paragrafo 2.2 si legge:
[...] Perseguire i principi dell'economia circolare rappresenta un'opportunità per creare nuovi modelli d'impresa. Per valutare le possibili soluzioni percorribili è necessario passare da una logica di approccio lineare ad uno circolare, mettendo talvolta in discussione i modelli di business sino ad oggi perseguiti e confrontandosi con le nuove richieste di mercato. [...]
Tra i cambiamenti in corso descritti nei modelli di business si annovera anche la simbiosi industriale, che ridefinisce in termini circolari le catene di fornitura. Simbiosi industriale, riciclo e riuso di materia possono avvantaggiarsi di strumenti per l'incontro tra domanda e offerta di materie prime seconde o di sottoprodotti.
Ciò nonostante l'istituto normativo del sottoprodotto non è stato finora pienamente utilizzato dal sistema produttivo italiano; le motivazioni sono da ricercare in molteplici cause tra cui l'incertezza nell'applicazione della disciplina e la carenza di filiere per l'utilizzo dei sottoprodotti. Questo sistema virtuoso potrebbe portare vantaggi sia ambientali che economici – dalla riduzione dei costi per l'approvvigionamento di materie prime ed energia e per lo smaltimento dei rifiuti alla creazione di nuove opportunità di mercato -, ma è necessario porre le condizioni per operare all'interno del perimetro tracciato dalla normativa e per assicurare la protezione dell'ambiente e della salute. L'utilizzo della disciplina dei sottoprodotti non deve d'altra parte ridursi ad una scorciatoia gestionale per tagliare i costi di trattamento e generare una concorrenza sleale con le attività di riciclo/recupero di rifiuti. Per favorire il raggiungimento degli obiettivi della riduzione dei rifiuti previsti dalla pianificazione regionale e in linea con i principi dell'economia circolare, in un'ottica di collaborazione tra pubblico e privato e nel rispetto della normativa e delle competenze attribuite dall'ordinamento nazionale, la Regione Piemonte, insieme ad Arpa Piemonte e alle Associazioni di Categoria, ha istituito un Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti (di seguito GDL Sottoprodotti) al fine di svolgere approfondimenti su determinati residui di produzione e fornire delle indicazioni operative per l'applicazione della disciplina sui sottoprodotti.
È da evidenziare che, analogamente all'iniziativa del Piemonte, anche altre Regioni hanno provveduto in questi anni ad adottare atti di indirizzo e di supporto per gli operatori al fine di incentivare l'applicazione del regime normativo dei sottoprodotti (si citano ad esempio Emilia Romagna, Lombardia, Toscana, Puglia, Veneto).

2. Relazione

2.1. Inquadramento normativo

La definizione di sottoprodotto è prevista nella legislazione nazionale dal D.Lgs. 152/2006 che, recependo la direttiva europea 2008/98/CE [3], al comma 1 dell'art. 184 bis enuncia:
È un sottoprodotto e non un rifiuto [...] qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfi tutte le seguenti condizioni:
– la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
– è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
– la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
– l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

La qualifica di sottoprodotto non può quindi essere attribuita a qualsiasi residuo/scarto di un processo produttivo, ma soltanto a quei casi che rispettano contestualmente tutte e quattro le suddette condizioni, sin dal momento in cui il residuo viene generato.
Questa previsione normativa costituisce infatti un'eccezione rispetto alla disciplina generale per cui i residui/scarti di produzione vengono classificati e gestiti come rifiuti; si tratta di un regime "di favore" per il produttore, dal momento che la gestione del sottoprodotto, a differenza di quella del rifiuto, non necessita di un'autorizzazione esplicita. Spetta dunque al produttore l'onere di dimostrare la sussistenza di tutte le condizioni di legge per cui il suo residuo costituisce un sottoprodotto e non un rifiuto.
Le quattro condizioni sopra elencate devono sussistere sin dal momento in cui il residuo viene generato ed essere soddisfatte contestualmente: in mancanza di una sola di esse, il residuo è da considerarsi un rifiuto. È da sottolineare che l'art. 184-bis del D.Lgs. 152/2006 pone implicitamente come condizione preliminare quella per cui il produttore/detentore non intenda disfarsi di tali residui.
Con il successivo D.M. 264/2016 sono stati definiti i criteri qualitativi o quantitativi da soddisfare affinché specifiche tipologie di sostanze o oggetti possano essere considerati sottoprodotti e non rifiuti. Infine il Ministero dell'ambiente ha pubblicato la circolare prot. 7619 del 30/05/2017 volta a fornire chiarimenti per un'uniforme applicazione ed univoca lettura del D.M. 264/2016. [4]

2.2. Riduzione della produzione dei rifiuti speciali in Piemonte

La Regione Piemonte ha individuato nella propria pianificazione obiettivi ed azioni per la riduzione della produzione dei rifiuti speciali con l'obiettivo di incentivare lo sviluppo di attività e cicli produttivi che favoriscano la riduzione di residui/scarti e ne facilitino il recupero e lo scambio.
Il Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali, approvato con D.C.R. n. 253-2215 del 16 gennaio 2018 [5], ai fini della prevenzione della produzione di rifiuti (obiettivo 1) e soprattutto dello sviluppo di una "*green economy*" regionale (obiettivo 6) promuove una strategia produttiva che punti agli scambi e alla condivisione di risorse tra due o più industrie, ottimizzando le risorse sul territorio e mettendo in campo una rete di conoscenze e di relazioni in grado di far incontrare industrie anche diverse in modo da valorizzarne i residui di produzione con benefici sia ambientali (riduzione al minimo della produzione di rifiuti e della necessità di trattamento/smaltimento, minor consumo di materie prime, riduzione di emissioni inquinanti), che economici (risparmi nei costi, ad esempio, di smaltimento rifiuti).
Tali obiettivi sono stati ripresi e maggiormente valorizzati nell'ambito dell'aggiornamento della pianificazione regionale sui rifiuti speciali (D.G.R. 26 Giugno 2023, n. 14-7109), che non ha ancora concluso il suo iter di approvazione in Consiglio Regionale; in particolare verrà inserito l'obiettivo specifico trasversale "Promuovere l'istituto dei sottoprodotti mediante l'individuazione di misure e modalità di lavoro in grado di coinvolgere gli operatori del settore" e un'azione specifica relativa all'istituzione di gruppo di lavoro sui sottoprodotti.

2.3. Le linee guida della Regione Piemonte

In questo contesto normativo e pianificatorio e in un'ottica di fattiva collaborazione tra pubblico e privato, con la D.G.R. n. 10-6722 dell'11 aprile 2023 [6] la Regione Piemonte ha approvato le linee guida regionali a supporto dell'applicazione del regime dei sottoprodotti art. 184 bis del D.Lgs. 152/2006 e costituito il Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti.
Premesso come suddetto che non sia possibile qualificare a priori e in via teorica i residui di produzione quali sottoprodotti, in quanto resta onere dell'operatore dimostrare la sussistenza delle condizioni previste dalla norma, le linee guida individuano:
– le modalità operative del GDL Sottoprodotti;

– i contenuti generali che devono riportare le schede tecniche predisposte dal gruppo di lavoro per supportare gli operatori nell'individuazione e qualificazione, caso per caso, di determinati sottoprodotti nell'ambito dei diversi cicli produttivi.

2.4. Gruppo di lavoro sui Sottoprodotti

Il GDL sottoprodotti è composto da rappresentati di Regione Piemonte, di Arpa Piemonte e delle Associazioni di categoria Confindustria Piemonte, Confapi Piemonte, Confartigianato Imprese Piemonte, CNA Piemonte, Casartigiani Piemonte, Ance Piemonte-Valle d'Aosta, Confagricoltura Piemonte, Coldiretti Piemonte e loro articolazioni territoriali.

L'attività del GDL Sottoprodotti si concentra principalmente sui cicli produttivi di particolare interesse per il sistema imprenditoriale piemontese che presentano potenziali elementi di criticità rispetto alla gestione di alcuni residui come sottoprodotti.

Il gruppo ha in particolare lo scopo di:

– svolgere degli approfondimenti su residui di produzione e loro filiere;

– collaborare all'elaborazione delle "schede tecniche sottoprodotti" di carattere generale per sottoprodotti o per filiere produttive ed eventualmente produrre altra documentazione utile che, nel rispetto delle normative vigenti ed in particolare dell'art. 184 bis del D.Lgs. 152/2006, possano supportare l'operatore nell'individuare, caso per caso, determinati sottoprodotti nell'ambito del proprio ciclo produttivo;

– divulgare sul territorio regionale, attraverso i canali di comunicazione istituzionali, le schede tecniche;

– predisporre la metodologia per permettere di acquisire le informazioni utili per il monitoraggio dell'obiettivo di riduzione della produzione dei rifiuti;

– diffondere *best practices* in materia di simbiosi industriale e di riduzione dei rifiuti, favorendo l'incontro tra l'offerta e la domanda al fine di perseguire i criteri di priorità nella gestione dei rifiuti e concretizzare l'avvio di un'economia circolare che porti alla valorizzazione dei materiali, preservando le risorse naturali.

In Figura 1 si riportano sinteticamente le modalità operative di funzionamento del GDL Sottoprodotti.

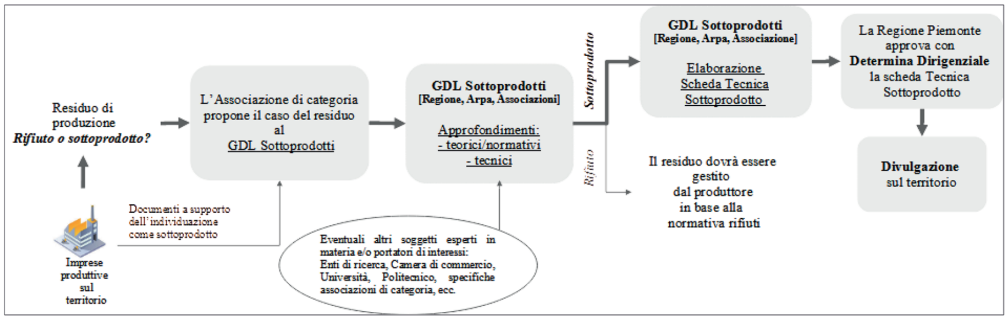


Fig. 1 – *Modalità operativa di funzionamento*

Le schede vengono approvate con determinazione dirigenziale e pubblicate sulla sezione dedicata del sito istituzionale [7], sulla base del modello allegato alla D.G.R.

In data 31/08/2024 risultano approvate:

– Scheda tecnica sottoprodotto n. 1 – Filiera del Tessile (D.D. 19 Luglio 2023, n. 513);

– Scheda tecnica sottoprodotto n. 2 – Filiera lavorazione del caffè (D.D. 13 Ottobre 2023, n. 762);

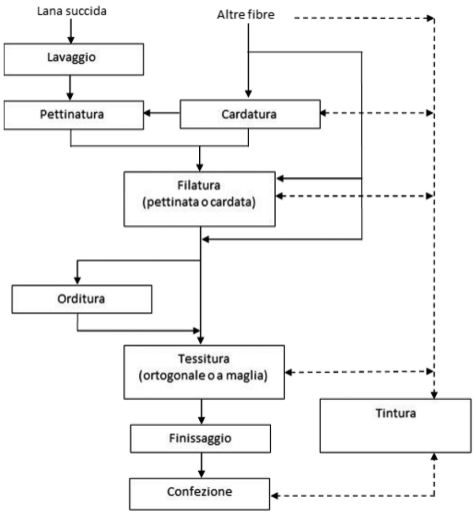
– Scheda tecnica sottoprodotto n. 3 – Rifili in plastica da materiale assorbente per l'igiene della persona (D.D. 29 Novembre 2023, n. 924);

– Scheda tecnica sottoprodotto n. 4 – Sfere in acciaio non conformi per cuscinetti (D.D 12 Marzo 2024, n. 148)
È in corso di approvazione la Scheda tecnica relativa ai residui della produzione della birra.
Le schede descrivono in particolare il processo di produzione da cui si origina il residuo, i criteri per la dimostrazione della sussistenza dei requisiti e le modalità relative alla tracciabilità, conservazione e deposito del sottoprodotto.
A titolo esemplificativo si riporta di seguito l'approccio metodologico adottato del GDL Sottoprodotti per l'approfondimento sui residui della filiera del tessile. Le valutazioni effettuate dal GDL Sottoprodotti sulla filiera del tessile, che hanno riguardato anche la verifica della congruità rispetto alle condizioni previste dall'art.184 bis del D.Lgs. 152/2006, hanno permesso di dare delle indicazioni – tramite la scheda tecnica – agli operatori sulla possibilità di qualificare gli scarti del loro ciclo produttivo.

2.5. Filiera del tessile

2.5.1. Analisi preliminare della filiera – interesse per il territorio piemontese
Il settore del tessile e dell'abbigliamento ha sempre rappresentato una delle eccellenze produttive del Piemonte, con il polo di eccellenza di Biella e realtà significative in tutte le altre province; il comparto possiede un patrimonio importante di imprese, addetti, macchinari, tecnologie, conoscenza, tradizione, cultura, immagine. Nonostante le difficoltà degli ultimi anni più fonti mostrano come il settore tessile, in particolare quello laniero, abbia ripreso a mostrare un quadro positivo trainato anche dagli scambi commerciali.[8]

2.5.2. Approfondimento sul ciclo produttivo e sui residui ottenuti
Sulla base delle informazioni fornite dalle aziende del territorio regionale tramite le proprie associazioni di categoria e dal documento "Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero" prodotto da ARPA Piemonte [9], si è analizzato il ciclo di produzione della filiera tessile.
In ogni fase di lavorazione una parte di materiale può essere scartata per diversi motivi: tale scarto costituisce una perdita significativa che, in alcune lavorazioni, può anche andare oltre il 6% in relazione alla tipologia di materiale lavorato [10].
In Figura 2 si riporta lo schema a blocchi del ciclo di lavorazione e un elenco dei residui di produzione



Denominazione	Fase di lavoro da cui deriva
Blousses da carbonizzare	Pettinatura
Cascami:	
• Volandole	Pettinatura
• Lappole	Slappolatura
• Sottocarda	Cardatura (filatura pettinata)
• Battuto	Filatura a pettine
Blousses da ripettinatura	Pettinatura
Laps	
• Da nastro	Filatura (pettinata)
• Da stoppino	Filatura (pettinata)
Cascami da filatura cardata	
• Sottocarda	Cardatura
• Spurgo misto	Cardatura
• Frasami	Cardatura
Altri cascami	
Cascami da tintura in fiocco o top	Tintura tops o fiocco
Pneumafil (Polverino e pezzi di filo rotto)	Filatura
Scarti di filato	Filatura, orditura e tessitura
Cimosse	Tessitura
Scampoli e scarti di tessuto	Tessitura e confezione
Scarti di corda, funi e cime	Assemblaggio con ritorsione

Fig. 2 – *Ciclo di produzione tessile ed elenco dei residui di lavorazione*

Questi residui, a seconda dei casi, possono essere utilizzati come sottoprodotti in altri o negli stessi cicli produttivi in qualità di sottoprodotti; qualora invece non rispettino i requisiti della normativa dovranno essere gestiti come rifiuti.
Di seguito si riporta in sintesi l'analisi sul rispetto delle condizioni dell'art.184 bis del D.Lgs. 152/2006 per la qualifica di sottoprodotto:
a) Provenienza del residuo da un processo di produzione (e non di consumo)
Si è ritenuto che questo requisito possa ritenersi soddisfatto, poiché i residui elencati in tabella 1 decadono da diverse attività di lavorazione che si snodano tra la pettinatura del filato alla tessitura e confezione del capo.
b) Certezza dell'utilizzo
Il GDL Sottoprodotti, sulla base delle conoscenze acquisite relativamente al settore tessile, ha analizzato ed individuato alcune delle possibili filiere produttive che potrebbero utilizzare residui: industria tessile e calzature, industria dell'arredamento, industria del trasporto, produzione materie prime per l'edilizia, produzione di manufatti in plastica.
Occorre evidenziare che su questo requisito si è concentrata buona parte della giurisprudenza in quanto rappresenta un elemento dirimente sulla qualifica di sottoprodotto: è onere del produttore fornire la prova che un residuo sia destinato con certezza, e non come astratta eventualità, ad un successivo utilizzo. In questo caso particolare la discussione all'interno del GDL Sottoprodotti ha riguardato anche i tempi di deposito dei residui individuati come sottoprodotti: a seconda delle possibilità di uso, infatti, entrano in gioco alcune variabili legate a fattori caratteristici del settore tessile, quali colori e tipologie dei filati, strettamente collegati alle richieste del mercato, con i tempi e le rapide mutazioni che lo contraddistinguono.
c) Utilizzo diretto senza trattamenti diversi dalla normale pratica industriale
Ai fini del loro utilizzo, i sottoprodotti non devono subire alcun trattamento preliminare, ma potranno essere sottoposti soltanto ad attività e operazioni costituenti "normale pratica industriale". La valutazione di questo requisito ha richiesto diversi approfondimenti giuridici e normativi da parte del GDL Sottoprodotti al fine di individuare per ciascun possibile utilizzo quei trattamenti che potrebbero rientrare nella normale pratica industriale. La scheda tecnica contiene un elenco non esaustivo dei trattamenti, suddivisi per le diverse filiere individuate che potrebbero ricevere i sottoprodotti.
d) Legalità dell'ulteriore utilizzo
Comprende sia il rispetto dei requisiti sui prodotti che gli aspetti concernenti la protezione della salute e dell'ambiente. Nell'ambito dell'utilizzo legale sono comprese anche attività di controllo sulle caratteristiche del sottoprodotto in modo da assicurarne la conformità con i requisiti di legge applicabili e i requisiti e le proprietà richieste dall'utilizzatore, al pari di quanto viene effettuato per qualsiasi prodotto immesso sul mercato, compreso il rispetto di eventuali norme tecniche richieste per un determinato utilizzo. Il GDL Sottoprodotti ha richiamato il rispetto dei succitati requisiti e fornito indicazioni in merito alla tracciabilità e agli aspetti gestionali, quali etichettatura, movimentazione e trasporto.

3. Conclusioni

Nonostante l'enorme potenziale dell'istituto normativo dei sottoprodotti nella transizione ecologica, la sua applicazione è ancora oggi limitata e le diverse iniziative che si stanno attivando sul territorio comprese quelle regionali possono aiutare a chiarire alcuni aspetti delle normativa, risolvere i dubbi degli operatori del settore e dare loro più fiducia.
Le attività del GDL Sottoprodotti sono finalizzate a dare una risposta alle difficoltà riscontate dalle aziende del territorio piemontese. Al fine di rafforzare gli effetti si ritiene inoltre che dovrebbero essere favorite e incentivate tutte le attività di collaborazione e scambio di esperienze ed informazioni tra gli enti e i soggetti coinvolti, per creare delle sinergie tra i territori e dare maggior risonanza alle singole iniziative.

La progressiva e sempre maggiore attenzione nella gestione dei residui di produzione richiesta agli operatori dalle diverse disposizioni normative, anche nell'ottica di obiettivi di circolarità e sostenibilità sempre più ambiziosi, porterà in futuro le aziende ad aumentare il loro impegno per ottimizzare la riduzione e la gestione dei residui di produzione e dare valore alle risorse, oggi considerate scarto, creando un sistema virtuoso di scambio e di reti di aziende incentrate sui principi della simbiosi industriale.

Bibliografia

[1] Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"
[2] Decreto MITE n. 259 del 24 giugno 2022 "Adozione della Strategia nazionale per l'economia circolare"
[3] Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive
[4] Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (ora Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica), 13 ottobre 2016 n. 264 "Regolamento recante criteri indicativi per agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti", in vigore dal 2 marzo 2017;
Circolare ministeriale prot. 7619 del 30/05/2017 "Circolare esplicativa per l'applicazione del Decreto ministeriale 13 ottobre 2016, n. 264"
[5] Deliberazione del Consiglio regionale 16 gennaio 2018, n. 253-2215 Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali (PRRS)
[6] Deliberazione della Giunta Regionale del Piemonte dell'11 aprile 2023, n. 10-6722, recante "Approvazione delle Linee guida regionali a supporto dell'applicazione del regime dei sottoprodotti art. 184 bis del D.lgs. 152/2006. Costituzione del "Gruppo di Lavoro sui Sottoprodotti"
[7] https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/rifiuti/gruppo-lavoro-sui-sottoprodotti
[8] IRES Piemonte Politiche Piemonte, Filiera del Tessile, 45/2017
[9] Arpa Piemonte "Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero" https://www.isprambiente.gov.it/public_files/cicli_produttivi/Tessile/Tessile_lana.pdf

Metodologia per la minimizzazione della produzione di scarti e per la valorizzazione circolare degli stessi: l'analisi dei nostri case study

Gaia Liberatori g.liberatori@gmambiente.it, Alessandro Scuro, Federica Gentilini, Valerio Castellani, Flavia Lucarini
GM Ambiente & Energia

Riassunto
GM Ambiente & Energia è una società con sede a Roma che opera come intermediario nella gestione di rifiuti su scala nazionale, e offre servizi di consulenza in materia di Sostenibilità. Quest'ultima, infatti, è uno dei principi fondamentali della società, che supporta i clienti nella revisione circolare dei processi per ridurre la produzione di scarti e individuare opportunità per il loro reimpiego.
Il processo collega diversi attori, creando sinergie e facendo, così, nascere collaborazioni con vari partner con l'obiettivo di riutilizzare scarti e materiale di recupero in ottica di valorizzazione circolare.
Questo è un esempio virtuoso, di come innovazione e sostenibilità, andando di pari passo, possano migliorare la qualità dei prodotti e ridurre l'impatto ambientale tramite una gestione responsabile delle risorse.

Summary
GM Ambiente & Energia is a Rome-based company that acts as an intermediary in of waste management on a national scale, and offers consultancy services in Sustainability. The latter is one of the company's fundamental principles, as it supports clients in the circular review of processes to reduce waste production and identify opportunities for its reuse. The process connects various stakeholders, creating synergies to enhance the circular valorization of waste materials. This is the beginning of a collaboration with Artigo Spa, a leading company in the elastomers sector, which adopts an innovative approach to the design of civil and industrial flooring, by using industrial waste and recycled materials, with a view to circular valorization. This is a virtuous example of how innovation and sustainability, going hand in hand, can improve product quality and reduce environmental impact through responsible resource management.

1. Introduzione

L'economia circolare, definita dalla Commissione Europea nel 2015 come "un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile"[1], rappresenta un paradigma fondamentale per lo sviluppo sostenibile.
Nell'ambito dell'economia circolare, fondamentale importanza ha il concetto di sottoprodotto, ovvero, "qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa le condizioni di cui all'articolo 184-bis, comma 1, o che rispetta i criteri stabiliti in base all'articolo 184-bis, comma 2" [2].

Un ulteriore passaggio nel processo circolare, riguarda la trasformazione di materiali di scarto o rifiuti in materia prima seconda (MPS). Quest'ultima può essere definita come "il prodotto della trasformazione di materiali di scarto o rifiuti attraverso processi di riciclo. Il loro scopo principale è reintegrarli nel ciclo produttivo, prevenendo il conferimento in discarica o l'incenerimento. Le MPS assumono un'importanza strategica nell'ambito dell'economia circolare, poiché consentono di diminuire l'utilizzo di risorse vergini, riducendo così l'impatto ambientale legato all'estrazione e al consumo di nuove risorse naturali" [3].
In questo contesto, la minimizzazione degli scarti di produzione è un elemento chiave.
La nostra organizzazione supporta quotidianamente le organizzazioni nella revisione dei processi produttivi, con l'obiettivo di ridurre in prima istanza la produzione di scarti e, successivamente, di esplorare opportunità per il loro riutilizzo in altri cicli produttivi.
Questa relazione descrive la nostra metodologia di analisi e i risultati raggiunti tramite specifici case study.

2. Relazione

Il nostro approccio metodologico per la riduzione e valorizzazione degli scarti coinvolge una rete di attori che include aziende produttrici, laboratori di analisi, enti di ricerca e partner tecnologici, in ottica di creazione di sinergie industriali.
GM Ambiente & Energia adotta un approccio completo nella gestione dei progetti di recupero e riutilizzo degli scarti, seguendo tutte le fasi dalla ricerca del cliente fino alla comunicazione dei risultati.
Il processo si articola nei seguenti passaggi:
– ricerca e selezione del cliente: l'azienda stabilisce contatti con imprese che necessitano di specifici materiali per i propri processi produttivi, identificando nuove modalità per il riutilizzo degli scarti;
– selezione del produttore e tipologia di scarto: Dopo aver individuato le necessità del cliente, GM Ambiente & Energia cerca il produttore degli scarti richiesti. In questa fase, viene anche eseguita una valutazione del materiale tramite analisi di caratterizzazione, evidenziando le caratteristiche chimico-fisiche e le potenzialità di recupero;
– consulenza amministrativo-legale: GM Ambiente & Energia fornisce assistenza nella preparazione della documentazione utile a ad attribuire al materiale la qualifica di sottoprodotto, in ottemperanza al DM 264/2016;
– selezione partner tecnici e gestione della logistica: l'azienda individua un partner tecnico specializzato nella lavorazione degli scarti per trasformarli in nuovi materiali. Coordina inoltre la logistica, gestendo il trasporto degli scarti dal produttore fino all'azienda utilizzatrice. Tale fase risulta critica poiché si potrebbero riscontrare delle difficoltà nel selezionare gli impianti di trattamento e recupero, soprattutto per via della carenza di adeguate infrastrutture regolamentate e autorizzate al recupero di risorse.
– momunicazione esterna del progetto: infine, i risultati del progetto vengono diffusi attraverso canali di comunicazione online e offline.
In alcuni casi, le due fasi iniziali possono essere invertite, nel caso in cui sia il produttore degli scarti a cercare soluzioni per il riutilizzo dei propri materiali.
Questo processo integrato riflette l'impegno di GM Ambiente & Energia nell'ottimizzare l'intero ciclo di vita degli scarti, trasformandoli in risorse produttive per altre aziende.
In particolare, questa metodologia è stata applicata su un campione di dieci aziende. Quattro di queste hanno completato con successo il percorso avviato, arrivando così alla realizzazione di nuovi prodotti derivanti da materiali di scarto (Tab. 1).

Stato di Avanzamento progetti circolari 2022 – 2024	Numero di Aziende	Percentuale
Aziende che hanno completato il percorso	4	40%
Aziende che non hanno completato il percorso	6	60%
Totale	10	100%

Tab. 1 – *Percentuali realizzazione progetti circolari*

L'approccio metodologico utilizzato, si articola secondo fasi già definite, rendendo scalare e replicabile il processo. L'esito positivo di ogni fase determina il buon esito del progetto e l'avvio della fase successiva. (Fig. 1):



Fig. 1 – *Approccio metodologico*

In particolare, tale metodologia è stata impiegata per migliorare l'uso circolare dei materiali di scarto provenienti dall'industria dell'arredo. Un esempio è l'impiego di gomma vulcanizzata di scarto (MPS) conpound per la realizzazione di pavimentazione civile ed industriale resiliente.
L'impiego di sottoprodotti e MPS viene inoltre abbinati allo sviluppo di soluzioni digitali a supporto della catalogazione e individuazione di BAT per il recupero dei materiali, in ottica di ecodesign. Sono stati realizzati prodotti (o prototipi finali) di complementi di arredo interamente contenenti elevate quantità di materiale di recupero in sostituzione delle componenti vergini.

2.1 Case Study 1: Pavimentazione Civile e Industriale Resiliente
Il primo case study riguarda lo sviluppo di nuove tecniche per la produzione e la manutenzione di pavimentazioni civili e industriali, utilizzando materiali di scarto. Attraverso l'innovazione tecnologica, siamo riusciti a creare pavimentazioni resistenti e sostenibili, riducendo l'impiego di risorse vergini e limitando il conferimento in discarica degli scarti.
Lo studio ha consentito la realizzazione di due tipologie di elastomero:
– il materiale LAVA, caratterizzato da una superficie goffrata con effetto pietra;
– il materiale ND UNI, con una finitura liscia in tinta unita.
Entrambi i materiali provengono da gomma di alta qualità e sono realizzati attraverso un complesso processo interno che parte dalla mescolazione delle materie prime fino alla formatura e vulcanizzazione del prodotto finale (Fig.2).
Per conferire una maggiore resistenza alle gomme utilizzate e garantire una migliore performance delle stesse, è fondamentale l'aggiunta di vari componenti come, cariche minerali che

conferiscono al materiale un aumento di densità, e agenti vulcanizzanti come lo zolfo, fondamentale per la reticolazione/vulcanizzazione del composto.



Fig. 2 – *Processo di trasformazione*

Il materiale verniciato presenta le seguenti caratteristiche:
– impermeabilità;
– adattabilità ad uso interno;
– presenza di eccellenti proprietà acustiche;
– riduzione del rumore da calpestio fino a 20 dB.
La densità del materiale è di 1,6 kg/dm³ e offre una buona resistenza agli agenti chimici e atmosferici.
In termini di sicurezza, gli elastomeri hanno una durezza media di 90, una resistenza all'abrasione con un valore di 140, sono termicamente conduttivi e resistono al fuoco con una classificazione Bfl-s1. Le finiture possibili includono texture effetto pietra, rilievi a bolli rotondi e verniciatura in tinta unita. I materiali sono privi di PVC, metalli pesanti e alogeni, assicurando basse emissioni di VOC e hanno una vita utile stimata di 35 anni.

2.2 Case Study 2: Industria dell'Arredamento
Un altro case study ha riguardato l'uso circolare dei materiali di scarto nell'industria dell'arredamento. Stiamo testando una soluzioni digitali per ottimizzare i processi produttivi e di trattamento dei materiali di scarto, permettendo la realizzazione di complementi d'arredo interamente realizzati con materiali riciclati. Analogamente al caso delle pavimentazioni, in cui sono stati utilizzati materiali come LAVA e ND UNI, anche per i complementi d'arredo abbiamo adottato una strategia che valorizza i materiali di scarto attraverso tecniche avanzate di produzione e rifinitura. Come i materiali elastomerici studiati nel primo case study, i prodotti per l'arredamento garantiscono sicurezza e sostenibilità, essendo privi di sostanze dannose.
Questo approccio circolare ha permesso di ridurre significativamente l'impatto ambientale e di creare valore aggiunto dal riutilizzo degli scarti, dimostrando come l'innovazione possa coniugarsi efficacemente con la sostenibilità.

3. Risultati
I principali benefici ambientali e climatici correlati ai progetti realizzati da GM Ambiente & Energia possono essere così riassunti:
– Riduzione dell'utilizzo di materie prime e conseguente riduzione dell'impatto dell'intera supply chain: fattore cruciale per una gestione sostenibile dell'intera catena di fornitura. GM Ambiente & Energia lavora insieme ai suoi partner per progettare prodotti che integrino scarti industriali e materiali di recupero, riducendo così la domanda di nuove materie prime. Questo approccio non solo minimizza l'impatto ambientale, ma migliora anche l'efficienza economica e la sostenibilità dei processi produttivi.
– Riutilizzo degli scarti industriali e riduzione del quantitativo di rifiuti avviati a smaltimento o recupero;
– Implementazione di nuovi e migliori metodi per la gestione del fine vita del prodotto: ciò include la progettazione per il disassemblaggio e facilita il riciclaggio dei componenti e la creazione di programmi di raccolta e riciclo;

– Sviluppo di nuove tecnologie e metodi di produzione: gli sforzi di GM Ambiente & Energia e dei suoi partner nel potenziare le proprie attività di ricerca e sviluppo, sperimentando l'uso di scarti e sottoprodotti ecocompatibili nelle loro pavimentazioni ed elementi di arredo, e l'adozione di tecnologie avanzate per la lavorazione e vulcanizzazione della gomma mirano a migliorare la sostenibilità e l'efficienza dei processi produttivi, riducendo l'impatto ambientale complessivo;
Ad oggi, per tale tipologia di progetti e prodotti, non si può parlare esclusivamente di risultati economici diretti, ma occorre analizzare due aspetti principali:
– Circolarità, ovvero supply chain del materiale riciclato;
– GWP (Global Warming Potential).
I prodotti di recupero si caratterizzano per un basso impatto ambientale, ma presentano dei costi maggiori rispetto a materiali vergini; quest'ultimi, al contrario, hanno un costo più basso, ma un impatto più alto rispetto a materiali riciclati.
Tuttavia, l'utilizzo di materiali riciclati permette di compensare gli impatti derivanti dall'utilizzo di materiali di origine biologica a maggior impatto. Dunque, il nostro obiettivo è sviluppare nuove formulazioni che prevedano l'utilizzo di entrambe le tipologie di materiale al fine di compensare il maggiore e il minore impatto ed il maggiore e minore costo.
Principalmente, i benefici economici che ci attendiamo sono legati alla gestione del fine vita del prodotto.

4. Conclusioni
La nostra metodologia di minimizzazione degli scarti ha dimostrato come un approccio circolare possa non solo ridurre l'impatto ambientale, ma anche creare nuove opportunità economiche. La collaborazione tra diversi attori e l'innovazione tecnologica sono stati fattori chiave per il successo dei nostri progetti. Continuiamo a migliorare e adattare le nostre strategie in risposta alle nuove sfide ambientali e tecnologiche.
In conclusione, nonostante i progressi fatti nell'ambito della gestione sostenibile dei rifiuti e della valorizzazione circolare, persistono alcune criticità che ne ostacolano la piena attuazione. Il quadro normativo poco chiaro rappresenta un ostacolo significativo, generando incertezze tra gli operatori del settore e rallentando i processi decisionali e operativi.
In particolare, tali incertezze derivano principalmente da:
– Ambiguità nella definizione di sottoprodotti e rifiuti**:** spesso vi è incertezza nel distinguere un rifiuto da un sottoprodotto. Ciò influenza la possibilità di riutilizzare materiali di scarto in modo legale e sicuro. L'incertezza deriva principalmente dall'interpretazione del DM 264/2016, il quale disciplina la qualificazione dei sottoprodotti.
– Mancanza di linee guida uniformi a livello europeo: le normative possono variare tra i vari Stati membri dell'UE, rendendo complicato per le aziende operare in un contesto uniforme.
– Processo di ottenimento delle autorizzazioni lento e complesso: le aziende devono ottenere autorizzazioni per trattare o smaltire rifiuti o per utilizzare sottoprodotti e i processi amministrativi rallentano l'innovazione e l'implementazione di pratiche circolari.
Normative ambientali stringenti: in alcuni casi, le normative ambientali non considerano le possibili tecnologie innovative. Questo può limitare il riutilizzo di materiali che, pur avendo potenziale, non rientrano nelle categorie regolamentate.
Inoltre, la carenza di impianti di recupero adeguati limita la capacità di reintegrare efficacemente i materiali nei cicli produttivi, riducendo così le potenzialità di valorizzazione dei rifiuti.
È essenziale quindi intervenire su questi aspetti per favorire un sistema più efficiente e sostenibile.

Fonti
Documentazione e letteratura GM Ambiente & Energia

Bibliografia
[1] European Commission. (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy.
[2] Art. 183 del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006)
[3] Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

I Benefici Ambientali di una Filiera Regionale per il Vetro: Il Caso 100% Sicilia

[1]Lucrezia Lamastra lucrezia.lamastra@unicatt.it, [2]Leonardo Spera, [3]Chiara Ponti, [3]Ernesto Ghigna, [4]Marco Catalano
[1]Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza
[2]Anci Sicilia, Catania
[3]O-I Italy S.p.A., Varese
[4]Sarco S.r.l., Trapani

Riassunto
Attualmente, la produzione e il consumo di cibo sono riconosciuti tra le attività umane che generano enormi pressioni e impatti sull'ambiente. Tra tutte, la filiera del vino emerge come una delle più analizzate a causa della sua rilevanza significativa sia nella produzione economica che nel mercato mondiale della distribuzione. È importante notare che tra il 29% e il 64% dell'impronta carbonica di una bottiglia di vino è attribuibile al packaging. Questo studio esamina i benefici ambientali relativi ad una filiera regionale per il riciclo del vetro in Sicilia, concentrandosi sull'iniziativa "100% Sicilia" che vede la partecipazione congiunta di Sarco S.r.l., azienda specializzata nel trattamento e nel recupero del vetro, O-I Italy S.p.A., industria vetraria appartenente al più grande gruppo mondiale produttore di imballaggi in vetro, e la fondazione Sostain Sicilia che riunisce 40 aziende vinicole siciliane. La bottiglia in oggetto viene realizzata da O-I con il vetro "pronto forno" fornito da Sarco e proveniente dalla raccolta differenziata siciliana. La bottiglia ottenuta viene quindi impiegata dalle aziende aderenti alla Fondazione SOStain Sicilia. Nell'ambito dello studio è stato analizzato, attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA) il beneficio ambientale associato alla bottiglia 100% Sicilia. I risultati ottenuti attraverso il metodo EF 3.0 dimostrano che la bottiglia 100% Sicilia, caratterizzata da un peso di 410 g, contenuto di vetro riciclato superiore al 90% e filiera siciliana, comporta significative riduzioni in tutte le categorie di impatto rispetto allo scenario baseline. Questi risultati suggeriscono che un approccio regionale al riciclo del vetro non solo supporta una produzione vinicola sostenibile, ma promuove anche i principi dell'economia circolare, migliorando gli esiti ambientali e favorendo lo sviluppo economico locale. Questa ricerca sottolinea l'importanza di integrare pratiche di riciclo regionale per mitigare gli impatti ambientali del packaging del vino e contribuisce a obiettivi di sostenibilità più ampi.

Summary
Currently, food production and consumption are recognized as human activities that generate significant pressures and impacts on the environment. Among all, the wine supply chain emerges as one of the most analyzed due to its significant relevance in both economic production and the global distribution market. It is important to note that between 29% and 64% of the carbon footprint of a bottle of wine is attributable to packaging. This study examines the environmental benefits of a regional glass recycling supply chain in Sicily, focusing on the "100% Sicilia"

initiative, which involves the joint participation of Sarco S.r.l., a company specialized in glass treatment and recovery, O-I Italy S.p.A., a glass industry belonging to the largest global producer of glass packaging, and the Sostain Sicilia foundation, which brings together 40 Sicilian wineries. The bottle in question is produced by O-I with "furnace-ready" glass provided by Sarco and sourced from Sicilian separate collection. The resulting bottle is then used by the companies affiliated with the SOStain Sicilia Foundation. As part of the study, the environmental benefit associated with the 100% Sicilia bottle was analyzed through a Life Cycle Assessment (LCA). The results obtained through the EF 3.0 method demonstrate that the 100% Sicilia bottle, weighing 410 g, containing over 90% recycled glass, and produced within the Sicilian supply chain, results in significant reductions across all impact categories compared to the baseline scenario. These results suggest that a regional approach to glass recycling not only supports sustainable wine production but also promotes the principles of the circular economy, improving environmental outcomes and fostering local economic development. This research highlights the importance of integrating regional recycling practices to mitigate the environmental impacts of wine packaging and contributes to broader sustainability goals.

1. Introduzione

Attualmente, la produzione e il consumo di cibo sono riconosciuti tra le attività umane che generano enormi pressioni e impatti sull'ambiente [1]. Tra tutte, la filiera del vino emerge come una delle più analizzate a causa della sua notevole rilevanza sia nella produzione economica che nel mercato mondiale della distribuzione [2]thus allowing the identification of environmental hot spots of the production process and providing support for strategic decisions aimed at its improvement and optimization. After an introduction and a brief analysis of the wine sector worldwide (Section 7.2.

LCA (Life Cycle Assessment) è un'analisi quantitativa basata su modelli che dimostrano la relazione tra cause ed effetti. Esaminando le risorse utilizzate durante il processo produttivo, essa mette in luce le conseguenze ambientali associate al prodotto finale, oggetto dell'analisi. La misurazione di queste conseguenze è espressa attraverso diverse categorie di impatto, con il numero specifico che dipende dalla metodologia scelta. Questa metodologia comprende l'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio, estendendosi dalla sua creazione alla sua eliminazione (dal "cradle to grave").

Dalla analisi di letteratura emerge che uno dei processi più impattanti nella produzione del vino è quello relativo al packaging. Nei diversi studi, gli autori descrivono spesso possibili strategie di mitigazione per ridurre l'elevato impatto del packaging sull'intero processo produttivo. Le strategie più citate riguardanti il packaging primario nella letteratura sono:

- Ridurre il peso delle bottiglie di vetro [3–6]
- Aumentare il contenuto di vetro riciclato nelle bottiglie di vetro [5–8]a
- Implementare un sistema di riutilizzo delle bottiglie di vetro in contesti locali; diversi autori hanno affermato che il sistema deve avere dimensioni con un raggio non superiore a 100 km [7,9]
- Pochi studi hanno anche sostenuto che l'uso di packaging alternativi porterebbe a benefici ambientali [3,10]. Tuttavia, questa strategia non è applicabile nel breve termine a causa del comportamento dei consumatori. I consumatori hanno dimostrato di associare un packaging più pesante a una qualità superiore del prodotto; di conseguenza, un packaging alternativo, come suggerito, farebbe percepire una qualità inferiore del vino [11]

L'obiettivo di questo lavoro, pertanto è valutare i potenziali benefici ambientali della produzione di bottiglie 100% Sicilia.

2. Relazione

2.1 SOStain e 100% Sicilia

SOStain – Save Our Souls, lanciato nel 2008 con il supporto del Ministero dell'Agricoltura, rappresenta la prima iniziativa di sostenibilità per il settore vinicolo riconosciuta a livello italiano. Questo programma è specificamente pensato per affrontare le problematiche di sostenibilità nell'industria vinicola siciliana. Mira a sostenere diversi aspetti legati al sistema di produzione, inclusi il paesaggio, la biodiversità, la forza lavoro e i consumatori, tra gli altri. Il suo obiettivo principale è promuovere un approccio di sviluppo che sia ecologicamente sostenibile, socialmente equo ed economicamente efficiente. Il programma prevede dieci requisiti fondamentali che le aziende vinicole partecipanti devono soddisfare in termini di criteri organizzativi per ottenere la certificazione da parte di un ente terzo indipendente (https://www.fondazionesostainsicilia.it/).

In questo contesto, nel 2022 è stato avviato il progetto "Cento per cento Sicilia", che rappresenta il caso di studio analizzato in questo elaborato. La Fondazione SOStain, in collaborazione con l'azienda siciliana di trattamento dei rifiuti di vetro e metallo Sarco S.r.l. e lo stabilimento di Marsala della vetreria O-I, ha introdotto tre bottiglie per la rete di aziende certificate SOStain. Queste bottiglie pesano 410 g o 500 g e sono realizzate con il 90% di vetro riciclato, proveniente interamente dal servizio di riciclaggio del vetro della regione. Questo progetto si allinea con il requisito 8 del disciplinare SOStain relativo al peso del packaging e al requisito 5 che richiede di localizzare la produzione e l'approvvigionamento degli input, il tutto per ridurre l'impronta ambientale del del vino.

2.2 Metodologia Product Environmental Footprint

Lo studio è stato condotto secondo la metodologia Product Environmental Footprint. L'Unione Europea ha pubblicato linee guida specifiche per le categorie di prodotto basate sulla metodologia LCA. Queste linee guida sono chiamate Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR). Esse mirano ad armonizzare gli standard e le procedure utilizzati negli studi riguardanti beni consumati e venduti all'interno degli Stati membri dell'Unione Europea. Nel caso delle PEFCR per il vino, queste definiscono il prodotto, l'unità funzionale (FU), i confini del sistema e tutte le fasi del processo produttivo, specificando quali di queste devono essere incluse negli studi e quali possono essere escluse per mancanza di dati.

2.3 Analisi LCA

L'obiettivo principale di questo studio era valutare e confrontare l'impatto ambientale delle misure di mitigazione associate al packaging del vino, utilizzando il caso studio "Cento per cento Sicilia". L'unità funzionale è la bottiglia di vino da 750 ml, e i confini del sistema sono riportati in figura 1. A tal fine, sono stati analizzati diversi scenari per le bottiglie di vino in vetro diversi in funzione di:

- contenuto in vetro riciclato (RC) variabile dal 55 al 90%;
- peso della bottiglia che è stato alternativamente impostato pari al benchmark imposto dal programma (550 g/bottiglia), al peso medio delle bottiglie delle aziende certificate (505 g/bottiglia), oppure pari al peso della bottiglia 100% Sicilia (410 g/bottiglia).
- Distanza tra il fornitore e la azienda presso il quale la bottiglia viene impiegata. Per la distanza si è calcolato 140 km di media ponderata tra la vetreria O-I situata in Sicilia e le aziende aderenti al programma, mentre in caso di acquisto da altre vetrerie si è impostata una distanza di 1000 km;

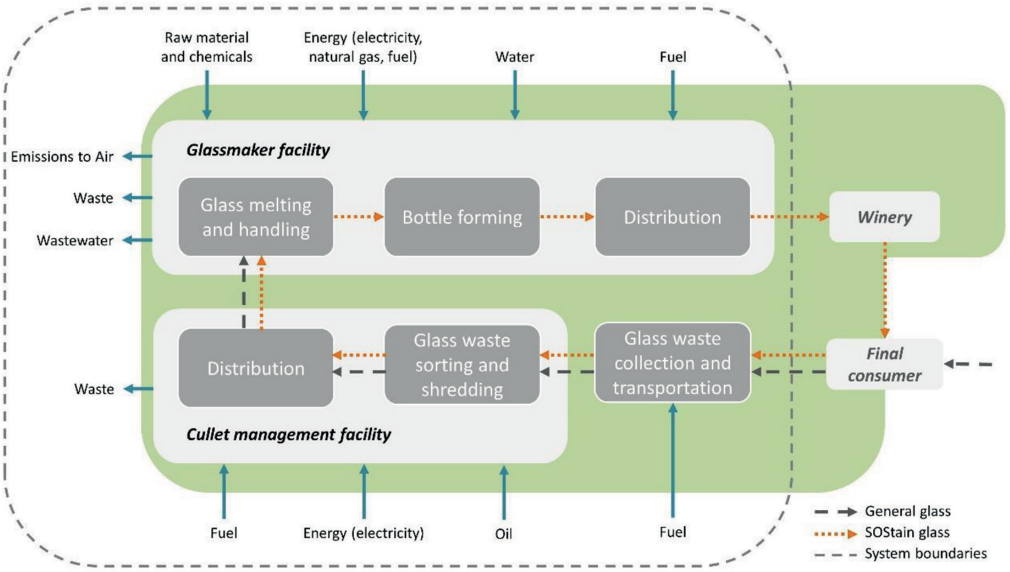


Fig. 1 – *Confini del sistema analizzato*

Dati primari sono stati raccolti direttamente dal produttore. Essi riguardano le caratteristiche della bottiglia 100% Sicilia e sono riportati nella tabella 1 seguente:

	Input	Value	Unit
Bottle characteristics	Bottle weight	0.410	kg
	Number bottles	1,740,000	
	Recycled glass content	90	%
Glass waste collection	Transport	0.206	tkm/kg cullet
Cullet management	Shredding	0.022	kWh/kg cullet
	Transport	0.0007	tkm/kg cullet
Glassmaker	Silica Sand	0.063	kg/kg glass
	Soda ash	0.019	kg/kg glass
	Dolomite	0.013	kg/kg glass
	Feldspar	0.003	kg/kg glass
	Lime	0.009	kg/kg glass
	Chemical inorganic	0.005	kg/kg glass
	Natural gas	0.133	m3/kg glass
	Electricity	0.173	kWh/kg glass
	CO2	0.639	kg/kg glass
	Transport	0.057/0.41	tkm/bottle

Tab. 1 – *Dati primari impiegati per lo studio LCA*

2.4 Risultati

La figura seguente (Fig. 2) riporta i risultati delle 6 diverse bottiglie analizzate in termini di impronta carbonica. La bottiglia 100% Sicilia mostrata in arancione nella figura risulta quella con emissioni inferiori, pari al 52,5% di quelle della bottiglia rispondente al benchmark imposto dal programma, contenuto di vetro riciclato del 55% e distanza dal produttore della bottiglia all'azienda di impiego di 1000 km.

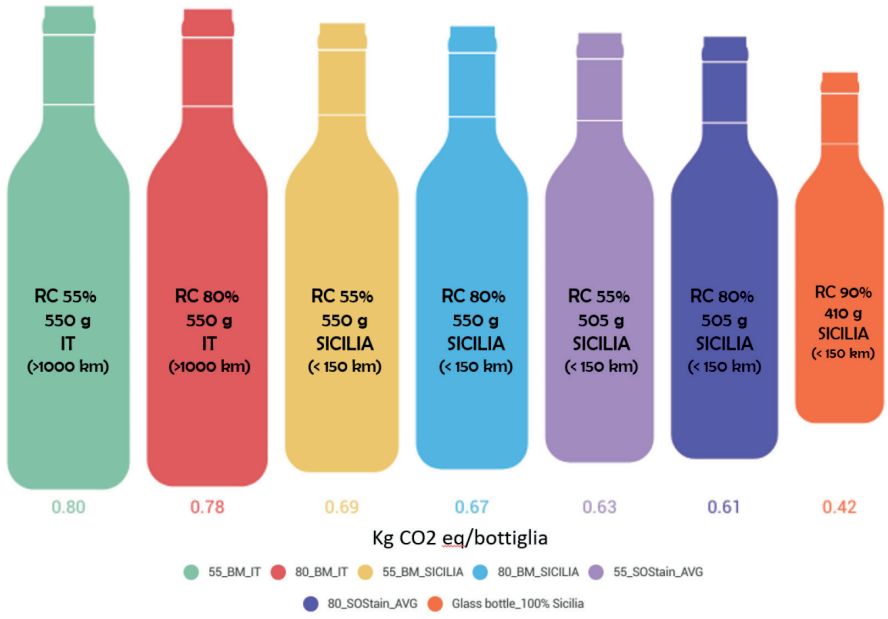


Fig. 2 – *Risultati dell'impronta carbonica delle bottiglie analizzate*

Nella figura 3 sono invece riportati i risultati dell'analisi condotta secondo la metodologia PEF, normalizzati e pesati. Anche in questo caso la bottiglia 100% Sicilia è caratterizzata da impatti ambientali più bassi delle altre bottiglie in analisi. I risultati permettono anche di individuare le categorie di impatto che contribuiscono maggiormente all'impatto complessivo. Il cambiamento climatico, l'emissione di particolato e l'uso di risorse fossili, sono le categorie di impatto che è possibile ridurre in modo significativo passando alla bottiglia 100% Sicilia.

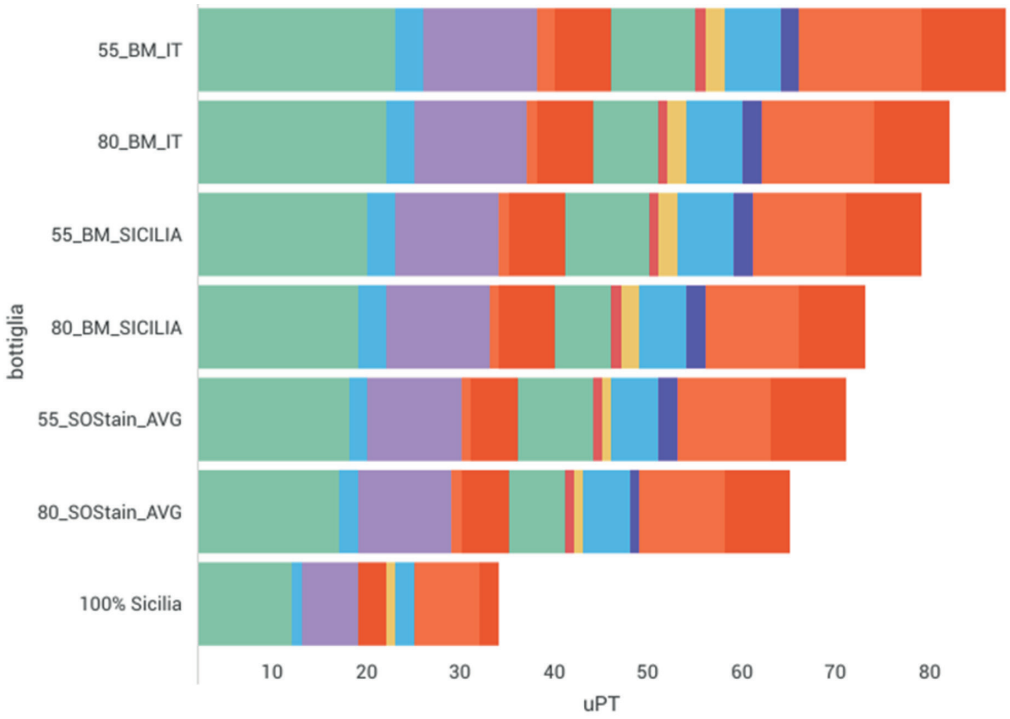


Fig. 3 – *Risultati normalizzati e pesati ottenuti con metodologia PEF per le bottiglie analizzate*

3. Conclusioni

Questo studio ha permesso di evidenziare come l'adozione della bottiglia "100% Sicilia" rappresenti una scelta strategica vincente al fine di ridurre significativamente l'impronta ambientale associata alla produzione del vino. L'analisi LCA ha dimostrato, infatti, che questa soluzione, caratterizzata da un elevato contenuto di vetro riciclato, un peso ridotto e una produzione localizzata, permette di diminuire in modo considerevole sia le emissioni di gas serra sia le altre categorie di impatto, come evidente dai risultati normalizzati e pesati ottenuti. Il progetto "Cento per cento Sicilia" si presenta quindi come un esempio virtuoso di come sia possibile agire a livello locale per migliorare la sostenibilià.

Bibliografia

[1] **M.A. Curran**, Life cycle assessment in the agri-food sector: case studies, methodological issues, and best practices, Int. J. Life Cycle Assess. 21 (2016) 785–787. https://doi.org/10.1007/s11367-015-0977-5.

[2] **F. Scrucca, E. Bonamente, S. Rinaldi**, Chapter 7 – Carbon Footprint in the Wine Industry, in: S.S.B.T.-E.C.F. Muthu (Ed.), Butterworth-Heinemann, 2018: pp. 161–196. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812849-7.00007-6.

[3] **M. Meneses, C.M. Torres, F. Castells**, Sensitivity analysis in a life cycle assessment of an aged red wine production from Catalonia, Spain, Sci. Total Environ. 562 (2016) 571–579. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.083.

[4] **G.A. Tsalidis, Z.-P. Kryona, N. Tsirliganis**, Selecting south European wine based on carbon footprint, Resour. Environ. Sustain. 9 (2022) 100066. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100066.

[5] **L. Pinto da Silva, J.C.G. Esteves da Silva**, Evaluation of the carbon footprint of the life cycle of

wine production: A review, Clean. Circ. Bioeconomy. 2 (2022) 100021. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100021.
[6] **J. García García, B. García Castellanos, B. García García**, Economic and Environmental Assessment of the Wine Chain in Southeastern Spain, Agronomy. 13 (2023). https://doi.org/10.3390/agronomy13061478.
[7] **D. Landi, M. Germani, M. Marconi**, Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium, Procedia CIRP. 80 (2019) 399–404. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.054.
[8] **C. Ferrara, G. De Feo**, Comparative Life Cycle Assessment of Two Different Packaging Systems for Extra-Virgin Olive Oil: Glass Bottle vs. 100% Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle, Sustainability. 15 (2023). https://doi.org/10.3390/su15043665.
[9] **C. Ferrara, G. De Feo**, Comparative life cycle assessment of alternative systems for wine packaging in Italy, J. Clean. Prod. 259 (2020) 120888. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120888.
[10] **A.A. Martins, A.R. Araújo, A. Graça, N.S. Caetano, T.M. Mata**, Towards sustainable wine: Comparison of two Portuguese wines, J. Clean. Prod. 183 (2018) 662–676. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.057.
[11] **J. Soares, P. Ramos, F. Poças**, Is lightweighting glass bottles for wine an option? Linking technical requirements and consumer attitude, Packag. Technol. Sci. 35 (2022) 833–843. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.2680.

Economia circolare nel settore della cancelleria – LEGAMI – Esauriti for the Planet

Natascia Ghilardi, natascia.ghilardi@legami.com – LEGAMI – Bergamo; Ciro Liguori – liguoriciro@virgilio.it – Assa Sas Milano; Paolo Arcelli – paolo.arcelli@plasticconsult.it – Plastic Consult – Milano.

Riassunto

LEGAMI, in collaborazione con il Comune di Bergamo, ha lanciato il primo innovativo progetto di economia circolare della cancelleria nelle scuole "Esauriti for the Planet". L'obiettivo è sensibilizzare i giovani e la comunità sul tema del recupero della plastica che compone la cancelleria scolastica, rigenerando così un rifiuto che altrimenti sarebbe indifferenziato e destinato alla discarica o nella migliore delle ipotesi all'incenerimento. Attraverso il progetto pilota su Bergamo è stato attivato un circolo virtuoso che LEGAMI ambisce rendere "Best Practice" da replicare coinvolgendo sempre più studenti e istituti su scala nazionale. L'analisi di fattibilità è iniziata nel 2023, evidenziando come tutti gli stakeholder coinvolti nella filiera dei prodotti plastici fossero interessati ad un progetto che si dedicasse al recupero delle plastiche coinvolte nei prodotti da cancelleria, oltre alla necessità pratica di avviare un progetto pilota per la raccolta di tutte le informazioni tecniche necessarie a capire quali materiali, e in quali quantità potessero essere raccolte. L'idea di progetto è stata presentata al Sindaco di Bergamo e agli assessori all'ambiente e all'istruzione, che si sono dimostrati subito entusiasti di poter mettere a disposizione del progetto le risorse e il network necessario affinché il progetto potesse essere lanciato nelle scuole della città di Bergamo. LEGAMI ha poi allargato la partnership con gli attori tecnici Aprica Spa e Montello Spa, che per know-how avrebbero potuto supportare il progetto e il lancio ufficiale è avvenuto ad 04/2024. Il progetto "Esauriti for the Planet" mette al centro oggetti e accessori di cancelleria utilizzati quotidianamente da moltissime persone e che, se ben "scomposti", possono tornare a essere un materiale utile dopo aver esaurito la loro prima vita; il progetto ha coinvolto inizialmente 12 scuole superiori e oltre 11 mila studentesse e studenti di Bergamo.

Summary

LEGAMI, in collaboration with the Municipality of Bergamo, launched the first innovative circular economy project for stationery in schools "Esauriti for the Planet". The objective is to raise awareness among young people and the community on the issue of recovering the plastic that makes up school stationery, thus regenerating waste that would otherwise be undifferentiated and destined for landfill or in the best-case scenario for incineration. Through the pilot project in Bergamo, a virtuous circle was activated that LEGAMI wants to make "Best Practice" to be replicated by involving more and more students and institutes on a national scale. The feasibility analysis began in 2023, highlighting how all the stakeholders involved in the supply chain of plastic products were interested in a project dedicated to the recovery of the plastics involved in stationery products, in addition to the practical need to start a pilot project for the collection of all the technical information necessary to understand which materials and in what quantities

could be collected. The project idea was presented to the Mayor of Bergamo and to the councilors for the environment and education, who were immediately enthusiastic about being able to make the resources and network necessary for the project available so that the project could be launched. in the schools of the city of Bergamo. LEGAMI then expanded the partnership with the technical players Aprica Spa and Montello Spa, who due to their know-how could support the project and the official launch took place in 04/2024. The "Exhausted for the Planet" project focuses on stationery objects and accessories used daily by many people and which, if properly "broken down", can return to being a useful material after having exhausted their first life; the project has initially involved 12 high schools and almost 11 thousand students from Bergamo.

1. Introduzione

Le materie plastiche trovano innumerevoli applicazioni nella vita quotidiana di ciascuno di noi e in tutte le fasi che attraversiamo, dalla giovinezza sino alla vecchiaia. La versatilità, le diverse caratteristiche estetiche e prestazionali hanno fatto delle materie plastiche uno dei materiali più diffusi. Il mondo della cancelleria non è stato escluso dalla diffusione di questi materiali: penne, righelli, evidenziatori, tutti oggetti di uso diffusissimo in scuole, uffici, case ecc. ecc. Non solo le caratteristiche puramente fisiche e meccaniche (leggerezza, resistenza, lavorabilità ed altre), ma anche quelle estetiche quali possibilità di design e colorazioni molto varie ed accattivanti, nonché il basso costo hanno reso le materie plastiche estremamente diffuse nel settore oggetto del progetto "Esauriti for the Planet". La diffusione massiccia ha però evidenziato che il settore della cancelleria è stato sino ad oggi poco toccato da esigenze di recupero e riciclo dei materiali. Tranne che in uno o due casi a conoscenza dei relatori, non si ha notizia di progetti di riciclo volti a creare un circuito virtuoso che coinvolgesse produttori, utilizzatori, raccoglitori e riciclatori. Probabilmente ciò è stato determinato da una estrema parcellizzazione della distribuzione ed utilizzo di questi manufatti, da un quantitativo complessivo utilizzato di materie plastiche più limitato rispetto ad altre applicazioni o ad altro. LEGAMI, in un contesto di incrementata consapevolezza della necessità di diffondere la sostenibilità ambientale e la circolarità del proprio lavoro all'interno e all'esterno del proprio perimetro di business ha deciso di lanciare il progetto "Esauriti for The Planet". Per la realizzazione dell'iniziativa sono state individuate diverse fasi di lavoro che hanno coinvolto i diversi attori:

– Analisi preliminare conoscitiva della composizione del settore con particolare riguardo alle materie plastiche utilizzate nel settore cancelleria e alla consapevolezza ed interesse dei principali operatori del settore verso l'economia circolare con l'obiettivo di individuare un modello organizzativo pilota.

– Individuazione dei partner tecnici per:

• la copertura del bacino di utenza per la raccolta

• per l'attività di selezione, riciclo e destinazione dei materiali.

I risultati e le informazioni raccolte nella fase di studio preliminare hanno consentito di selezionare il modello organizzativo basato sulla condivisione territoriale (coinvolgimento di un ente locale) e la selezione di un impianto di riciclo meccanico.

2. Relazione

Avviare un progetto pilota di riciclo di manufatti plastici non può non passare attraverso un approfondimento della conoscenza dei materiali utilizzati oltre che dei quantitativi impiegati e recuperabili. Questa conoscenza, infatti, influenza tutte le fasi successive che vanno dalle modalità di raccolta e selezione, alle fasi e tipologia dell'impianto di lavorazione e riciclo, nonché ai settori di eventuale reimpiego delle materie plastiche riciclate.

2.1 Fase analitica di progetto

L'attività progettuale ha quindi preso le mosse da un'analisi della composizione dell'immesso al consumo dei prodotti di cancelleria, effettuata attraverso il coinvolgimento diretto, oltre che di LEGAMI, degli altri principali operatori di settore attivi sul territorio nazionale (Studio Preliminare ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLA CANCELLERIA).

Parallelamente è stato attivato un dialogo con gli stakeholder del riciclo delle materie plastiche (trasportatori autorizzati, compounder, macinatori, riciclatori meccanici) al fine di individuare il partner tecnico di progetto e le principali criticità nell'avviare a riciclo meccanico gli articoli di cancelleria a fine vita. Nel complesso sono stati sentiti 17 operatori.

Tali attività sono state affidate a Plastic Consult, società privata e indipendente che da 45 anni effettua studi, ricerche e analisi nella filiera delle materie plastiche.

I risultati dello screening relativo alla composizione dell'immesso ha riportato un quadro decisamente articolato, peraltro come da attese: l'offerta nel settore della cancelleria è estremamente frammentata e variabile non solo tra diversi operatori, ma anche all'interno della gamma del singolo. A causa di tale complessità, non è stato possibile effettuare una valutazione quantitativa dei materiali impiegati nella fase di analisi. Dalle informazioni disponibili e raccolte dagli operatori è stato tuttavia possibile tracciare un quadro quali-quantitativo, nel quale emerge come i materiali prevalenti, che possono essere proficuamente avviati a riciclo meccanico, sono le poliolefine e i polimeri stirenici (fascia 1 e 2) nella figura seguente.

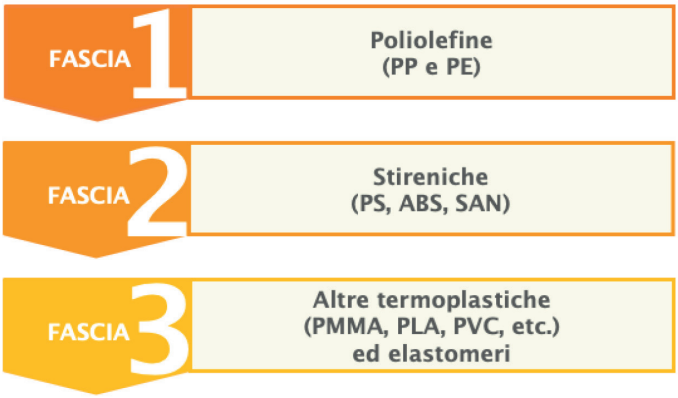


Fig. 1 – *Materiali presenti negli articoli di cancelleria e relativa riciclabilità (decrescente)*

Gli altri polimeri termoplastici presenti negli articoli di cancelleria, per quanto anch'essi singolarmente riciclabili, sono troppo spesso impiegati in strutture composite (es. sovrastampaggio di dettagli realizzati in elastomeri su corpi in termoplastiche rigide) e hanno inoltre una diffusione sensibilmente più limitata.

Più in dettaglio, le principali evidenze emerse dallo screening dell'immesso al consumo di articoli di cancelleria, incrociato con i risultati del colloquio con gli stakeholder del riciclo, ha riportato i seguenti risultati:

– Scarsa presenza di monomateriale plastico, con prevalenza di soluzioni composite da 2 o più polimeri.

– A causa delle specifiche caratteristiche dei materiali, alcune famiglie di polimeri sono compatibili per il riciclo (es PP-PE, PS-PE, PP-PS), altre no, avendo ad esempio punti di fusione diversi (quali ad es. ABS-PE, ABS-PP) o sono incompatibili (es. PVC-PE).

– Oltre ai materiali plastici sono presenti anche altri materiali, tra i quali soprattutto metalli.

– Si sono rilevate possibili criticità legate agli inchiostri, soprattutto nei tamponi/feltri imbevuti nei pennarelli ed evidenziatori, difficilmente macinabili insieme al resto e complessi da disassemblare.
Infine, non si è riscontrato particolare propensione, nel settore, di pratiche di design for recycling (anche in prodotti diversi dai pennarelli, che seguono specifiche normative di sicurezza).
La figura 2 seguente riassume e schematizza le opportunità, le criticità e le sfide per l'avvio di un progetto economia circolare degli articoli di cancelleria a fine vita, attraverso un processo (necessariamente) di recupero selettivo.

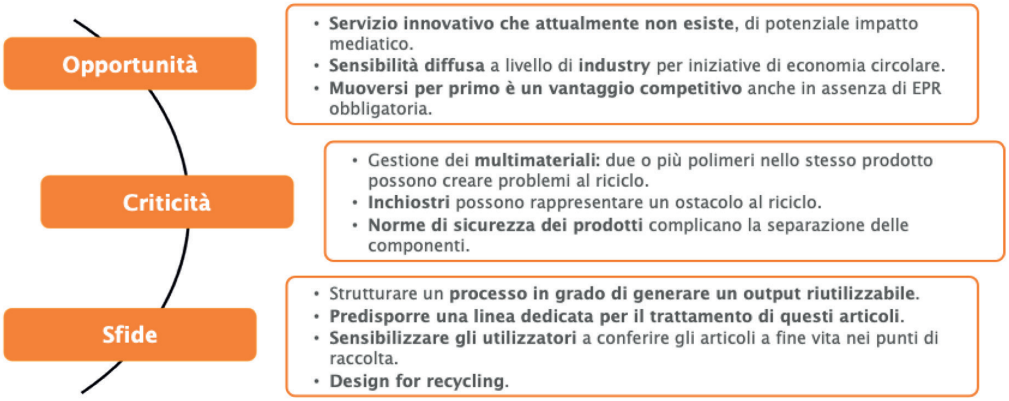


Fig. 2 – *Opportunità, criticità e sfide per un progetto di economia circolare relativo alla cancelleria a fine vita*

Nel corso dell'attività di contatto diretto con gli stakeholder, si è registrata anche la disponibilità degli operatori del settore della cancelleria a partecipare ad un progetto condiviso di economia circolare, tuttavia con un differenze marcate, strettamente correlate all'approccio verso le tematiche di sostenibilità che ciascuna azienda persegue.
Le aziende più attive su questo fronte hanno mostrato interesse all'iniziativa e si sono dichiarate disponibili ad aprire un tavolo congiunto a livello di industry. Sono stati allo stesso tempo sollevati diversi dubbi in merito alla fattibilità del progetto, in ragione principalmente della complessità dei prodotti e a causa del rischio di costi elevati.
Le aziende meno strutturate ed evolute in ambito di sostenibilità, al contrario, hanno indicato di non disporre di personale dedicato e/o budget da destinare a queste attività.
A seguito delle attività di analisi della composizione dell'immesso e delle conseguenti opportunità, criticità e sfide per il riciclo, sono stati individuati due possibili modelli organizzativi per attivare una prima fase pilota di raccolta, che permetta di campionare operativamente la composizione degli articoli di cancelleria a fine vita per poi, in caso di esito positivo, potenzialmente estendere la raccolta a livello regionale e/o nazionale. I due modelli, schematizzati in figura 3 e 4, sono quello autosufficiente e quello di condivisione territoriale, quest'ultimo reso possibile grazie appunto al radicamento territoriale e al network di relazioni pubbliche di LEGAMI.



Fig. 3 – *Modelli organizzativi possibili per l'economia circolare degli articoli di cancelleria a fine vita*

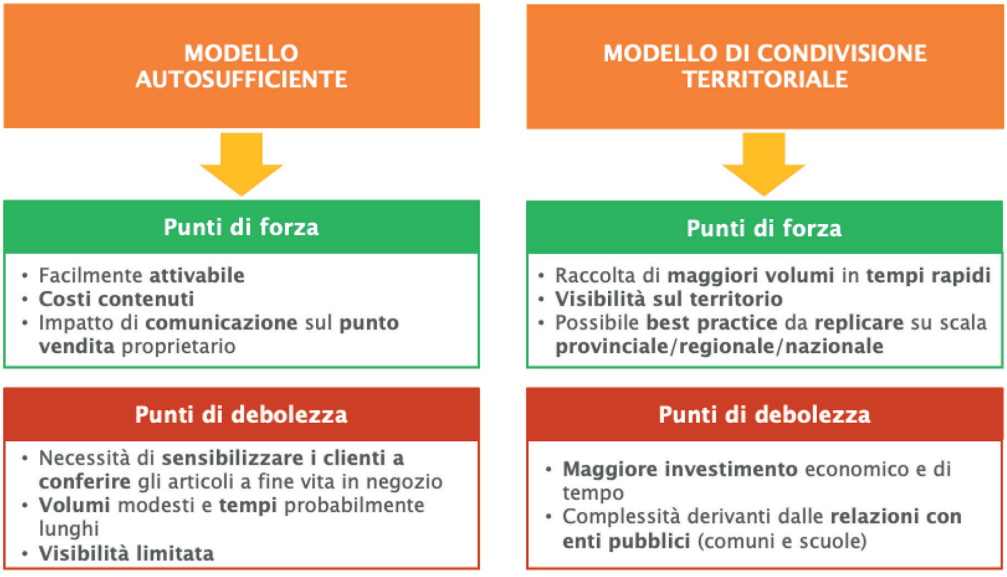


Fig. 4 – *Punti di forza e debolezza dei modelli organizzativi possibili per l'economia circolare degli articoli di cancelleria a fine vita*

La scelta di LEGAMI è ricaduta sul modello di condivisione territoriale, e allo scopo sono stati coinvolti gli altri stakeholder di progetto: Comune di Bergamo per il coinvolgimento delle scuole, Aprica per le attività di raccolta, Montello per quelle riguardanti il campionamento operativo della cancelleria a fine vita e al relativo riciclo.

2.2 Individuazione criteri preliminari per la raccolta per evitare materiali indesiderati
Fondamentale al fine di minimizzare la presenza di materiali indesiderati nella fase di raccolta, è stata la conduzione di riunioni di confronto con l'impianto partner del progetto (Montello spa). In particolare, obiettivo degli incontri è stato quello di entrare con maggior dettaglio nello studio della composizione merceologica dei prodotti in modo da poter individuare:
– Eventuali criteri preliminari da adottare e comunicare in fase di raccolta per evitare materiali indesiderati.

– Cominciare ad incrociare la matrice merceologica dei materiali con le capacità di selezione e riciclo dell'impianto.
Per cui è stata incrociata la distribuzione dei materiali nella composizione dei prodotti in esame come descritta nello studio preliminare ("ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLA CANCELLERIA"). Inoltre, per approfondire la conoscenza sulle tipologie di resine utilizzate, sono stati esaminati anche i cataloghi di alcune aziende del settore presenti su internet.
Premessa importante è data dal fatto che l'impianto di riciclo è caratterizzato dalle fasi di selezione, manuale, vasche di flottazione, macinazione.
Sono stati individuati alcuni materiali assolutamente da evitare:
– inchiostro (altamente inquinante non dei materiali plastici ma delle acque di lavaggio dell'impianto – anche una piccolissima quantità dispersa in acqua ha un'altissima capacità inquinante).
– PVC
– Siliconi
Per evitare questi materiali si è ritenuto fondamentale cominciare ad elaborare una linea guida corredata anche di foto in modo da concentrare (con poche, chiare indicazioni) gli sforzi e l'attenzione in fase di conferimento principalmente verso i prodotti più facilmente riciclabili.
I criteri di base da cui partire e da indicare nella linea guida sono i seguenti:
– Esclusione dei prodotti che sono composti principalmente in metallo
– Prodotti dotati di batterie
– Penne multicolore
– Matite in legno.
Ciò in modo da orientare la raccolta in prima istanza verso prodotti (es. penna a biro) caratterizzati dal numero di componenti il più basso possibile (es. tappo, fusto, sfera/punta, serbatoio, chiusura) quasi tutte in materiale plastico (ad eccezione generalmente della punta/sfera). Tutto ciò anche per limitare il più possibile il ricorso ad operazioni di rimozione manuale di componenti non riciclabili presenti in altre tipologie di penne quali parti in metallo, "refill" contenenti inchiostri ecc..
Dall'esame della composizione merceologica dei prodotti esaminati sono state individuate i seguenti polimeri (o loro abbinamenti come plastiche miste) lavorabili in base alle tecnologie presenti in Montello:
– PE principalmente materiale costituente del tappo e delle chiusure; PP; PE+PP materiali costituenti principalmente il fusto o il serbatoio; questi materiali possono essere soggetti ad un ciclo di lavorazione completo in Montello (selezione, lavaggio, macinazione ed eventuale granulazione).
– PS + ABS + PMMA – materiali costituenti in molti casi il fusto o inserti; questi materiali possono essere soggetti ad un ciclo di lavorazione completo in Montello sino alla macinazione e poi avviati ad una fase di granulazione presso un soggetto terzo.

2.3 Descrizione linea guida comunicata ai conferitori
La linea guida elaborata, corredata da immagini, ha cercato in maniera sintetica di dare informazioni chiare ai conferitori indicando gli oggetti che saranno destinati al riciclo:
– *Penne (senza inchiostro!)*
– *Righelli, squadre, porta penne, porta rotoli di scotch e tutti gli altri oggetti di cancelleria in plastica rigida*
Inoltre si specifica come il materiale deve essere conferito per massimizzare i risultati in fase di riciclo:
– *Più il materiale* è *omogeneo, più sarà proficuo il suo riciclo*

– Le componenti metalliche e le componenti in plastica morbida, quali siliconi, o gomma, non potranno essere riciclate insieme ai componenti in plastica rigida
– Gli inchiostri rovineranno irrimediabilmente il processo di riciclo, sarà fondamentale rimuoverli!

Di conseguenza, **per un corretto riciclo delle penne**:
– Rimuovi il filler / la cannuccia contenente l'inchiostro;
– Rimuovi le eventuali componenti metalliche delle penne;
– Rimuovi le componenti in plastica morbida, quali siliconi, o gomma;
– Conferisci nel bidone di raccolta LEGAMI tutte le componenti di plastica rigida
– Ricorda di buttare nel bidone dell'indifferenziato le componenti che hai rimosso (cannucce inchiostro, componenti metallici, componenti in plastica morbida o gomma affinché non vadano disperse nell'ambiente)

Per un ***corretto riciclo di altri manufatti di cancelleria*** *in plastica rigida (squadre, righelli, portapenne, ecc.) assicurati che non siano compositi (ad es. in plastica rigida con componenti in plastica morbida, gomma e/o con componenti metallici).*
Se è possibile rimuovere i componenti diversi dalla plastica rigida, per favore rimuovili e conferisci nel bidone LEGAMI unicamente le parti in plastica rigida.

Inoltre, nella Linea Guida è stato indicato specificatamente cosa non conferire
Non sarà invece possibile raccogliere e riciclare:
– prodotti da scrittura (penne, pennarelli ed evidenziatori) se non riuscirete a rimuovere l'inchiostro. NON conferire nel bidone penne, pennarelli ed evidenziatori o altri strumenti di scrittura senza aver rimosso l'inchiostro… Potrebbero rovinare il riciclo di tutto quello che stiamo raccogliendo. Non conferire gomme da cancellare

2.4 Il tipo di lavorazione
L'impianto destinato alla lavorazione dei materiali è caratterizzato dalle seguenti fasi produttive: pesatura, scarico balle, apertura balle, caricamento su nastro trasportatore, frantumazione a secco, deferrizzazione, lavaggio a freddo, vasca di flottazione, centrifugazione, densificazione, vagliatura, stoccaggio intermedio in silos omogeneizzatori, estrusori, silos di stoccaggio omogeneizzatori, insaccamento in big bag.
La rappresentazione grafica delle fasi è riportata in figura 5:

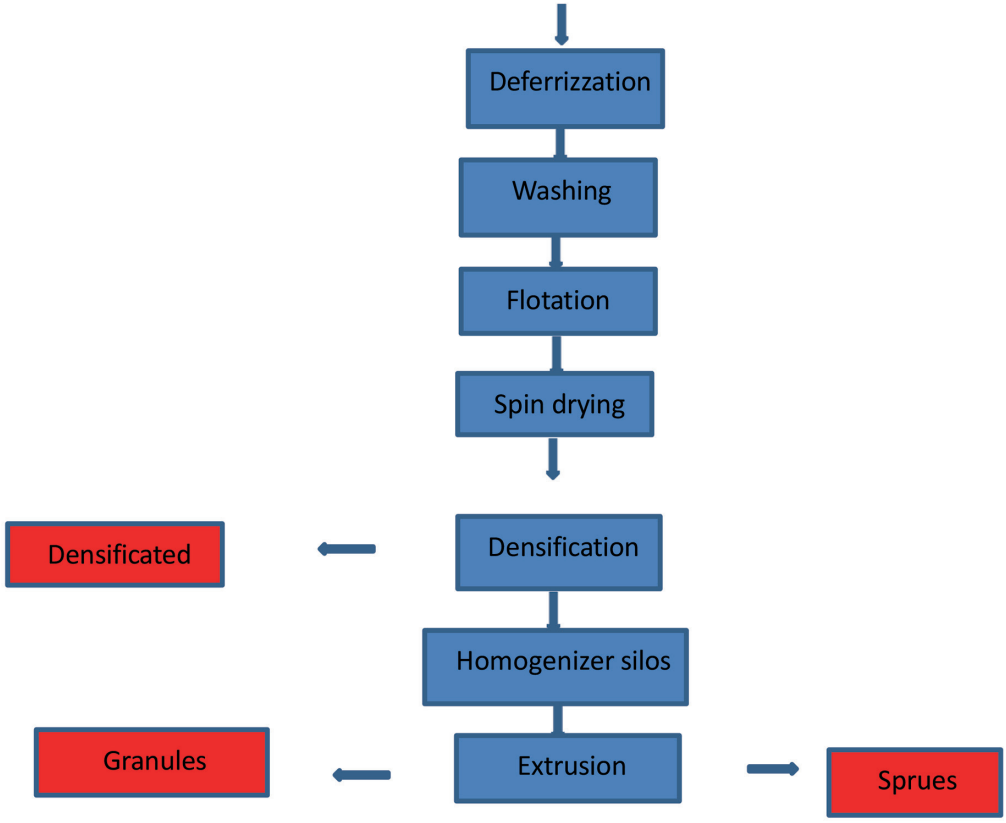


Fig. 5 – *schema a blocchi dell'impianto di riciclo*

3. Conclusioni

Come segnalato sin dall'inizio dell'articolo il progetto "Esauriti for the Planet" è a tutti gli effetti un progetto pilota e, alla data di elaborazione del presente articolo, si stanno concludendo le fasi della raccolta di un primo quantitativo di rifiuti da avviare a lavorazione. Allo stato attuale le conclusioni parziali e preliminari che si possono trarre sono che:

– LEGAMI si trova ad esplorare, con un ruolo da azienda pioniera, un mondo sino ad oggi quasi per niente toccato da progetti di recupero, riciclo o in generale di economia circolare nel proprio mercato. "Esauriti for the Planet" si inserisce nella strategia di Sostenibilità perseguita da LEGAMI**,** con l'obiettivo di generare un impatto positivo e sostenibile, sia a livello ambientale che sociale. Come Società Benefit, LEGAMI bilancia gli interessi economici con quelli della comunità, dell'ambiente e di tutti gli stakeholder. Questo modello di business responsabile e sostenibile è alla base dell'impegno dell'azienda volto a creare valore condiviso in modo trasparente e duraturo. Da anni, LEGAMI sostiene iniziative che arricchiscono il tessuto culturale e sociale del territorio, dimostrando come il successo aziendale possa andare di pari passo con il benessere collettivo, come certificato nel Bilancio di Sostenibilità.

– Esiste tra i produttori di materiale di cancelleria una diffusa sensibilità ed una consapevolezza della necessità di avviare un sistema di recupero e riciclo dei materiali che debba coinvolgere tutti gli attori della filiera (produttori, consumatori, enti pubblici e privati).

– I materiali individuati possono potenzialmente essere soggetti ad un processo di riciclo meccanico se la raccolta viene effettuata nel rispetto di criteri volti alla omogeneizzazione dei materiali raccolti sulla base di una/due matrici polimeriche.

Economia circolare: la prospettiva della riparazione

Valeria Stacchini valeria.stacchini@pa.sm
Progetto REPper e UGRAA – Dipartimento Territorio della Repubblica di San Marino

Riassunto
Il progetto REPper sta lavorando ad analisi e strumenti per sostenere le pmi nell'economia della riparazione, ad aumentare le competenze in materia. In questi primi mesi di lavoro, il consorzio ha fotografato il contesto in cui si trova ad operare, ed ha definito linee guida per la mappatura e il coinvolgimento dei portatori di interesse secondo il modello delle cinque eliche, di cui condividiamo i primi risultati.

Summary
The REPper project is working on analysis and tools to support smes in the repair economy, to increase knowledge in the field. In these first months of work, the consortium took a picture of its operating context, and elaborated guidelines for mapping and engaging stakeholders according to the 5 helix model. We are sharing here the initial results.

1. Introduzione

I consumatori tengono generalmente conto dell'impatto ambientale delle loro decisioni di acquisto, ma rimangono molti ostacoli per quanto riguarda la riparazione: i costi elevati dei servizi di riparazione, la mancanza di conoscenze e informazioni sulla durata e sulla riparabilità, l'indisponibilità dei pezzi di ricambio, la mancanza di professionalità, i tempi di riparazione considerati troppo lunghi... così scartiamo gli oggetti piuttosto che ripararli. Queste barriere dimostrano come sia necessario un cambio di prospettiva. Per affrontare questa sfida, dieci partner di otto Paesi europei (Albania, Bosnia-Erzegovina, Francia, Grecia, Italia, Portogallo, Slovenia e Spagna), guidati dalla Città metropolitana di Bologna, hanno lanciato il progetto REPper – REPairing PERspective, cofinanziato dal programma di cooperazione Interreg Euro-Med. REPper mira a sostenere le pmi nell'economia della riparazione, ad aumentare le competenze in materia e a perseguire la transizione verso scelte di consumo più sostenibili. In questi primi mesi di lavoro, il consorzio ha fotografato il contesto regionale in cui si trova ad operare, ed ha definito linee guida per la mappatura e il coinvolgimento dei portatori di interesse secondo il modello delle cinque eliche, di cui condividiamo i primi risultati.

2. Cosa e quanto ripariamo? I settori della riparazione

Riparare significa intervenire per ripristinare un prodotto danneggiato, rotto o malfunzionante per riportarlo a uno stato di piena operatività. Una riparazione può comportare diverse tecniche e abilità, che vanno dalle semplici riparazioni che gli individui possono eseguire a casa, come cucire un indumento strappato o sostituire una lampadina rotta, a riparazioni più complesse che richiedono conoscenze e strumenti specializzati, come la riparazione di dispositivi elettronici o elettrodomestici. La riparazione è quindi diversa dal riutilizzo, ovvero dall'utilizzare un prodotto o un oggetto più volte o per uno scopo diverso da quello originario

senza alterarne significativamente la forma o la funzione. Nella costruzione della tassonomia, è importante chiarire anche il concetto di riparabilità: rendere possibile, e idealmente facile, la riparazione di un prodotto; un prodotto riparabile deve essere facile da smontare e rimontare; inoltre, deve avere a disposizione parti, strumenti, documentazione di servizio e software, oltre a non presentare barriere artificiali alla riparazione. L'insieme di questi aspetti costituisce l'ecosistema della riparazione.

B2B	**B2C**	**C2C**
Manutenzione specializzata e riparazione di macchinari industriali e commerciali	Riparazione e manutenzione di beni personali e domestici	Riparazioni fai date (DIY) Community repairing

Tab. 1 – *I tre macro settori della riparazione e manutenzione*

Il progetto REPper ha valutato di indirizzare in modo specifico il macro settore business-to-consumer (B2C) di cui alla Tab.1, e quindi la riparazione di beni personali e domestici (corrispondente in massima parte al codice Nace 95). A partire dal confronto fra le varie organizzazioni coinvolte, e lo studio della letteratura [1,2], sono stati identificati diversi settori (Tab.2) in cui la riparazione può svolgere un ruolo significativo [3]:

Settore	**Tipologia di intervento**
Abbigliamento e tessuti	– riparazione di indumenti strappati, sostituzione di cerniere, bottoni o toppe; – sartoria di capi d'abbigliamento per adattarli a nuove taglie o stili; – trasformazione di vecchi tessuti in nuovi capi d'abbigliamento o accessori;
Scarpe e articoli in pelle	– riparazione, pulizia, cambio colore, **modifica o riadattamento di scarpe** – riparazione e sostituzione di parti danneggiate di cinture e borse; – rimettere a nuovo giubbotti in pelle;
Mobili	riparazione di gambe, giunture o superfici di mobili danneggiati; rifinitura o riverniciatura di vecchi mobili per dare loro un nuovo aspetto;
Articoli per la casa	– riparazione di pentole, ceramiche, vasellame o bicchieri rotti; – rimessa a nuovo di oggetti d'arredamento vecchi o antichi;
Utensili e attrezzature:	– riparazione e affilatura di utensili manuali come seghe, trapani e martelli; – attrezzature per il giardinaggio come tosaerba, tagliabordi, ecc;
Giocattoli	– riparazione di giochi e giocattoli
Piccoli elettrodomestici	– riparazione di tostapane, caffettiere, aspirapolvere, TV, ecc.;
Grandi elettrodomestici	– riparazione di frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, asciugatrici, ecc.;
Elettronica e apparecchiature elettriche	– riparazione di smartphone, computer, laptop, tablet, fotocamere digitali, ecc.;
Mezzi di trasporto	– riparazione di ammaccature, graffi o problemi meccanici; – rigenerazione di parti di automobili o motociclette; – riparazione e rimessa a nuovo di biciclette o altri mezzi per la micromobilità;

Segue

Settore	Tipologia di intervento
Gioielli, orologi e accessori	– riparazione di gioielli rotti, come ad esempio la re-infilatura di perline, il fissaggio di fermagli o l'incastonatura di pietre; – pulizia e lucidatura per ridare lucentezza a oggetti opachi o appannati; – riparazione di orologi, sostituzione cinturini, vetri o altre parti danneggiate;
Articoli sportivi	– riparazione di attrezzature sportive come biciclette, sci, snowboard, ecc.; – rimessa a nuovo di attrezzature da palestra; – attrezzatura da esterno come tende, zaini, ecc;
Strumenti musicali	– riparazione di corde rotte, tasti o ripristino di strumenti a fiato o in ottone; – rimessa a nuovo di strumenti d'epoca per collezionisti o musicisti; – offerta di accordatura;
Libri e articoli di carta	– riparazione di pagine o rilegature strappate di libri; – rimessa a nuovo di libri o mappe d'epoca per collezionisti.

Tab. 2 – *I macro settori della riparazione individuati dal progetto REPper.*

In base ai dati Eurostat [4], il fatturato del settore delle riparazioni B2C dell'UE ha superato i 20 miliardi di euro nel 2019. Tra le varie categorie di prodotti, la riparazione di computer e apparecchi periferici insieme ad altri beni personali e domestici, ha rappresentato oltre il 50% del fatturato del settore delle riparazioni nell'UE tra il 2011 e il 2019.
Secondo il rapporto Circular Economy network 2023 [5], nel 2020 in Italia quasi 24.000 imprese lavoravano alla riparazione di beni elettronici e altri beni personali (abbigliamento, calzature, orologi, mobili gioielli, ecc.), collocando l'Italia al terzo posto in Europa per l'economia circolare, dietro a Francia (oltre 35.300 imprese) e Spagna (poco più di 29.100). Il trend dell'ultimo decennio mostra un calo quasi del 10% nel numero di imprese, ma in crescita come fatturato (oltre 2,1 miliardi di euro nel 2020, con una crescita di circa 122 miliardi di euro rispetto al 2011). Un'indagine di Circular Economy Network e Legacoop, in collaborazione con IPSOS [6], rileva che quando un prodotto smette di funzionare, gli italiani sono più propensi a tentare di ripararlo su auto e moto (50%), grandi elettrodomestici (43%), biciclette e scooter (41%), con minori tentativi di riparazione per prodotti tecnologici (39%), mobili (33%) e abbigliamento (27%). La riluttanza a riparare deriva dai costi elevati, dal design non riparabile dei prodotti tecnologici e degli elettrodomestici, dalla mancanza di professionalità nella riparazione di abbigliamento, mobili e biciclette/scooter e dai lunghi tempi di riparazione di auto e moto; inoltre, le persone preferiscono gli ultimi modelli e considerano l'acquisto di prodotti usati o ricondizionati come un segno di basso status sociale.

3. Verso il diritto alla riparazione
Molte delle sfide ambientali che affrontiamo attualmente derivano dalla gestione insostenibile delle risorse naturali; un campanello d'allarme è il crescente volume di rifiuti elettronici, generato dall'aumento del consumo di dispositivi elettrici ed elettronici, dalla brevità del ciclo di vita dei prodotti e dalle limitate possibilità di riparazione. Secondo i dati statistici del 2019 [7], l'Europa ha generato la terza più alta quantità di rifiuti elettronici (12 milioni di tonnellate metriche) e il maggior numero di rifiuti elettronici in kg pro capite (16,2 kg pro capite). Tuttavia, l'Europa ha il più alto tasso documentato di raccolta e riciclaggio di rifiuti elettronici, 42.5 %. I dati relativi ai Paesi coinvolti nel progetto REPper mostrano la seguente situazione (Tab.3):

	EU	AL	BHI	FR	GR	IT	PT	SLO	SP
Generato (kt)	12M	23	27	1.362	181	1.063	170	31	888
Per capita (kg)	16,20	7	8	21	17	18	17	15	19
Raccolto & riciclato (%)	42,5%	NA	NA	54%	31%	35%	41%	39%	32%

Tab. 3 – *Rifiuti elettronici nei paesi coinvolti nel progetto REPper (fonte: Forti et al., 2020)*

Solo la Francia ha una percentuale di raccolta e riciclaggio superiore alla media europea; Portogallo e Slovenia registrano performance nella media; non ci sono dati per Albania e Bosnia Erzegovina, mentre Grecia, Italia e Spagna sono indietro di oltre dieci punti percentuali.
L'economia circolare, che promuove il riutilizzo, la riparazione e la riprogettazione rispetto allo smaltimento dei materiali, consente all'Europa di ridurre in modo sostanziale le emissioni di carbonio, offrendo al contempo vantaggi competitivi nuovi e sostenibili. Al fine di raggiungere questo obiettivo, dal 2019 l'UE sta lavorando a un pacchetto di leggi per promuovere l'economia circolare come parte del Green Deal europeo, per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050; fra questi, oltre alle iniziative per favorire i prodotti sostenibili, la direttiva sul greenwashing, e quella sulla responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde, è da poco stato approvato anche un pacchetto relativo al diritto alla riparazione (R2R, Right to Repair) ed ora gli Stati membri hanno due anni per adottarla.
La Direttiva EU 2024/1799 sulla riparazione si applica solo ad alcune categorie di beni, ed in particolare ai prodotti hi-tech rientranti nel quadro dell'elettronica di consumo, durante e dopo la scadenza della garanzia: lavatrici, frigoriferi, lavastoviglie, aspirapolveri, display elettronici, telefoni cordless, cellulari. I produttori dovranno mettere a disposizione informazioni, pezzi di ricambio (per almeno 7-10 anni dall'immissione sul mercato dell'ultimo pezzo) e strumenti necessari agli interventi di riparazione, sia per i consumatori sia per i riparatori professionali. Inoltre non potranno più installare sistemi che impediscono la riparazione, quali blocchi non smontabili o codici e password proprietari che impediscono l'identificazione del guasto. Per i nuovi prodotti, la riparabilità diventa un requisito di conformità. Il produttore non potrà inoltre vietare al consumatore e tecnici non autorizzati di riparare il prodotto, o di utilizzare pezzi non originali, di seconda mano o stampati in 3D. Se il produttore si trova fuori dell'Unione europea, l'obbligo di riparazione passa al suo rappresentante autorizzato nell'Unione, o se manca, all'importatore o al distributore. La direttiva prevede che le riparazioni abbiano un costo ragionevole, ma non stabilisce un tetto ai costi, né delle riparazioni né dei pezzi di ricambio. Analogamente, anche le tempistiche devono essere ragionevoli, e si indica la possibilità al produttore di fornire in prestito al consumatore un bene sostitutivo, a titolo gratuito o a un costo ponderato, per la durata della riparazione. I consumatori potranno accedere ad una piattaforma online (che dovrà essere operativa entro il 31 luglio 2027) per poter trovare servizi di riparazione locali e negozi che vendono prodotti ricondizionati; prima di accettare un'offerta di riparazione, il consumatore può chiedere gratuitamente il "modulo europeo di informazioni sulla riparazione", indicante il tipo di riparazione proposta, i costi dettagliati (se non fosse possibile, dovrà quanto meno riportare la modalità di calcolo e il prezzo massimo), tempo necessario per completare la riparazione, la disponibilità di beni sostitutivi e i relativi costi, il luogo in cui il consumatore consegna il bene.
Diverse sono inoltre le politiche e strategie europee che contribuiscono all'economia circolare e che incidono anche sulla riparazione e riparabilità dei prodotti: ad esempio la strategia per le sostanze chimiche, la strategia industriale, la strategia per le materie plastiche e il piano d'azione per l'inquinamento zero; la direttiva sulla progettazione ecocompatibile, la direttiva sull'etichettatura energetica e il metodo di valutazione della riparabilità degli smartphone [8]

fanno tutti riferimento alla riparazione dei prodotti. La Strategia per un tessile sostenibile e circolare mira a creare un quadro coerente per la transizione verde, dando priorità al prolungamento della vita dei vestiti – indossare più a lungo, riparare, riutilizzare. La Direttiva RAEE e la Direttiva RoHS affrontano il problema della crescente quantità di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.
Gli Stati membri dell'Unione Europea hanno tempo fino a luglio 2026 per adottare le misure necessarie per garantire l'attuazione delle nuove norme R2R a livello nazionale. Pioniera è l'esperienza della Francia, che a partire dal 2021 ha messo in campo un indice di riparabilità: alcuni prodotti elettronici (lavatrici, tosaerba elettrici, computer portatili, televisori e smartphone) devono riportare un'etichetta che ne indichi la riparabilità su una scala da 1 a 10, dove un indice più alto significa che un prodotto è più facile da aggiustare. Grazie a questo strumento, i consumatori possono tenere conto di questo aspetto in fase di acquisto. In Italia, il processo di recepimento sarà cruciale per determinare l'efficacia delle misure, con particolare attenzione agli aspetti fiscali e all'accesso ai pezzi di ricambio. Ma qual è la situazione al momento? L'Italia, se da un lato continua ad incentivare rottamazioni, e quindi, indirettamente, l'obsolescenza programmata degli elettrodomestici, dall'altro attraverso la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare, approvata nel giugno 2022, indica il "Diritto al Riuso e alla Riparazione" fra le dieci strategie prioritarie; nello specifico delinea come azioni di intervento il finanziamento della realizzazione di centri per il riuso e la riparazione di beni di proprietà pubblica; l'utilizzo di Criteri Ambientali Minimi obbligatori negli appalti pubblici come incentivo al riutilizzo e alla riparazione dei beni; l'adozione di un regolamento per incentivare il riutilizzo e la riparazione; la nomina di un Comitato per la progettazione ecocompatibile, comprendente un gruppo di lavoro sul riutilizzo e la riparazione, che copra il ciclo di vita del prodotto dalla concezione all'etichettatura di mercato; l'introduzione di incentivi per chi promuove comportamenti individuali di riduzione dei rifiuti, compresi i consumatori.

4. Gli attori della riparazione: un approccio a 5 eliche

Per fare sì che il settore della riparazione possa svilupparsi e contribuire all'economia circolare, l'attivazione di tutti gli attori è cruciale: per questo il progetto REPper ha adottato un approcciato basato sulle 5 eliche (5-helixs) individuate da Carayannis & Campbell nel 2010 [9], un modello orientato alla risoluzione dei problemi e allo sviluppo sostenibile, che tiene conto di analisi trans-disciplinari e delle interazioni e del continuo coinvolgimento e co-evoluzione di società, natura, economia, conoscenza e governance, illustrato nella Fig.1. Al fine di meglio operare e contribuire al circolo della conoscenza, il progetto REPper ha sviluppato linee guida su come identificare, mappare e indirizzare i principali attori della riparazione per poi coinvolgerli nel processo di co-creazione [10].
Gli stakeholder del sistema educativo sono essenziali per aumentare la conoscenza e la consapevolezza, e apportare modifiche mirate ai programmi di studio; gli attori economici sono importanti per trovare nuove opportunità finanziarie, modelli di business e per sostenere finanziariamente le nuove pmi del settore delle riparazioni, come i produttori e chi conduce i servizi di riparazione svolgono un ruolo determinante. Il sistema della società civile e dell'ambiente naturale attraverso la trasformazione nella domanda posso spingere per pratiche più sostenibili. Il sistema delle politiche, attraverso azioni di sistema e anche spinte gentili, può attivare e supportare il cambiamento, aiutati anche dal sistema dell'informazione, producendo capitale informativo e sociale.

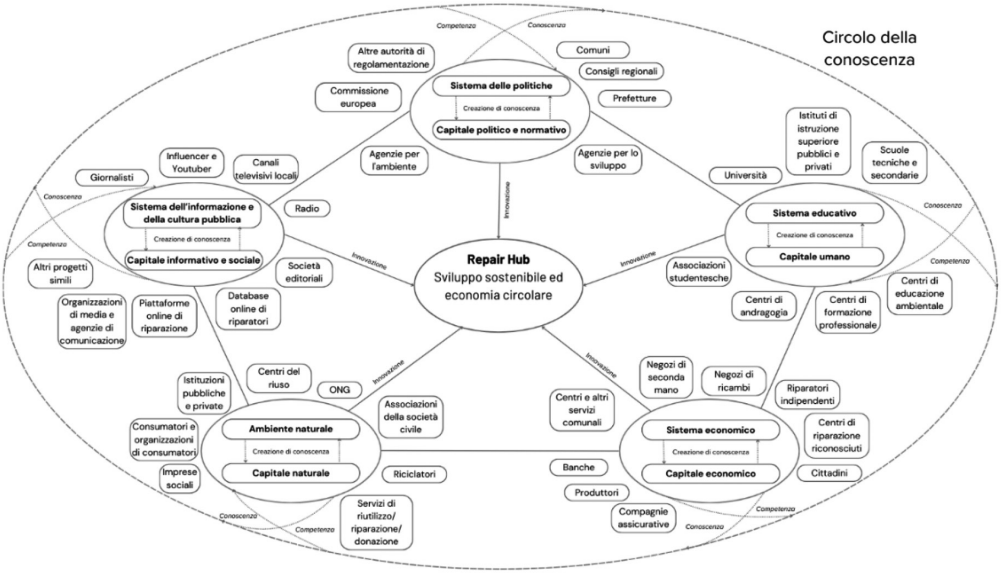


Fig. 1 – *Il circolo della conoscenza dei Repair hub secondo l'approccio delle 5 eliche di Carayannis & Campbell*

5. Barriere e drivers della riparazione: prime conclusioni

Le pratiche di riparazione possono generare impatti e ricadute positive e negative sull'ambiente e sulla società. Diversi studi hanno evidenziato il potenziale dell'economia circolare, e nello specifico del settore delle riparazioni, di generare occupazione aggiuntiva e di ridurre gli sprechi e l'utilizzo di materie prime. Il consorzio REPper, attraverso un'analisi Pestel [3], ha provato a individuare i drivers per il settore della riparazione, che riportiamo sinteticamente qui di seguito in Tab.4:

	Drivers
Politici	– Forte impegno dell'UE verso economia circolare – Leggi e regolamentazioni nazionali per sostenere la circolarità e la riparabilità dei prodotti – Miglioramento del quadro giuridico per le imprese sociali – Investimenti governativi nella sostenibilità – Sovvenzioni e finanziamenti agevolati alle pmi impegnate nell'economia circolare e servizi di riparazione – Sviluppo di partenariati pubblico-privati
Economici	– Aumento della consapevolezza dei consumatori e quindi della domanda di servizi circolari – Risparmio economico per i consumatori grazie alla riparabilità dei prodotti – Miglioramento di immagine per le pmi che investono in sostenibilità, con effetti positivi sull'economia locale – La collaborazione tra enti pubblici, parti interessate e utenti può garantire una crescita intelligente e servizi innovativi – Aumento della resilienza e riduzione della dipendenza dalle forniture di materie prime – Riduzione dell'inflazione – Creazione di posti di lavoro – Servizi di riparazione più accessibili – Sviluppo di nuovi modelli di business circolari (e.g. noleggio) – Crescita della commercializzazione delle estensioni di garanzia – Fidelizzazione del consumatore

Segue

	Drivers
Sociali	– Collaborazione tra utenti/cittadini e autorità – Creare e migliorare la qualità dei posti di lavoro (locali) – Costruire una società sostenibile e responsabile – Le iniziative di community repair rafforzano la coesione e partecipazione sociale – Aumento dell'accesso ai prodotti per le persone a basso reddito – Migliore trasparenza delle informazioni – Rivitalizzazione dell'artigianato e delle competenze tradizionali, contribuendo alla loro conservazione e promozione
Tecnologici	– L'attivazione di reti e hub facilitano le opportunità di innovazione, l'accesso alle informazioni – Sviluppo di "social good tech" per la risoluzione di problemi sociali – Gli investimenti in tecnologie di riparazione innovative migliorano l'efficienza e l'efficacia dei servizi di riparazione – La conoscenza di buone pratiche può ridurre le disuguaglianze tra i Paesi e promuovere approcci sostenibili – Fornire alle pmi l'accesso a strumenti e tecnologie di riparazione avanzati aumenta l'efficienza operativa – Le informazioni sulla riparazione disponibili nei manuali e online consentono ai singoli di riparare in autonomia – Disponibilità di pezzi di ricambio per lunghi periodi – Garanzia di aggiornamenti del software per tutta la durata di vita del prodotto, per evitare l'obsolescenza indotta – Le aziende hanno bisogno di assistenza tecnica per l'efficienza delle risorse, l'innovazione dei processi e la formazione – Mercato dell'e-commerce in crescita
Ambientali	– Necessità di proteggere e conservare l'ambiente e le aree protette in termini di sostenibilità e rischi – Necessità di ridurre l'uso di risorse primarie, la quantità di emissioni di gas serra, il consumo energetico e i rifiuti – È necessario cambiare il comportamento dei consumatori (ridurre il consumo di nuovi prodotti) e dei produttori (concentrarsi sulla longevità, la qualità e la riparabilità piuttosto che su pubblicità che inducono ad acquistare nuovi prodotti)
Legali	– Diritto di riparazione nell'UE – Applicazione e attuazione di un quadro giuridico esistente che regola l'economia circolare – Adozione di nuove leggi nazionali e locali a favore dell'economia circolare e del settore della riparazione – Più studi e ricerche aiuterebbero a meglio comprendere le esigenze del settore delle riparazioni – Azioni pilota permetterebbero di testare e promuovere i servizi di riparazione

Tab. 4 – *Analisi PESTEL sviluppata dal consorzio REPper sui drivers della riparazione*

Attraverso l'analisi della letteratura e interviste [11], è inoltre emersa la crescente importanza delle industrie di riparazione, in particolare nei settori dell'elettronica e del tessile, evidenziando al contempo significative lacune nelle competenze tecniche, nei modelli di business e nell'accesso ai finanziamenti. Lo studio sottolinea la necessità di programmi di formazione mirati, di migliorare i modelli di business, di sensibilizzare l'opinione pubblica e di promuovere la collaborazione fra le diverse parti. Affrontando queste lacune, tenendo conto dei diversi gradi di sviluppo e specializzazione presenti nelle diverse regioni, il settore della riparazione può migliorare il suo contributo alla sostenibilità ambientale e alla resilienza economica nei paesi del Mediterraneo sostenendo l'economia circolare.

Bibliografia

[1] Manoochehri, Shahrzad & Schluep, Mathias & Dams, Yoko & Mehlhart, Georg & Lingås, Dina & Marin, Giovanni & Nicolau, Mariana & Colgan, Shane. (2022). An overview of Europe's repair sector Final Report 2022/06 for the European Environment Agency (EEA), European Topic Centre Circular Economy (ETC CE).
[2] Moeslinger, M., Almasy, K., Jamard, M. and De Maupeou, H., (2022) Towards an Effective Right to Repair for Electronics, EUR 31167 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-55230-7, doi:10.2760/42722, JRC129957.
[3] REPper project, (2024) REPair PERspective Hubs Network Feasibility and operational plan
[4] Eurostat Annual detailed enterprise statistics for services (NACE Rev. 2 H-N and S95) (2005-2020) [SBS_NA_1A_SE_R2], Last update of data: 01/03/2024.
[5] Circular Economy Network, (2023) 5° Rapporto sull'economia circolare in Italia.
[6] Circular Economy Network, (2024) 6° Rapporto sull'economia circolare in Italia.
[7] Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R. and Bel, G., (2020) The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.
[8] Flipsen, B., Depypere, M., Huisken, M. and Opsomer, T., (2019) Smartphone Reparability Scoring: Assessing the Self-Repair Potential of Mobile ICT Devices.
[9] Carayannis E. G., Thorsten D. B. and Campbell D. F. J., (2012) The Quintuple Helix innovation model global warming as a challenge and driver for innovation. Journal of Innovation and Entrepreneurship.
[10] REPper project, (2024) REPper Factory. Practical guidelines on how to identify, map and approach key stakeholders.
[11] REPper project, (2024) REPper Factory setting up. Joint Needs Analysis.

Forecasting Material Outputs from Ship Demolition: Environmental and Economic Impacts

Francesco Tola francesco.tola@unitus.it, Enrico Maria Mosconi, Mattia Gianvicenzi, Mariarita Tarantino, Alessio Matacera, Annamaria Delussu
Università degli studi della Tuscia, Viterbo

Summary
Ship recycling represents a significant source of material supply, with an estimated 700-1,000 ships being demolished annually. This trend is expected to evolve, turning ship recycling into a symbol of the adaptation and flexibility required to address the constantly changing global dynamics. The research compares the current European naval fleet to estimate future material availability as a new supply opportunity. The goal is to assess the volume and types of materials that could be recovered and reused, thereby contributing to resource efficiency and reducing the environmental impact of the maritime industry. The findings of this research are particularly important for maritime industry and European policymakers.

Riassunto
Il riciclaggio delle navi costituisce una fonte rilevante di approvvigionamento di materiali. Si stima che annualmente tra le 700-1.000 navi vengano demolite. Si prevede che questa tendenza evolva, trasformando il riciclaggio delle navi in un simbolo di adattamento e flessibilità necessarie per affrontare le dinamiche globali in costante cambiamento. La ricerca confronta l'attuale flotta navale europea al fine di stimare le future disponibilità di materiali come nuova opportunità di approvvigionamento. L'obiettivo è stimare il volume e il tipo di materiali che potrebbero essere recuperati e riutilizzati, contribuendo così all'efficienza nell'uso delle risorse e alla riduzione dell'impatto ambientale dell'industria marittima. I risultati di questa ricerca sono di particolare importanza per il settore della cantieristica navale e per i responsabili politici europei.

1. Introduction

Ship recycling refers to the process of dismantling ships to extract and recover materials [1] and it is typically seen as the best method to dispose of a ship when its service life is coming to an end [2]. Ship recycling is a highly profitable and inherently sustainable activity, essential for ensuring the proper disposal of decommissioned vessels and the recovery of materials and resources [3]. The economics of ship recycling are primarily driven by market factors such as freight rates, the price of scrap steel, the costs associated with maintaining an ageing fleet, the price offered by shipyards for purchasing Light Displacement Tonnage (LDT), demolition costs, and the demand for recycled steel [4]. A ship's lightweight is the weight of its hull, including machinery and equipment. Additionally, the length, width, depth, and displacement of a vessel are critical factors in its purchase and sale when it is no longer serviceable. However, the decision to demolition a ship is also influenced by other factors, such as technological advancements, new global market demands, regulatory standards, and the entry of new ships

into the fleet[5]. The destination and, more importantly, the method of ship recycling have raised significant concerns due to the varying environmental and social impacts associated with different demolition techniques[6]. Currently, the primary destinations for ship recycling are located in South Asia, driven by two key factors: low labour costs and the profit from selling ships, as the beaching method is economically more favourable. Bangladesh, India, and Pakistan together account for over 80% of the gross tonnage dismantled globally [7]. The popularity of Southeast Asia as a leading ship-breaking location is also attributed to its key role in providing the primary source of steel, significantly contributing to the development of local industries and creating employment opportunities [8]. The increasing demand for steel and expanding urbanisation further justify the preference for these areas for ship demolition. Additionally, regulations and policies regarding standards and prohibitions are more lenient than those in OECD countries, thus facilitating the activity. The management of ships at the End of Life (EoL) stage and the recycling of related materials present a global challenge, characterised by persistent difficulties[9]. The European Union, aware of the importance of its fleet in terms of global gross tonnage ownership, has consistently taken a responsible stance on the transboundary movement of its EoL ships and their proper recycling. In 2013, the EU established Regulation 1257/2013 (Ship Recycling Regulation – SRR), which promotes the requirements of the international standards set out in the Hong Kong Convention (HKC) for ship recycling activities within Europe. The SRR aims to serve as an early implementation of the HKC. The objective of the SRR is to limit the sending of European ships to non-compliant yards. Article 2 of the SRR mandates that all EU-flagged vessels with a gross tonnage exceeding 500 GT must be recycled in facilities authorised by the European Commission. Article 16 of the SRR establishes the list of authorised ship-breaking yards, which can be updated periodically. However, the SRR has faced controversies, the main ones being the insufficiency of recycling capacity in facilities located within OECD countries, the ease of circumventing regulations, and the lack of an adequate financing mechanism. Through the adoption of the Green Deal, the European Union aims to focus its policies on a resource-efficient economy. An integral part of the European Green Deal is the Circular Economy Action Plan (CEAP2), which is an industrial policy approach aimed at accelerating not only circularity but also the dematerialisation of the economy. Ship recycling is perfectly aligned with European policies on industrial recovery and the promotion of the circular economy. This not only enhances process efficiency but also supports the creation of a circular flow for resource supply, thus promoting more sustainable material management and reducing the overall environmental impact. The objective of the research is to highlight the potential of material procurement derived from ship recycling activities. The analysis aims to support the increase and diversification of material sourcing, thereby fostering the development of a European local economy that is less dependent on external sources and third countries. This perspective is strategic for the long-term sustainability of the shipbuilding industry, offering useful insights for policymakers and the industry to promote circular economy practices and reduce the vulnerability of global supply chains.

2. Relation

To address the research question, a detailed analysis of the current European ship fleets was conducted. For this purpose, the Global Integrated Shipping Information System (GISIS) database of the IMO was consulted, from which key information on ships—such as weight, flag, type, tonnage, length, dimensions, and year of construction—was extracted. The collected data was then verified and cross-referenced with the AIS system from MarineTraffic to ensure accuracy. Subsequently, data on the lifecycle of various ship types was analysed using the NGO Shipbreaking Platform and UNCTADStat. These sources provided the basis for creating a comprehensive dataset, encompassing a total of 9,687 ships dismantled between

2012 and 2023. One of the first steps undertaken with the dataset was the categorisation of ship subtypes into their respective main categories, which facilitated the subsequent phases of analysis. Descriptive statistics were then calculated for each category, offering a clear overview of the distribution of ships within each group. Finally, a documentary analysis of Life Cycle Assessment (LCA) studies related to the sector was conducted to estimate the actual quantity of materials recoverable for each ship type. This documentary review allowed the formulation of assumptions and the delineation of the quantity of resources available for future material procurement.

2.1 European Ship Fleet

Maritime transport has played a pivotal role in the history of the European Union. For centuries, half of the global fleet of ships was under the control of European shipowners or registered in their own registers[10]. The European Union, while not maintaining the same competitiveness, retains a significant role as a hub in global trade traffic and ship ownership. The collection of European ships reflects the current profile of the European fleet in service. Figure 1 shows the gross tonnage (GT) for the different types of ships.

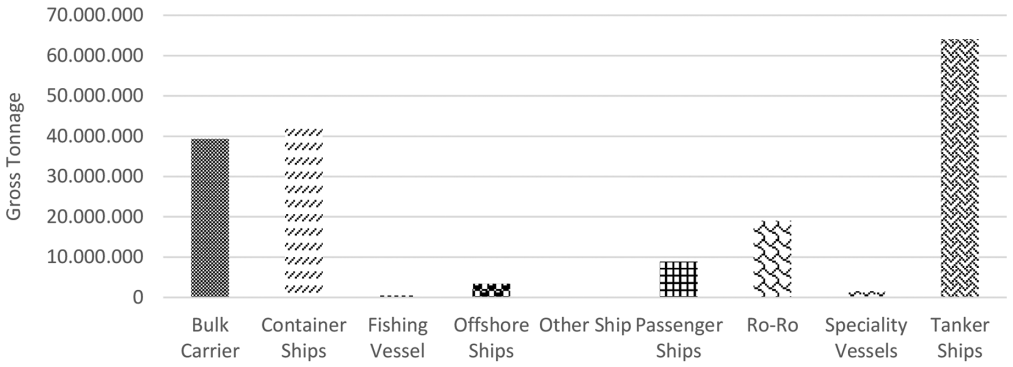


Fig. 1 – *Ship typology of current European fleet*

The percentage distribution of weight by ship type shows that tankers account for over 36% of the sample, followed by container ships at 23%, bulk carriers at 22%, and Ro-Ro vessels at 11%. Passenger ships make up 5%, while fishing vessels, specialized vessels, and offshore ships together account for the remaining 3%.

2.2 Descriptive statistics of the end-of-life of the ships for typology

The prediction and estimation of a ship's EoL are challenging due to the absence of a universal calculation formula. The decision to scrap a ship is often influenced by economic factors, specifically when the vessel is considered uneconomical [11]. Moreover, a ship's EOL can vary depending on its type, design, performance, maintenance, and structural fatigue. However, the scientific literature suggests that the service life of a ship can range between 25 and 30 years, depending on market conditions [12][13][14]. The survival age of ships was assessed by reviewing the demolition history from the NGO Shipbreaking Platform database. To obtain an accurate representation of the actual lifecycle of European ships, the dataset was disaggregated, providing a clear picture of the ships' lifespan. Table 1 presents the descriptive statistics calculated for the EOL phase across different ship types.

	μ	Median	Mode	σ^2	σ
Bulk Carrier	27	28	30	50,50	7,10
Container Ships	24	23	19	55,36	7,44
Fishing Vessel	36	37	37	60,14	7,75
Offshore Ships	33	36	37	133,15	11,53
Passenger ship	36	34	30	93	9,94
Ro-Ro	33	32	30	81,17	9,06
Speciality Vessels	39	39	42	152,95	12,36
Tanker Ships	30	30	30	71,07	8,43
Other Ships	34	38	39	126,15	11,23

Tab. 1 – *Descriptive statistics of the end-of-life (EOL) of the ships for typology.*

2.2 Quantification of material

In the literature, there are studies that quantify the materials obtained from ship demolition activities [15-16-17-18].Table 2 presents the average percentage values of recoverable materials based on ship type, providing a detailed composition of key materials such as steel, non-ferrous metals, and other reusable components. These values serve as an essential reference for estimating the potential quantity of materials resulting from future ship recycling operations.

	Bulk Carrier	**Passenger ship**	**Tanker ship**	**Offshore vessels**	**Container Ship**	**Fishing vessel**
Ferrous scrap	61-71	44-58	72-81	66-75	63-67	47-67
Re melting scrap	8-10	10	5-7	8-10	10	10
Cast Iron	2-3	5	2-3	3-4	3-4	3-8
Non-ferrous scrap	1	1-2	1-2	1	1	1-2
Machinery	2-5	10-15	1-2	1-6	5	2-10
Electrical and electronic equipment	1-5					
Minerals	2-5					
Plastic	1-2		0,5			
Liquids, chemicals and gases	1		2			
Wooden and furniture	1-5	5-7	1-2	1-2	5	5
Miscellaneous				1		
Joinery	1					

Tab. 2 – *Percentage of Material streams*

2.3 Forecasting material outputs

Through the current snapshot of the European ship fleet, the average ship lifecycle, and the historical data on material quantification, it is possible to make an accurate estimate of the

materials that can be recovered through recycling activities in the coming years. By leveraging the available information, assumptions can be made based on the predicted recycling rates for different ship types and the average composition of recoverable materials for each category. In this way, it is possible to forecast the volume of materials that ship recycling activities will generate in the future. For better understanding, the tonnage volume has been expressed in LDT according to the formula provided by (insert citation). Table 3 shows the projected volumes of recoverable materials up to 2050.

Material Stream	Tonnage (t)
Ferrous scrap	~83.050.456
Re melting scrap	~9.941.793
Cast Iron	~4.529.768
Non-ferrous scrap	~3.009.510
Machinery	~2.692.751
Electrical and electronic equipment	~4.929.930
Minerals	~1.911.628
Plastic	~847.420
Liquids, chemicals and gases	~6.117.209
Wooden and furniture	~4.342.339
Miscellaneous	0
Joinery	~3.207.082

Tab. 3 – *Quantities of recyclable and recoverable materials from the european ship fleet until 2050, in tonnes*

The results provide a probabilistic estimate of the recoverable materials from ship recycling activities for the European fleet up to 2050. For simplification, the results for different ship types have been aggregated to provide an overall view of the recovery potential. The estimated material volumes, as shown in Table 3, offer a clear indication of the resources that can be recovered and reintegrated into the production cycle, significantly contributing to a circular economy.

3. Conclusion

This study is part of a broader project that analyses future projections for ship recycling in the European Union. The primary goal is to provide an overview of the sector's capacity to contribute to material supply, while also supporting European decarbonisation policies and the search for new sustainable sources of supply. Ferrous scrap represents the main resource recoverable from ship recycling, but the potential of other materials valuable to the European local economy should not be overlooked. In particular, recycled steel from dismantled ships offers a key opportunity to promote a green economy. The recovery of this material aligns perfectly with the objectives of the European Green Deal, offering a concrete opportunity to reduce dependency on imported raw materials and enhance the sustainability of Europe's steel industry. Steel recycling not only helps preserve natural resources but also significantly contributes to carbon emissions reduction: for every ton of scrap steel used instead of virgin steel, there is an average reduction of 1.7 tons of CO2 emissions. However, for Europe to

become a hub for ship recycling, investments in both infrastructure and financial support will be required. An adequate infrastructure framework and targeted financial backing will be crucial to maximising the potential of this sector. Another critical aspect concerns the recycling capacity of European shipyards, which is currently barely sufficient. An increase in the number of ships destined for demolition could strain the existing capacity. Indeed, there is a significant gap in ship dismantling and recycling capacity that could arise in the coming years, making strategic planning essential to avoid bottlenecks in the demolition and material recovery process.

Bibliography

[1] A. M. Hiremath, S. K. Pandey, and S. R. Asolekar, "Development of ship-specific recycling plan to improve health safety and environment in ship recycling yards," *J Clean Prod*, vol. C, no. 116, pp. 279–298, Mar. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.01.006.

[2] K. Sivaprasad and C. G. Nandakumar, "Design for ship recycling," *http://dx.doi.org/10.1080/17445302.2012.669264*, vol. 8, no. 2, pp. 214–223, Apr. 2013, doi: 10.1080/17445302.2012.669264.

[3] F. Tola, E. M. Mosconi, M. Marconi, and M. Gianvincenzi, "Perspectives for the Development of a Circular Economy Model to Promote Ship Recycling Practices in the European Context: A Systemic Literature Review," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 7, p. 5919, Apr. 2023, doi: 10.3390/SU15075919/S1.

[4] M. Sujauddin, R. Koide, T. Komatsu, M. M. Hossain, C. Tokoro, and S. Murakami, "Ship Breaking and the Steel Industry in Bangladesh: A Material Flow Perspective," *J Ind Ecol*, vol. 21, no. 1, pp. 191–203, Feb. 2017, doi: 10.1111/JIEC.12423.

[5] N. E. Mikelis, "A statistical overview of ship recycling," *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 7, no. 1, pp. 227–239, 2008, doi: 10.1007/BF03195133/METRICS.

[6] J. K. Choi, D. Kelley, S. Murphy, and D. Thangamani, "Economic and environmental perspectives of end-of-life ship management," *Resour Conserv Recycl*, vol. 107, pp. 82–91, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2015.12.007.

[7] I. Jenssen, N. Mulinaris, S. Costa, B. Mantoan, and P. Gianni Rodríguez, "NGO ShipBreaking Platform," 2022. Accessed: Nov. 29, 2023. [Online]. Available: www.shipbreakingplatform.org

[8] K. P. Jain and J. Pruyn, "An Overview of the Global Ship Recycling Industry," *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, pp. 626–647, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.10396-0.

[9] C. Devaux and J. P. Nicolaï, "Designing an EU Ship Recycling Licence: A Roadmap," *Mar Policy*, vol. 117, p. 103826, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.MARPOL.2020.103826.

[10] H. A. Thanopoulou, "What price the flag? The terms of competitiveness in shipping," *Mar Policy*, vol. 22, no. 4–5, pp. 359–374, Jul. 1998, doi: 10.1016/S0308-597X(97)00043-2.

[11] I. L. Buxton, "The market for ship demolition," *Maritime Policy & Management*, vol. 18, no. 2, pp. 105–112, 1991, doi: 10.1080/03088839100000034.

[12] J. Yin and L. Fan, "Survival analysis of the world ship demolition market," *Transp Policy (Oxf)*, vol. 63, pp. 141–156, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.TRANPOL.2017.12.019.

[13] T. Solakivi, T. Kiiski, T. Kuusinen, and L. Ojala, "The European Ship Recycling Regulation and its market implications: Ship-recycling capacity and market potential," *J Clean Prod*, vol. 294, p. 126235, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.126235.

[14] M. Held, B. Stolz, J. Hoffmann, G. Georges, M. Bolla, and K. Boulouchos, "Scrapping probabilities and committed CO2 emissions of the international ship fleet," *SNAME 7th International Symposium on Ship Operations, Management and Economics, SOME 2021*, 2021, doi: 10.5957/SOME-2021-006.

[15] R. W. Hess, D. Rushworth, M. V Hynes, and J. E. Peters, "disposal options for ships," 2001, Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: http://www.rand.org/

[16] C. L. S. Rafn, "DET NORSKE VERITAS REGION NORGE AS Commission of the European Communities Magnus Level Indexing terms Technological and Economic Feasibility Study of Ship Scrapping in Europe Ship decommissioning/ scrapping/ recycling Decommissioning volumes Merchant/ offshore/ naval/ inland waterways Feasibility in Europe Egil Dragsund (DNV) Strictly confi-

dential Unrestricted distribution," 2001, Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: http://www.dnv.comOrg.No:NO945748931MVA
[17] M. Sujauddin, R. Koide, T. Komatsu, M. M. Hossain, C. Tokoro, and S. Murakami, "Characterization of ship breaking industry in Bangladesh," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 17, no. 1, pp. 72–83, Jan. 2015, doi: 10.1007/S10163-013-0224-8/METRICS.
[18] K. P. Jain, J. F. J. Pruyn, and J. J. Hopman, "Quantitative assessment of material composition of end-of-life ships using onboard documentation," *Resour Conserv Recycl*, vol. 107, pp. 1–9, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2015.11.017.

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 Santa Cristina Gela (PA) ad effettuare la raccolta differenziata, dato che essi nel 2023, oltre a raggiungere l'obiettivo del 55% di rifiuti urbani fissato dalla direttiva (UE) 2018/851, sono riusciti a produrre 16,7 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 Santa Cristina Gela (PA) to carry out differentiated waste collection, as they in 2023, in addition to achieving the 55% target of differentiated municipal waste collection laid down by Directive (EU) 2018/851, they managed to produce 16.7 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.

Più di recente la direttiva (UE) 2018/851 ha modificato gli obiettivi di raccolta differenziata fissati dalla direttiva 2008/98/CE, stabilendo le seguenti percentuali:

– 55% entro il 2025,
– 60% entro il 2030,
– 65% entro il 2035.
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 2023, infatti, secondo il rapporto sui Comuni Ricicloni pubblicato da Legambiente nel 2024 [3], ammontano a 629 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 27,6% di amministrazioni virtuose sul totale dei Comuni, seguito dal Trentino-Alto Adige col 27,5% e dal Friuli Venezia Giulia col 21,1%. Per quanto riguarda i capoluoghi di Provincia, è stato il Comune di Trento a fare registrare il più alto valore di kg pro capite (71,5), seguito da Pordenone (67,1), Belluno (65,9) e Treviso (58,6). In Sicilia sono stati ventitré i Comuni i cui cittadini hanno prodotto meno di 75 kg di rifiuti a testa da avviare a smaltimento; nello specifico, con 16,7 kg pro capite (e col 91,3% di raccolta differenziata dei rifiuti urbani) è stato il Comune di Santa Cristina Gela della Provincia di Palermo a posizionarsi al primo posto nella graduatoria regionale davanti a San Giuseppe Jato (26,0), Mirto (31,9), Giardinello (37,0), Lucca Sicula (37,7), San Cipirello (38,2), Giuliana (39,1), Villafranca Sicula (42,6), Piana degli Albanesi (48,8), Calamonaci (49,8), Camporeale (57,2), Saponara (57,6), Terrasini (60,5), Vita (61,7), Marineo (63,3), Roccafiorita (65,0), Acquedolci (65,1), Partanna (65,1), Trappeto (65,3), Misilmeri (68,5), San Michele di Ganzaria (70,2), Burgio (72,8) e Raccuja (74,3).
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 Santa Cristina Gela, 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 sviluppatisi 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 Santa Cristina Gela 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 Santa Cristina Gela (PA) sono riusciti nel 2023 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 2024, pari a 854 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 85 soggetti (10% del totale). Il tasso di risposta complessivo si è attestato al 75%. 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.

Qual è la motivazione prevalente che La induce ad effettuare la raccolta differenziata?
– 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 *packaging* dei prodotti

Tab. 1 – *Quesito formulato al campione indagato*
Fonte: ns. elaborazione

Per l'estrazione del campione [24] si è innanzitutto tenuto presente che degli 854 maggiorenni residenti nel Comune di Santa Cristina Gela, 87 appartengono alla fascia d'età compresa fra i 18 e i 25 anni, 239 a quella compresa fra i 26 e i 45 anni, 345 a quella compresa fra i 46 e i 65 anni, 183 hanno un'età superiore ai 65 anni.
In seguito, è stato applicato il metodo del campionamento probabilistico [25] stratificato proporzionato. Con tale metodo:
a) la popolazione è divisa in sottogruppi o strati (per fasce d'età);
b) 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.

Fasce d'età	*Proporzioni*	*Sub-campioni*
18-25	$854 : 85 = 87 : x_1$ Þ $x_1 @ 9$	9
26-45	$854 : 85 = 239 : x_2$ Þ $x_2 @ 24$	24
46-65	$854 : 85 = 345 : x_3$ Þ $x_3 @ 34$	34
>65	$854 : 85 = 183 : x_4$ Þ $x_4 @ 18$	18
Totale campione		85

Tab. 2 – *Il campione di indagine*
Fonte: ns. elaborazione

Ne consegue che degli 85 cittadini che compongono il campione, 9 vanno riferiti alla fascia d'età che include coloro che hanno fra i 18 e i 25 anni, 24 hanno un'età compresa fra 26 e 45 anni, 34 fra 46 e 65 anni, 18 sono ultrasessantacinquenni.
Gli esiti dell'indagine sono esposti nella successiva tabella 3.

Sensibilità alle tematiche ambientali		**Motivazione prevalente**					
		Timore del giudizio altrui	*Timore dell'applicazione di sanzioni amministrative*	*Vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti*	*Vantaggi di costo sul packaging dei prodotti*	Totale	
Fasce d'età	18-25	44,44%	11,11%	11,11%	22,22%	11,11%	100,00%

Segue

Sensibilità alle tematiche ambientali		Motivazione prevalente					
		Timore del giudizio altrui	*Timore dell'applicazione di sanzioni amministrative*	*Vantaggi di costo sulle tasse sui rifiuti*	*Vantaggi di costo sul packaging dei prodotti*	Totale	
	26-45	37,50%	12,50%	20,83%	20,83%	8,33%	100,00%
	46-65	35,29%	14,71%	23,53%	17,65%	8,82%	100,00%
>65		33,33%	16,67%	27,78%	16,67%	5,56%	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 Santa Cristina Gela 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, lo studio in oggetto induce a sostenere che 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 on Environment and Development, *Our Common Future*, Oslo, 20 Marzo 1987;
[2] **G.L. Gregori**, **V. Temperini**, **A. Perna**, "Lo sviluppo del green marketing nelle imprese alberghiere: i principali risultati di una ricerca esplorativa", in *Rivista di Studi sulla Sostenibilità*, n. 1, 2012, pp. 79-96;
[3] Legambiente, "Speciale Comuni Ricicloni 2023", in *Rifiuti oggi*, n. 1, 2023;
[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 Cocitations 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 choise", 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*, Rizzoli Libri, Milano, 2015;
[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. Bignè**, "El consumidor verde: bases de un modelo de comportamiento", in *Esic Market*, n. 96, 1997, pp. 29-43.

Direttiva Corporate Sustainability Due Diligence: volano della gestione circolare delle risorse?

Luca Cavagnaro luca.cavagnaro@advant-nctm.com, Francesco Follieri francesco.follieri@advant-nctm.com,
ADVANT Nctm, Milano

Riassunto
La CSDDD crea le condizioni perché gli Stati Membri impongano obblighi alle grandi imprese e, per il tramite di queste, alle imprese della loro filiera produttiva di prevenire e rimediare a impatti negativi su ambiente e diritti umani. Per il tramite della prevenzione degli impatti negativi sui diritti umani (e non sull'ambiente), la CSDDD apre la possibilità che gli Stati Membri includano fra gli obblighi di diligenza anche quelli di gestione circolare delle risorse.

Summary
CSDDD creates the conditions for Member States to impose obligations on large enterprises and, through them, enterprises in their supply chain to prevent and remedy adverse impacts on the environment and human rights. Through the prevention of adverse impacts on human rights (not the environment), the CSDDD opens the possibility for Member States to include among due diligence obligations those of circular resource management

1. Introduzione

La Direttiva n. 2024/1760 "Corporate Sustainability Due Diligence" (CSDDD) del 13 giugno 2024, entrata in vigore il 25 luglio 2024, impone agli Stati Membri di adottare, entro il 16 luglio 2026, una disciplina che obblighi le imprese e i gruppi di maggiori dimensioni ad analizzare i rischi di impatti negativi sull'ambiente e i diritti umani e a porre in essere condotte "adeguate" a prevenire gli impatti possibili o a rimediare agli impatti verificatisi per via di condotte di quelle imprese o gruppi o in conseguenza di azioni delle imprese collocate nella loro filiera commerciale.
Si tratta di un approccio innovativo per molti profili, con il dichiarato scopo di promuovere la sostenibilità delle imprese che operano nell'Unione Europea. Uno dei temi essenziali della sostenibilità è la gestione circolare delle risorse. Si intende, perciò, vagliare se e come la CSDDD possa contribuire a ridurre l'impronta ambientale della catena del valore e, in particolare, a promuovere l'*end of waste*.

2. Paper

2.1. L'innovatività della CSDDD

L'approccio del legislatore europeo nella CSDDD è innovativo sotto molteplici profili.
In primo luogo, l'approccio del legislatore europeo "converte" la spinta (*nudge*) di varie fonti di *soft law* [1] in materia di sostenibilità ambientali e rispetto ai diritti umani, in obblighi giuridicamente vincolanti e sanzionati.

D'altro canto e soprattutto, gli obblighi a carico delle imprese di maggiori dimensioni riguardano non solo il perimetro delle azioni, dell'organizzazione e delle strategie proprie di queste imprese o dei loro gruppi (come la definizione e l'attuazione di un piano di azione di prevenzione o riparazione degli impatti negativi su ambiente e diritti umani, *ex* art. 10, par. 2, lett. a, della CSDDD, o di un piano di transizione per la mitigazione dei cambiamenti climatici, *ex* art. 22 della CSDDD). Sulla base di quanto prefigurato dalla CSDDD, le imprese di maggiori dimensioni dovranno imporre anche ai propri partner commerciali diretti e indiretti il medesimo perimetro di obblighi di prevenzione e riparazione degli impatti negativi sull'ambiente e i diritti umani, tramite un set di garanzie contrattuali (di cui la Commissione Europea fornirà un'esemplificazione entro il 26 gennaio 2027). In sostanza le imprese di maggiori dimensioni saranno obbligate ad esercitare il proprio potere di mercato (cfr. considerando n. 21 e n. 45 della CSDDD) sui partner della filiera produttiva che fa loro capo, imponendo loro obblighi di fonte contrattuale per prevenire o rimediare ad impatti negativi sull'ambiente e i diritti umani, vigilando sul rispetto di tali vincoli e fornendo supporto a favore delle PMI loro partner commerciali (supporto nella gestione delle azioni di prevenzione e riparazione o, in taluni casi, finanziario). Nel caso in cui i partner commerciali risultassero inadempienti a questi obblighi, l'impresa "dominante" dovrà prevedere nei contratti ed applicare penali, obblighi risarcitori o, nei casi più gravi, la sospensione o la risoluzione dei contratti con il partner inadempiente.
Si delineano, cioè, due livelli di diligenza e dunque di responsabilità per le imprese di maggiori dimensioni: l'uno, più tradizionale, relativo alle proprie azioni o omissioni che abbiano causato un impatto negativo sull'ambiente o i diritti umani; l'altro, decisamente innovativo, riguardante la vigilanza sui partner della propria filiera, attuata nell'ambito dei rapporti commerciali intrattenuti con loro. Mentre la "responsabilità di filiera" è certamente riconducibile ad un'obbligazione di mezzi (dunque, l'adempimento all'obbligo dipende dall'aver previsto ed attuato tutte le misure per vigilare sulla filiera, anche se poi la condotta dei partner ha prodotto comunque un impatto negativo su ambiente o diritti umani – cfr. il considerando n. 19 della CSDDD), la responsabilità diretta pare invece che si possa configurare anche come una responsabilità derivante da obblighi di risultati (quantomeno nel perimetro degli eventi nel diretto controllo dell'impresa).
Su entrambi i livelli, comunque, le imprese di maggiori dimensioni sono esposte a responsabilità civile nei confronti di chi abbia subito un danno derivato dall'impatto negativo cagionato direttamente o dalla filiera (con una forma di *private enforcement*) e a sanzioni amministrative di vario genere, dall'ordine di riparare l'impatto negativo alle sanzioni pecuniarie, irrogate da una o più autorità indipendenti e/o da un giudice che ciascuno Stato Membro dovrà costituire o indicare o da un giudice (secondo il più comune modello di *public enforcement*).
In questa architettura, probabilmente per via dell'impossibilità di un controllo diretto su tutte le imprese da parte delle pubbliche amministrazioni, il controllo pubblico diretto è limitato alle imprese "dominanti", alle quali viene imposto anche l'obbligo di vigilare sulla filiera – con una sorta di delega del controllo "capillare" al detentore del potere economico e l'istituzione di una sorta di vigilanza a cascata.

2.2. La strumentalità della gestione circolare delle risorse alla prevenzione delle violazioni dei diritti umani secondo la CSDDD

In base alla CSDDD, le grandi imprese devono prevenire e porre rimedio (nei termini già esposti) ad impatti negativi sull'ambiente e sui diritti umani.
In entrambi i casi, gli "impatti negativi" sull'ambiente e sui diritti umani sono le conseguenze negative di violazioni di divieti e obblighi sanciti in una serie di norme internazionali, elencate dalla CSDDD – e che in questo modo (e tramite l'attuazione che daranno gli Stati Membri

alla CSDDD) divengono immediatamente vincolanti per le imprese di grandi dimensioni e "a cascata" sulle imprese della loro filiera.
Quasi istintivamente, la ricerca sul se la CSDDD possa contribuire all'end of waste porta ad esaminare il concetto di impatto negativo sull'ambiente, nella convinzione che in questa area possano rintracciarsi gli obblighi strumentali a tale scopo.
Possono comportare impatti negativi sull'ambiente, da prevenire o arginare in base alla CSDDD, le condotte che:
– non evitano o attenuano gli impatti negativi sulla diversità biologica terrestre e marina, sui beni considerati patrimonio naturale mondiale e sulle zone umide;
– violano i divieti correlati al "bando del mercurio";
– violano i divieti di produzione e uso degli inquinanti organici persistenti e dei prodotti pericolosi per lo strato di ozono;
– violano l'obbligo di prevenire l'inquinamento marino causato dalle navi e da immissione;
– violano i divieti di esportazione di rifiuti prescritti dall'art. 4, par. 1, lett. c), della Convenzione di Basilea.
Questo elenco (che sintetizza la parte 2 dell'Allegato alla CSDDD) lascia pochi margini per ritenere che la CSDDD possa contribuire all'end of waste, se non con un percorso ermeneutico impervio.
L'esame delle condotte che la CSDDD vieta o rende obbligatorie nell'ottica della protezione dei diritti umani, invece e forse sorprendentemente, restituisce un risultato diverso.
A tale scopo non è nemmeno necessario ricorrere alla clausola di apertura a tutte le violazioni di diritti umani presenti nei trattati e nelle convenzioni elencate nella parte I, sezione 2, dell'Allegato alla CSDDD che in base all'art. 3, par. 1, lett. c), n. ii), di quella direttiva (sebbene a talune condizioni) possono rilevare come cause di impatti negativi.
A protezione dei diritti umani, infatti, la CSDDD richiama "il divieto di causare qualsiasi degrado ambientale misurabile, quali cambiamenti nocivi del suolo, inquinamento idrico o atmosferico, emissioni nocive, consumo eccessivo di acqua, degrado del suolo o altri effetti sulle risorse naturali, come la deforestazione, che: a) comprometta in modo sostanziale le basi naturali per la conservazione e la produzione di alimenti; b) privi una persona dell'accesso ad acqua potabile sicura e pulita; c) ostacoli l'accesso di una persona ai servizi igienico-sanitari o distrugga questi ultimi; d) leda la salute, la sicurezza, il normale uso di un terreno o dei beni acquisiti legalmente di una persona; e) incida negativamente in modo sostanziale sui servizi ecosistemici attraverso i quali un ecosistema contribuisce direttamente o indirettamente al benessere delle persone".
Valorizzando adeguatamente questa previsione, il legislatore nazionale potrebbe imporre obblighi di riduzione dei rifiuti e di avviamento al riuso delle risorse alle imprese di maggiori dimensioni e, secondo l'architettura a "cascata", anche alle imprese della filiera.

3. Conclusioni

Rispetto ad una direttiva, specie rispetto ad una direttiva che lascia un discreto spazio ai legislatori nazionali, è difficile spingersi oltre le mere ipotesi su quali conseguenze concrete produrranno. Nel nostro caso, si può solo inquadrare lo spazio lasciato dalla CSDDD al legislatore nazionale, per cogliere se questa possa avere un ruolo nella gestione circolare delle risorse. La risposta è positiva: il legislatore nazionale certamente può e probabilmente dovrà includere obblighi di riduzione dei rifiuti tra gli obblighi di diligenza per la sostenibilità. La speranza è che il nostro legislatore non sprechi l'occasione.

Bibliografia

[1] **R.H. Thaler, C.R. Sunstein**, *Nudge: improving decisions about health, wealth, and happiness*, London – Yale University Press, 2008.

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RESOURCES RECOVERY FROM END-OF-LIFE PRODUCTS AND MATERIALS

a cura di **Ecomondo STC & Italian Chemical Society – Division Environmental and Cultural Heritag e Chemistry, ISWA international, ATIA – ISWA**

The current circular material use rate in the EU is estimated below 12%, indicating a considerable difficulty in the valorisation of end-of-life goods. Thus, the increasing demand for natural resources still characterizes most economic value chains, hindering an effective implementation of the principles of circular economy. A stronger effort is clearly needed to reach the European target of recycling and recovery, with the fundamental contribution of technological innovations, which can trigger virtuous industrial experiences. This seminar will propose examples of novel technical solutions which could have the potential to significantly improve the performance of waste valorisation in different economic sectors.

Presidenti di sessione:
Fabrizio Passarini, Ecomondo STC and University of Bologna
Paolo Massarini, ATIA – ISWA

Grape stalk: a first attempt to disentangle its fibres via electrostatic separation

Umberto Cancelli umberto.cancelli@unipr.it University of Parma, Giuseppe Montevecchi giuseppe.montevecchi@unimore.it, Francesca Masino francesca.masino@unimore.it, Andrea Antonelli andrea.antonelli@unimore.it, University of Modena and Reggio Emilia, Claire Mayer-Laigle claire.mayer@inrae.fr INRA, UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes (IATE), Montpellier

Summary
The aim of the study was to assess the effectiveness of the electrostatic separation on fractionation and deconstruction of the grape stalks lignocellulosic biomass. The results showed the opportunity of using grape stalks as a source of fermentable sugars,
as well as a potential source of furanic compounds. The electrostatic separation technique technique can represent a new and affordable method of lignocellulosic biomass pre-treatment which can easily be integrated into a biorefinery to favor partial fractionation and better exposure of the fractions to a subsequent enzymatic or chemical attack.

Riassunto
L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare l'efficacia della separazione elettrostatica per il frazionamento e la decostruzione della biomassa lignocellulosica dei raspi d'uva. I risultati hanno mostrato l'opportunità di utilizzare i raspi d'uva come fonte di zuccheri fermentabili, nonché come potenziale fonte di composti furanici. La tecnica di separazione elettrostatica può rappresentare un nuovo e conveniente metodo di pretrattamento della biomassa lignocellulosica, che può essere facilmente integrato in una bioraffineria per favorire il frazionamento parziale e una migliore esposizione delle frazioni di lignocellulosa a un successivo attacco enzimatico o chimico.

1. Introduction

Grape stalks, the wooden skeletons of the grape bunches, are biomass that accumulates in big amounts during harvesting season. Grape stalks are composed of three different biopolymers: cellulose (15-40%), hemicellulose (12-20%), and lignin (15-30%). This biomass constitutes an important source of fibres and simple compounds such as sugars and phenolic substances. [1] [*Brandt et al., 2013]* [2] [*Prozil et al., 2012].*
Aside from the glucose-structure of cellulose, hemicelluloses also constitute an interesting family of polymers consisting of pentoses such as xylose and arabinose, hexoses such as glucose, mannose, and galactose, and finally sugar acids (glucuronic and galacturonic acids). [3] [*Schutyser et al., 2018*]. Lignin is formed by units of phenylpropanoids bound together by ether and carbon-carbon linkages. [4] [*Madadi et al., 2017].*
This complex structure makes the separation into single components a particularly difficult process in the pretreatment process.

One of the most innovative and emerging pretreatment methods is electrostatic separation of ultrafine particles that are conveyed through a jet of compressed air towards a tribo-charging line in which they are charged by tribo-electric effect. [5] [*Mayer-Laigle et al., 2018].* This is a technique which does not require organic solvents, not water and chemical catalysts and no purification steps whatsoever. [6] [Barakat and *Mayer-Laigle 2017].* Moreover, other advantages are that it is a low energy consumption process compared to other techniques (steam explosion), it can be coupled with ultrafine milling, it causes a reduced degradation of biopolymers, and it is potentially up scalable on an industrial biorefinery.
The aim of the work is to explore an alternative solution with electrostatic separation to pretreat the lignocellulosic biomass of the grape stalks.

2. Paper
The grape stalks were subjected to the electrostatic separation process and the fractions obtained from this process are studied by various techniques: fluorescence microscopy, FT-IR spectroscopy, UV-Vis spectroscopy and HPLC.

2.1 Electrostatic separation
The grape stalk powder fraction with a particle size less than 63 μm was used for the experiment. A mass of 245 g of powder was introduced into a pilot electrostatic separator (TEP System, Tribo Flow Separations LLC, Lexington, USA) for a single trial (Fig. 1a). The process lasted 10 min, while an additional 10 min were set for the maximum recovery of the product. The feeding system of the separator operated at 150 rpm. [7] [Barakat and *Rouau 2014].*
The particles were conveyed by compressed air along a transfer line in PVC where they were charged by triboelectric effect, both by impact with each other and against the walls of the chamber. Subsequently, the charged particles passed through a separation chamber containing two high voltage electrodes (10,000 V) where the positively charged particles are separated from the negatively charged ones. [8] [Barakat et al., *2015].* Two fractions were collected at each electrode (step 1), while a jar was located underneath each electrode to gather the particles which had not been retained by the electrodes (Fig. 1b). Most of the powder gathered in both jars (145.5 g) was mixed and subjected again to electrostatic separation (step 2), thus obtaining four additional fractions.
Summing up, the fractions deriving from the electrostatic separation steps were 8 (4 fractions E+1, E-1, J+1, and J-1 from the first step, and 4 fractions E+2, E-2, J+2, and J-2 from the second step). Grape stalk 63 μm powder was used as a control.

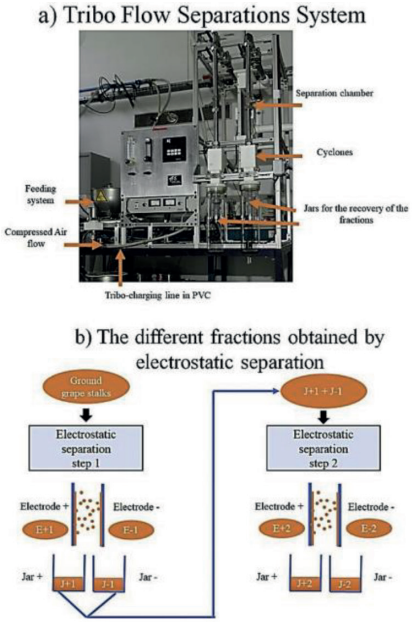


Fig. 1 – *a) Pilot electrostatic separator; b) Experimental scheme.*

2.2 Morphological and structural analyses of the grape stalk powder fractions

The morphology of the material, deriving from the electrostatic separation, was explored through a fluorescence microscope (Eclipse mod. 80i, Nikon instruments,Campi Bisenzio, Italy). The structural analysis of the fractions was carried out through the attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopic analysis (ATR-FT-IR, Vertex 70, Bruker, Milan, Italy). The instrument was equipped with a Golden GateTM (Specac) high-performance single reflection monolithic diamond sampling accessory, featuring a Type IIIA diamond ATR element metal-bonded into a tungsten carbide mount. Data were collected using OPUS software v6.5(Bruker). For each sample, 32 spectra were obtained and coadded at a resolution of 4 cm^{-1}. A background spectrum was obtained by collecting 32 co-added scans after the crystal was cleaned with acetone.

2.3 Extraction tests on grape stalk powder fraction and HPLC determination of sugars and furanic compounds

The fractions deriving from the electrostatic separation treatment were subjected to a two-step extraction, using i) boiling water followed by ii) hot aqueous sulphuric acid 2%. [9] [Spigno et al., *2013].*

The diluted supernatants obtained from both aqueous and acid extractions were then used for HPLC determination of sugars and furanic compounds. Each sample was analyzed through HPLC system (PU 4180, Jasco Europe Srl, Cremella, LC, Italy) equipped with a RezexTM OOH-Monosaccharide-H+ column (Phenomenex, Bologna, Italy), 300 × 7.8 mm. The isocratic separation of sugars and furanic compounds was performed at 30 °C, using a mobile phase of sulphuric acid solution (pH 1.30) pumped into the column with a flow rate of 0.6 mL/min.

The quantification of sugars was carried out with a refractive index detector (RI 4030, Jasco) and furanic compounds were quantified using a UV-Vis detector (UV4070, Jasco) at a wave-

length of 280 nm. The identification of the analytes was performed by comparing the retention times of the peaks with pure reference standards. Quantification was carried out through the external standard calibration method.

2.4 Electrostatic separation of grape stalk powder

The yields obtained at each step of electrostatic separation are reported in Table 1. Most of the ground grape stalk is recovered in a broadly equivalent way in the negative and positive jars. The losses around 35 g for each separation step corresponded to deposits of powder in the dead area of the device. Note that, due to the difference in the mass of input powder, the percentage of loss was more important during the second step. During the first separation step, an important mass of powder was recovered on the positive electrode and to a lesser extent on the negative electrode showing the high electrostatic potential for a part of the initial sample. The mass recovered on the electrodes during the second separation step was lower; it nevertheless permitted the recovery of an additional 3.6% and 1.8% of the fractions at the positive and negative electrodes in spite of a 23.3% extra loss.

	First step (245.0 g)		**Second step (145.5 g)**		**Total**	
	Mass of product recovered (g)	Yield (%)	Mass of product recovered (g)	Yield (%)	Sums(g)	Yield (%)
Jar +	94.2	38.4	53.5	36.8		
Electrode +	22.3	9.1	8.7	6.0 (3.6)[a]	31.0	12.7
Jar -	80.6	32.9	44.9	30.9		
Electrode -	12.6	5.1	4.5	3.1 (1.8)[a]	17.1	7.0
Total mass recovered	209.7	85.6	111.6	76.7	175.8	71.8
Total loss	35.3	14.4	33.9	23.3	69.2	28.2
a = in brackets, the yield in comparison with the initial weight.						

Tab. 1 – *Yields obtained in the two steps of electrostatic separation.*

2.5 Fluorescence microscopy analysis of the grape stalk powder

The analysis of the samples permitted to highlight the prevalence of tracheids and fibres with lignified tissues in the samples selectively isolated at the positive electrode sample E+1). From these images, it emerges that the particles with higher amounts of lignin selectively moved towards the positive electrode due to the higher presence of phenolic substances, which are characterised by the presence of the electronic clouds of the aromatic rings. [7] [Barakat and *Rouau 2014]* [10] [Chuetor et al., 2015*]*. In the control sample, the presence of these elements was fairly limited (Fig. 2b; Control), while they were not found at all in the samples isolated from the negative electrode. Similar behaviour has already been described in a study on the electrostatic separation of sunflower-oil cake in which the authors showed that proteins selectively migrated to the negative electrode, while the lignocellulosic material was massively directed to the positive one. [8] [Barakat et al., *2015].*

2.6 FT-IR spectroscopy analysis of the grape stalk powder fractions

Fig. 2 illustrates the FT-IR spectra of the fractions obtained from the electrostatic separa-

tion experiments. It is possible to notice the absorption band related to the stretching of the hydroxyl group at 3300 cm^{-1}that is common to all three biopolymers of the lignocellulosic biomass and the absorption band of the stretching of the carbonyl group at 1600 cm^{-1} that characterises the structure of the lignin. [11] [Xu et al., 2013*]*.
In the overlapped FT-IR spectra, variations in the relative intensity of the absorption bands can be observed. The E-2 sample displays a lower intensity of the hydroxyl group absorption band compared to the other samples, while the E+2 sample exhibits the highest intensity for the same band. This difference can be attributed to the greater efficiency of the second step of electrostatic separation and the preferential attraction of complex structures rich in hydroxyl groups, such as arabinoxylans and lignin-carbohydrate complexes, towards the positive electrode during the second step of separation as compared to the first step.

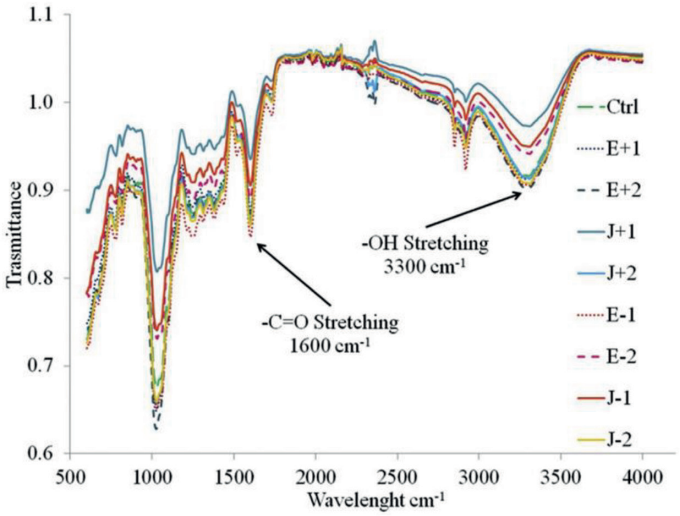


Fig. 2 – *Overlapped FT-IR spectra of the fractions obtained from the first and second steps of the electrostatic separation along with the control. Ctrl, control grape stalk powder; E+: positive electrode; J+: positive jar; E-: negative electrode; J-: negative jar; 1: first step of the electrostatic separation; 2: second step of the electrostatic separation.*

2.7 Determination of sugars and furanic compounds by HPLC
The supernatants obtained from the aqueous and acid extractions were subjected to HPLC analysis and the concentration ranges of glucose and fructose in the aqueous extracts were as follows: 9.46-13.50 g/100 $g_{Dry\ Weight}$ for glucose and 7.39-11.61 g/100 $g_{Dry\ Weight}$ for fructose.
In the acid extracts, the concentrations of xylose, resulting from hemicellulose hydrolysis (Judiawan et al., 2019), ranged from 8.26 to 17.53 g/100 $g_{Dry\ Weight}$ and exhibited variations among the samples. On the other hand, glucose concentrations ranged from 5.32 to 0.34 g/100 $g_{Dry\ Weight}$. The control sample had significantly higher xylose concentration compared to all other samples. This result can be explained by the partial loss of the sample during the electrostatic separation experiment. Hemicelluloses are low-charge biopolymers, and their fragments can easily be lost during the process. They have irregular compositions, consisting of neutral sugars such as pentoses and hexoses, as well as acid sugars like glucuronate and acetate, which are less affected by the attraction of the positive electrode. [11] [Xu et al., 2013*]*.
As for acid hydrolysis, the concentration of furfural and HMF were 1996–2600 and 144-291 $mg/kg_{Dry\ Weight}$, respectively.

3. Conclusions

Electrostatic separation can represent an eco-friendly and sustainable pre-treatment of grape stalks to allow partial separation of both the complex and simple components without using solvents and catalysts, low energy expenditure, and limited biopolymers degradation. In this way biopolymers are better exposed, and this results in a more effective enzymatic or chemical attack. Electrostatic separation can be combined with the grinding and granulometric separation phases as part of an integrated biorefinery to treat other vegetable raw materials based on a similar lignocellulosic biomass structure.

One notable advantage of this technique over direct extraction methods from grape stalks is the higher concentration of simple sugars observed in the fractions collected on the positive electrode compared to those obtained on the negative electrode.

Bibliography

[1] **Brandt, A., Gräsvik, J., Hallett, J. P., & Welton, T.** (2013). Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. *Green chemistry*, *15*(3), 550-583.

[2] **Prozil, S. O., Evtuguin, D. V., & Lopes, L. P. C.** (2012). Chemical composition of grape stalks of Vitis vinifera L. from red grape pomaces. *Industrial crops and products*, *35*(1), 178-184.

[3] **Schutyser, W., Renders, A. T., Van den Bosch, S., Koelewijn, S. F., Beckham, G. T., & Sels, B. F.** (2018). Chemicals from lignin: an interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading. *Chemical society reviews*, *47*(3), 852-908.

[4] **Madadi, M., Tu, Y., & Abbas, A.** (2017). Pretreatment of lignocelollusic biomass based on improving enzymatic hydrolysis. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, *5*(1), 1-11.

[5] **Mayer-Laigle, C., Barakat, A., Barron, C., Delenne, J. Y., Frank, X., Mabille, F., Rouau, X., Sadoudi, A., Samson, M-F., Lullien-Pellerin, V.** (2018). DRY biorefineries: Multiscale modeling studies and innovative processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *46*, 131-139.

[6] **Barakat, A., & Mayer, C.** (2017). Electrostatic separation as an entry into environmentally eco-friendly dry biorefining of plant materials. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, *8*(4), np.

[7] **Barakat, A., & Rouau, X.** (2014). New dry technology of environmentally friendly biomass refinery: glucose yield and energy efficiency. *Biotechnology for biofuels*, *7*, 1-12.

[8]**Barakat, A., Jérôme, F., & Rouau, X.** (2015). A Dry Platform for Separation of Proteins from Biomass-Containing Polysaccharides, Lignin, and Polyphenols. *ChemSusChem*, *8*(7).

[9]**Spigno, G., Maggi, L., Amendola, D., Dragoni, M., & De Faveri, D. M.** (2013). Influence of cultivar on the lignocellulosic fractionation of grape stalks. *Industrial Crops and products*, *46*, 283-289.

[10] **Chuetor, S., Luque, R., Barron, C., Solhy, A., Rouau, X., & Barakat, A.** (2015). Innovative combined dry fractionation technologies for rice straw valorization to biofuels. *Green Chemistry*, *17*(2), 926-936.

[11] **Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., & Wang, D.** (2013). Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: a mini-review. *Applied energy*, *104*, 801-809.

Studio ed elaborazione di nuove strategie, tecniche, metodi e gestione per la bonifica su larga scala dei fondali marini *offshore* nei mari italiani
Implementazione di *innovative technologies* e di *innovative management*

Federico Camilleri federicocamilleri@libero.it
Freelance researcher – Fishing technical consultant

Riassunto
In questo studio viene illustrato un modello virtuoso di raccolta e gestione dei rifiuti marini e delle reti fantasma nelle acque territoriali siciliane (GSA 16), con porto di riferimento Mazara del Vallo, attraverso il coinvolgimento fattivo, preceduto da indagini di feedback, della locale marineria da pesca nell'attività di raccolta (fase 1: trawl fishing for seas cleaning), seguito dal passaggio agli impianti comunali di stoccaggio a terra (fase 2) con il partenariato delle Autorità locali (Marittime e Comunali) e conduzione finale allo smaltimento/riciclaggio (fase 3) con il coinvolgimento degli appositi Consorzi ed Istituti di ricerca. Lo scopo è quello di superare le barriere legislative e l'attuale frammentazione degli interventi con approcci di process analisys e di managerial coordination. La conclusione di questo processo vede la sperimentazione soprattutto della riconversione in campo energetico del marine litter, principalmente con un forte impulso verso la possibilità dell'utilizzo della pirolisi.

Summary
This study illustrates a virtuous model of raising and management of marine litter and ghost nets in Sicilian territorial waters (GSA 16), with reference port Mazara del Vallo, through the active involvement, preceded by feedback surveys, of the local fishing fleet in the raising activity (phase 1: trawl fishing for seas cleaning), followed by the transition to municipal onshore storage facilities (phase 2) with the partnership of local Authorities (Maritime and Municipal) and final transport to disposal/recycling (phase 3) with the involvement of the appropriate Consortia and Research Institutes. The aim is to overcome legislative barriers and the current fragmentation of interventions with process analysis and managerial coordination approaches. The conclusion of this process sees the experimentation above all of the reconversion of marine litter in the energy field, mainly with a strong impulse towards the possibility of using pyrolysis process.

1. Introduzione
L'oggetto di questo studio consiste nell'elaborazione di un modello che adotti nuove tecniche (*fishing vessels*) e attrezzature (*trawls*) per la *research/raising phase*, abbinate ad attività di

process analysis e di *managerial coordination,* per l'implementazione di una filiera continua di gestione dei rifiuti marini che, proseguendo per la *transport/storage phase*, cioè con l'integrazione di questa azione sperimentale, nelle successive attività di sbarco dei rifiuti e delle reti raccolte, con le prassi di gestione dei rifiuti adottate territorialmente, pervenga alla *disposal/recycling phase,* cioè alla loro valorizzazione attraverso l'introduzione in cicli industriali che prevedano la loro riconversione o il loro utilizzo nella produzione energetica (esempio: termovalorizzazione, pirolisi). Il contributo del mondo della pesca professionale, sia per i rifiuti marini che per le reti fantasma, costituisce un punto di partenza fondamentale. A tale scopo è stata progettata e collaudata (attualmente in corso di perfezionamento), una particolare rete a strascico che manovrata con gli ordinari divergenti e verricelli già in dotazione ai pescherecci permette di concentrare l'azione sulla raccolta di *marine litter* e di agire su fondali idonei e profondi anche alcune centinaia di metri. Inoltre, è stato ideato un particolare attrezzo per la raccolta di reti perdute e giacenti sul fondo marino, anch'esso manovrabile da bordo dei pescherecci a strascico ma anche da altri tipi di imbarcazioni. L'azione, anche combinata, di entrambe le soluzioni tecniche aprirà la strada alla possibilità, attraverso l'impiego di più pescherecci, di bonificare siti marini *offshore* estesi, appositamente individuati, contribuendo al sensibile miglioramento della salute dei nostri mari. Dall'entità dei materiali che ci si attende di raccogliere, discende la necessità di un'evoluzione delle modalità di attuazione dei progetti di bonifica dei fondali marini attraverso l'implementazione di azioni tipiche del *project management* (esempio: costituzione team di progetto, attribuzione di ruoli e responsabilità).

2. Relazione

2.1 Mission e Action del progetto

2.1.1 Mission

Protezione e ripristino dell'habitat marino. La sfida lanciata dal modello di gestione che verrà illustrato è strettamente correlata alle esigenze di salvaguardia ambientale marina proclamata nei seguenti principi:
– contribuire alla tutela e al ripristino della biodiversità e degli ecosistemi marini e costieri [1];
– promuovere la transizione verso un'economia circolare ed efficiente sotto il profilo delle risorse [2];
– applicazione del Piano d'azione per l'economia circolare della UE [3];
– recupero dei rifiuti in mare e nelle acque interne e per la promozione dell'economia circolare [4].

2.1.2 Action

Miglioramento dello stato ambientale delle acque marine con il coinvolgimento diretto del mondo della pesca, tramite l'impiego dei pescherecci, nell'ambito di due macrosettori (**Fig. 1 e 2**).



Fig. 1 – *Articolazione attività connesse al marine litter*

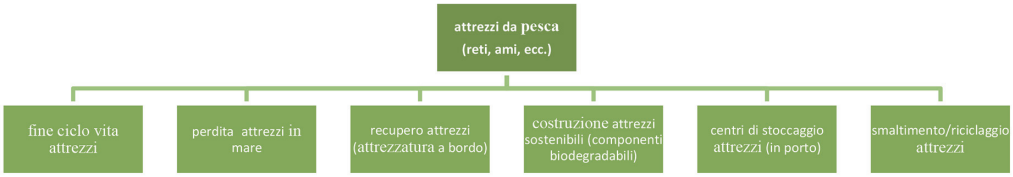


Fig. 2 – *Articolazione attività connesse al fine vita degli attrezzi*

2.2 Intervento, strategia e classificazione attività

2.2.1 Intervento

Costituzione di una filiera di gestione dei rifiuti marini derivanti dalla pesca e da attività antropiche.

Il punto di partenza è rappresentato dall'implementazione di una sinergia tra le tre fasi del processo (**Fig. 3**).



Fig. 3 – *Processo di una filiera dei rifiuti marini (nelle foto, in ordine, un peschereccio e l'impianto di stoccaggio nel porto di Mazara del Vallo ed un impianto sperimentale per la pirolisi dell'Enea)*

2.2.2 Strategia

Approccio integrato nello sviluppo delle suddette fasi attraverso l'implementazione di un'azione di *project management* nella gestione dei rifiuti marini creando, quindi, un sistema integrato e coordinato nel quale inserire (**Fig. 4**):

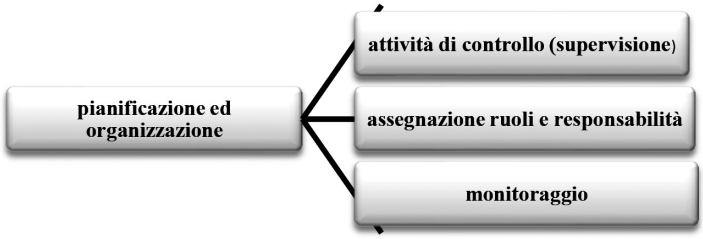


Fig. 4 – *Project management per la filiera dei rifiuti marini*

2.2.3 Classificazione attività

Classificazione di tutte le attività necessarie a pianificare e gestire le tre fasi, ivi compresa l'attivazione di un coordinamento tra tutti gli stakeholders coinvolti in ciascuna di esse in modo

da garantire l'ottimizzazione dell'iniziativa. Esse andranno raggruppate in attività strategica e attività di ricerca e sviluppo (**Fig. 5 e 6**).

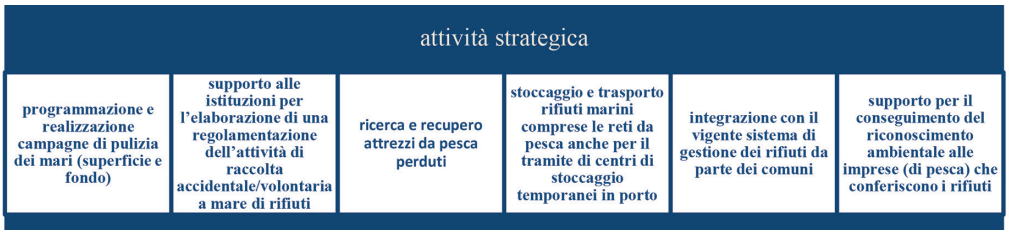


Fig. 5 – *Rappresentazione linee di attività strategica*



Fig. 6 – *Rappresentazione linee di attività di ricerca e sviluppo*

2.3 Assegnazione di un ruolo alla pesca professionale nel processo di transizione verso l'economia circolare del mare

L'obiettivo dell'attività strategica è quello di incrementare l'allineamento alla normativa ambientale europea degli sforzi per il conseguimento di un buono stato ecologico dei nostri mari, realizzato con il coinvolgimento del settore della pesca, attraverso l'attuazione della strategia europea per la plastica, componente predominante nei rifiuti marini, verso l'economia circolare.

2.3.1 Analisi

Il target che viene preso in considerazione in questo studio è quello dei pescherecci a strascico poiché con la loro azione sui fondali favoriscono, già in maniera "accidentale", la raccolta di materiali durante l'ordinario esercizio dell'attività di pesca ed inoltre dai dati riportati nelle **Tabelle 1 e 2** si evince l'enorme potenziale derivato dalla notevole consistenza della flotta dei pescherecci a strascico che, al 31/12/2022 [5], risulta composta numericamente in oltre 2000 unità e, in termini di stazza, rappresenta quasi il 60% dell'intera flotta nazionale. Per condurre una sperimentazione che possa poi svilupparsi su larga scala si è scelta la flotta da pesca a strascico della marineria di Mazara del Vallo che vanta pescherecci di grosse dimensioni (vedasi Fig. 1) e che operativamente spaziano lungo tutto il Mare Mediterraneo. Essa è allocata geograficamente nella *GSA 16* (Sicilia Sud).

Flotta per sistemi di pesca, anno 2022 Sistemi di pesca	Battelli	GT	KW	% Battelli	% GT	% kW
ITALIA	11.807	142.043	921.122	100,00%	100,00%	100,00%
Strascico e Rapido (DTS e TBB)	2.045	84.037	428.275,86	17,32%	59,16%	46,49%

Tab. 1 – *Consistenza flotta da pesca anno 2012*

GSA	Battelli	GT	KW	% Battelli	% GT
GSA10 – Mar Tirreno meridionale e centrale	2.649	19.404	148.026,21	22,45%	14,05%
GSA11 – Sardegna	1.430	10.508	82.143,85	12,12%	7,61%
GSA16 – Sicilia sud	1.096	27.773	122.032,82	9,29%	20,11%

Tab. 2 – *Ripartizione flotta da pesca anno 2012*

2.3.2 Indagini di feedback

Sono stati prescelti i pescherecci aventi lunghezza superiore a 24 metri, facenti capo a tre distinte Associazioni aventi sede a Mazara del Vallo, per un potenziale di impiego di N. 55 imbarcazioni con una stazza complessiva corrispondente a circa il 10% dell'intera flotta nazionale ed a circa il 30% di quella operante nella GSA 16. Presso le suddette Associazioni sono state condotte delle indagini di feedback per l'acquisizione di informazioni operative e tecniche utili alla programmazione delle attività ed i cui risultati si possono consultare sulle **Tabelle 3 e 4**.

INFORMAZIONI OPERATIVE	ASSOCIAZIONE 1	ASSOCIAZIONE 2	ASSOCIAZIONE 3
numero pescherecci aventi lunghezza >24m	5	25	25
composizione media equipaggio	7	7	7
durata (in giorni) ogni uscita per pesca	15 -20	Fino a 40 nel periodo estivo	Fino a 30 nel periodo estivo
numero cale giornaliere (nell'arco delle 24h)	5	4	5
durata oraria cale	3 – 4	4	4 – 5
profondità in metri	100 – 400	300	300
costo giornaliero impiego motopesca (in euro)	3.000	3.000	3.500
numero uscite/rientri annuali nel porto di M/Vallo	10	7	7

Tab. 3 – *Informazioni operative sulla raccolta accidentale dei rifiuti da parte dei pescherecci di M/Vallo*

Zone di pesca	Specie bersaglio principali	Scali intermedi	Quantità plastica raccolta	Perdita reti	Sensori su reti e divergenti	Capacità stivaggio plastica
GSA da 12 a 16	merluzzi e crostacei	Pantelleria – Lampedusa	Media 25 kg ogni uscita	raro	qualcuno	fino a 16mq.

Tab. 4 – *Informazioni tecniche sulla raccolta accidentale dei rifiuti da parte dei pescherecci di M/Vallo*

2.3.3 Attrezzatura innovativa per la raccolta della plastica dai fondali marini

L'azienda Tecnopesca di Civitanova Marche ha iniziato a testare, con l'aiuto di vari pescatori, e con la collaborazione della FAO che ne ha seguito la parte scientifica, una sperimentale rete a strascico (vedasi particolare nella Fig.2) che, grazie a diversi accorgimenti nella costruzione e nella geometria della stessa, sarà in grado di prelevare i materiali presenti sul fondo con minimo impatto sulle specie ittiche. L'armamento e l'utilizzo dell'attrezzo saranno molto simili a quello di una rete a strascico tradizionale anche allo scopo di facilitare la sua implementazione tra gli operatori che non dovranno modificare le proprie abituali tecniche nelle operazioni di calamento e di recupero e non saranno necessari a bordo ulteriori dotazioni e dispositivi. La particolare disposizione delle varie pezzature di rete, dalle prove effettuate, consentirebbe di eliminare grandissima parte del trattenimento di specie ittiche, rappresentando una frazione residuale a favore invece dei materiali solidi presenti sul fondo o in prossimità di esso. L'ultima versione del prototipo di questa rete, dopo qualche precedente prova nel Mare Adriatico, è stata sperimentata nello scorso mese di maggio 2024 con l'utilizzo di un peschereccio iscritto nel Compartimento di Fiumicino, rientrante nella GSA 10 – Tirreno Centro Meridionale, i cui risultati sono riportati nella **Tabella 5**.

Profondità cala	60-80 mt
Velocità durante la cala	3 nodi
Durata cala	30 minuti
Specie presenti alla fine della pescata (kg)	Circa 2 kg
Specie presenti alla fine della pescata (tipo)	Triglia di fango, mazzancolle, polpo
Quantità *litter* raccolto (kg)	Circa 8 kg
Composizione *litter*	Bottiglie PET (3 kg), pezzi di legno (2 kg), buste plastica PE (1 kg), materiale vario (2 kg)

Tab. 5 – *Report cala sperimentale*

Questi risultati mostrano chiaramente che già a questo stadio di sperimentazione la concentrazione del *marine litter* nella rete è risultata 4 volte superiore a quella delle specie ittiche catturate, sulle quali comunque l'impatto è stato molto ridotto, aprendo così alla possibilità di poter ampliare il suo utilizzo anche in aree marine sensibili. L'operatività della rete può essere maggiormente perfezionata con l'ausilio di appositi sensori, attualmente già installati su alcuni pescherecci, posizionati sia su di essa che sui divergenti (**Fig. 7**).

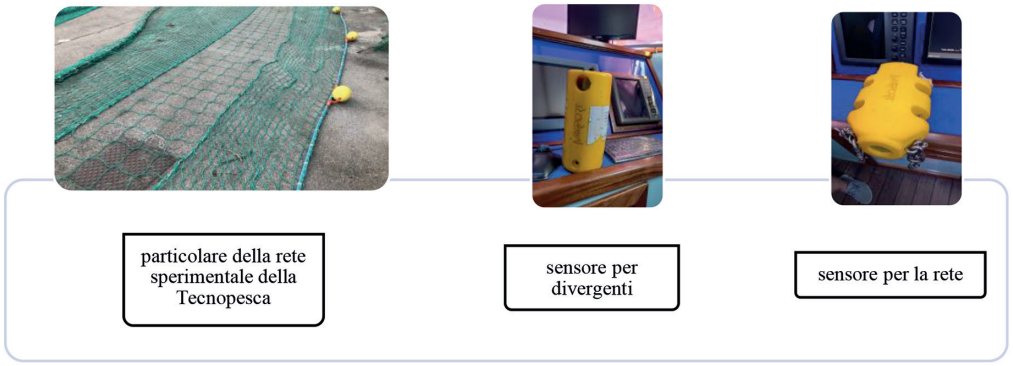


Fig. 7 – *Rete sperimentale e sensori per divergenti e rete*

2.4 Impianto di stoccaggio in porto

L'attività di raccolta deve essere integrata con le prassi di governance locale dei rifiuti. Nel nostro caso il Comune di Mazara del Vallo, a fine anno 2023, ha realizzato in area portuale, attingendo ai fondi di cui alla Misura 1.43 – PO-FEAMP 2014/2020, un impianto per lo stoccaggio sia dei rifiuti marini (R.A.P.), raccolti dalle imbarcazioni operanti all'interno del porto peschereccio di Mazara del Vallo sia dei rifiuti annessi all'attività da pesca. Tale impianto, considerate anche le disposizioni della Legge 17 maggio 2022, n. 60, detta legge "Salvamare", una volta che sarà entrato pienamente in esercizio, permetterà ai pescatori di portare a terra la plastica recuperata con le reti e di depositare le reti dismesse. L'impianto è stato configurato con l'installazione, su di una piattaforma impermeabilizzata appositamente realizzata, in particolare di: N.2 Isole ecologiche portuali automatizzate, N.2 Compattatori scarrabili monopala da 21 mc e N.4 Container scarrabili a tenuta stagna da 24 mc. (Fig.1). Esso, inoltre, dovrebbe rispondere alle stime effettuate in sede di redazione del Piano di Gestione dei Rifiuti nel Porto di Mazara del Vallo, inviato dalla Capitaneria di Porto di Mazara del Vallo, quale Autorità competente in materia, all'Assessorato Regionale dell'Energia-Dipartimento delle Acque e dei Rifiuti– nel gennaio del 2023, nella quale, in particolare, è stata valutata la produzione globale annuale di circa 347 tonnellate di rifiuti appartenenti al raggruppamento che comprende legno-plastica-vetro-cartone-metalli e la produzione annuale di circa 10 tonnellate di reti dismesse. Non essendo presente una specifica valutazione per la frazione composta da plastica, tuttavia dalla combinazione dei dati delle tabelle 3 e 4 si può ricavare un presunto sbarco annuo di poco meno di 10 tonnellate di materiale plastico raccolto durante l'ordinaria attività.

2.5 Smaltimento/riciclaggio

Il tema dello smaltimento dei rifiuti plastici raccolti in mare è notevolmente complesso soprattutto per lo stato in cui essi si presentano che non consente l'eventuale possibilità del loro riciclaggio meccanico come per quelli provenienti dalla raccolta differenziata. Il loro destino si esaurisce inevitabilmente nelle apposite discariche con conseguente aggravio dell'accumulo a tempo indeterminato di tali materiali. Non essendo possibile praticare il loro riutilizzo in campo energetico attraverso il conferimento agli impianti di termovalorizzazione per la totale attuale assenza di tali impianti nel territorio siciliano, esiste tuttavia una terza via, ancora poco esplorata, verso la quale, tra gli altri, l'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) sta cercando di concentrare il proprio interesse in quanto consentirebbe di poter riciclare anche la plastica da *marine litter*: la depolimerizzazione termica (pirolisi e gassificazione), cioè un processo ad alta intensità energetica che può anche produrre combustibili (vedasi **Fig.1**).

3. Conclusioni

Le strategie illustrate in questo studio rappresentano un'evoluzione e un potenziamento significativo del ruolo indispensabile che l'Unione Europea assegna agli operatori della pesca nella pulizia dei mari incoraggiando, oltre la raccolta accidentale e volontaria, sia l'uso di materiali biodegradabili negli attrezzi da pesca sia il riciclo dei rifiuti raccolti nello stesso settore della pesca. I vantaggi delle attività proposte derivano dall'abbattimento del costo ambientale generato dai lunghissimi tempi necessari per la degradazione della plastica ma, con l'incentivo allo sviluppo e al perfezionamento di nuove tecnologie di riciclo, si può arrivare anche ad incidere sui costi economici poiché le discariche risultano costosissime da gestire. Inoltre, questo modello di gestione consente un'adeguata risposta a due fondamentali caposaldi fissati dalla Comunità Internazionale in materia ambientale, a breve e lungo termine. Il primo caposaldo, nel più ampio impegno nella promozione di una transizione verso modelli

più sostenibili, rimarca il ruolo fondamentale degli oceani e dei mari per la vita sul pianeta richiamando ad una attenta gestione di questa risorsa globale per uno sviluppo sostenibile (Agenda ONU 2030). Il secondo caposaldo è costituito dall'adozione, nel 2020, da parte dell'Unione Europea dell'aggiornamento della legislazione sulla gestione dei rifiuti per promuovere la transizione verso un'economia circolare in alternativa alla ancora predominante economia lineare. Da un esame più approfondito di queste norme emerge chiaramente come la protezione dell'ambiente marino sia stata affrontata in diverse legislazioni internazionali, aventi anche temi differenti, a dimostrazione della sua indiscussa centralità, facendo nascere pertanto l'esigenza del ricorso ad una più ampia governance integrata che comprenda regole e, soprattutto, comportamenti. A completamento delle tre fasi di carattere operativo ed a coronamento della sperimentazione progettuale, non potrà mancare la previsione di una quarta fase finale, anch'essa strutturata, finalizzata a catalogare e diffondere i risultati del progetto, soprattutto quelli attinenti alle innovazioni sia tecnologiche che organizzative, con la raccolta di indicazioni utili alla verifica della sostenibilità ambientale ed economica della stessa attività sperimentale e la realizzazione di apposite iniziative di *follow-up* finalizzate alla diffusione dei principali risultati del progetto.

Bibliografia

[1] **Ministero dell'Agricoltura della Sovranità Alimentare e delle Foreste,** *Programma Operativo Nazionale finanziato dal Fondo Europeo per gli Affari Marittimi, la Pesca e l'Acquacoltura (FEAMPA) 2021-2027*

[2] **Regione Siciliana,** *Programma Regionale FESR Sicilia 2021-2027 (adottato con Decisione UE n. 9366/2022)*

[3] **Commissione Europea**, *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva (Bruxelles, 11.3.2020)*

[4] **Legge 17 maggio 2022 n. 60**, *Disposizioni per il recupero dei rifiuti in mare e nelle acque interne e per la promozione dell'economia circolare (legge «SalvaMare»)* (*GU n.134 del 10-6-2022*)

[5] **Ministero dell'Agricoltura della Sovranità Alimentare e delle Foreste,** *Relazione Annuale Italia 2023 – Reg. (CE) n. 1380/2013*

DC thermal plasma process for the production of AM powders

Sergio Galvagno[1] sergio.galvagno@enea.it, Carmela Borriello[1], Gabriella Rametta[2], Nicola Fedele[3], Pierpaolo Iovane[1], Sabrina Portofino[1]
1-ENEA – Department for Sustainability, C.R. ENEA Portici
2-ENEA – Department of Energy Technologies, C.R. ENEA Portici
3-Consorzio Calef

Summary
Additive Manufacturing (AM) refers to several emerging printing techniques, applied in many industrial fields, that changed the way to think and realize goods, allowing the creation of objects with geometries and shapes unobtainable by classic "subtractive" techniques and lowering the waste production. This increased attention toward 3D printing techniques has been fostering the development of new printing materials. Micron-sized spherical metal powders are considered as one of the best candidates for AM systems and for the application in a wide range of sectors. In this work, irregular metal alloy powders were used to explore and identify the best parameters of a thermal plasma process able to produce spherical powders for AM applications. Collected powders were characterized in terms of particle size distribution, morphology, bulk density and flowability. The collected results were compared with data available in the literature for commercial powders.

Riassunto
Il termine "Manifattura Additiva" si riferisce ad una serie di tecniche di stampa emergenti, applicate in molti settori industriali, che hanno cambiato il modo di pensare e produrre beni, consentendo la creazione di geometrie e forme inimmaginabili con le classiche tecniche "sottrattive" riducendo anche la produzione di scarti. La crescente attenzione verso le tecniche di stampa 3D ha incentivato lo sviluppo di nuovi materiali di stampa. Le polveri metalliche micrometriche sono considerate come uno dei migliori candidati per sistemi AM e per l'applicazione in un'ampia gamma di settori. In questo lavoro, polveri di leghe metalliche di forma irregolare sono state adoperate per studiare ed ottimizzare i parametri di un processo di plasma termico in grado di produrre polveri sferoidali adatte per applicazioni AM. Le polveri raccolte sono state caratterizzate in termini di distribuzione delle dimensioni delle particelle, morfologia, densità e flowability. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati disponibili in letteratura per le polveri commerciali.

1. Introduction

The new frontiers of Additive Manufacturing (AM) involve several emerging printing techniques that promise to revolutionize the manufacturing processes in many industrial fields. Indeed, the "additive" approach allows to create objects with geometries and shapes unobtainable by using the classic "subtractive" one. This increased attention toward 3D printing techniques have been boosting the development of new printing materials, from polymers and resins to metals and ceramics [1-2]. Among these, metal powders occupy a rapidly growing

market. The development of spherical powders, with high packing capacity and therefore good flowability, becomes a primary requirement for printing. Usually, these powders are produced by Water Atomization (WA) and Gas Atomization (GA); however new techniques such as Plasma Atomization (PA) and Plasma Spheroidization (PS) are gaining increasing interest. Plasma atomization is a relatively new process, developed to produce high purity powders of reactive metals and high melting point alloys such as titanium, zirconium, tantalum [3-4]. Plasma atomization allows to produce fine particles with a highly spherical shape and low oxygen content. Indeed, the high– plasma temperature (up to 10000 °C) allows the melting of the powder particles, which then turn into little drops that, under the action of their surface tension, can be collected as smaller size particles, often in one-step treatments.
DC technology has not had the same pulse type of RF technology: the use of DC torches finds widespread application in plasma spray, but there aren't commercial systems dedicated to spheroidization-like applications on the market. This is because RF flames, while being less energetic than analogous DC solutions, are slower and allow in-ternal axial injection; this determines higher residence times of the powder inside the plasma. The classic DC systems, despite having a higher efficiency and energy density, have much faster flames and external injection of the powders. However, thanks to the recent progress made in the torch manufacturing technique, interest in the new DC-based torches is becoming concrete. In fact, DC plasma systems offer, apart from higher energy densities than RF systems, greater "scalability".
Indeed, there are few scientific papers on the production of spherical particles by DC plasma in the literature, particularly for metals [5-6].
In this frame, ENEA developed a new prototypal plant to produce powders for AM; the system based on DC thermal plasma technology, was own designed and installed at ENEA Portici Research Centre. This work was carried out on SS316L angular stainless-steel powder with the aim of exploring and identifying the best process parameters for the production of spherical powders. The powders were thoroughly characterised and compared with commercial powders.

2. Paper

2.1 Experimental

Commercial SS316L powders provided by Thermofisher have been used for the experimental work. The raw powders were processed by a DC thermal plasma plant installed at ENEA Portici RC. Figure 1 shows the flow sheet of the plant. The plasma operates under a light vacuum. The torch is fitted in the upper part of a jacketed-cylindrical stainless-steel reactor cooled with circulating cold water. The reactor is equipped with a collection tank, where the produced powders are collected along with the unreacted materials. At the top of the reactor, one nozzle feeds the powder directly into plasma flame. Tests have been conducted using argon (Ar) as the main gas to light the plasma and helium (He) as secondary gases to improve the flame conditions. Argon is also used as carrier for powders injection. Table 1 shows the experimental conditions for SS316L<100 mesh tests; plasma power was varied in the range 12-23 kw, while other parameters were kept constant

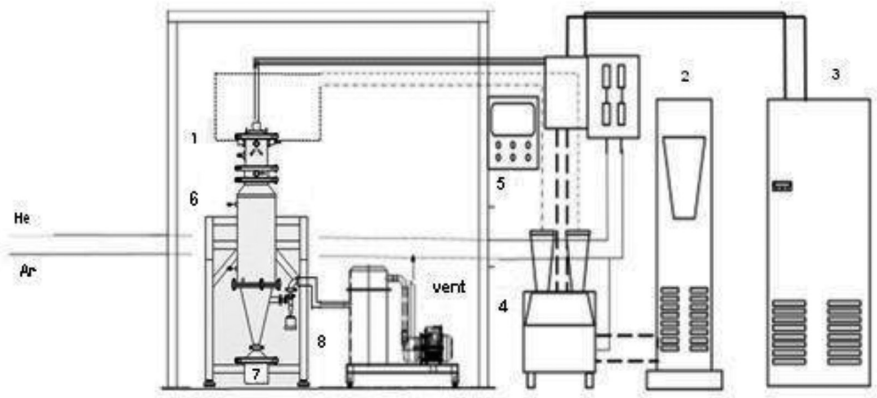


Fig. 1 – *Plasma plant flow sheet: 1) Plasma Torch; 2) Power Supply; 3) Chiller; 4) Powder Feeder; 5) Control Unit; 6) Reactor; 7) Collection Tank; 8) Bag Filter*

Morphological analyses of the samples were carried out by a scanning electron micro-scope (SEM, Thermo Fisher Scientific "Phenom Pure" with upgrade to Phenom ProX). Energy-dispersive X-ray (EDX) spectral analysis was also used to determine the overall chemical composition of the samples with the Phenom (15 kV). The SEM pictures were used and further processed to measure the particles dimensions.
Phase identification of the samples was performed by X-ray diffraction (XRD) analysis by a X'Pert MPD diffractometer using nickel filtered Cu Kα radiation in the range of $2\theta = 20°–80°$ with a 0.050° step width and a 5 s counting time for each step. Powder phase identification was obtained comparing the diffraction pattern with SS316L Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) cards.
The flowability of the powders was evaluated by applying the ISO 4490-2018 standard, which is based on the Hall & Carney Flowmeter method. The measures were conducted using the POWDERFLOW kit by Carpenter Additive. According to the standard protocol (ASTM B213), 50 g of powder was timed passing through the funnel and the result is given as seconds/50 g.

2.2 Results and Discussion

During the process, injected particles absorb energy by the plasma and if the energy is enough, they melt; out of the plasma, the surface tension forces determine their spherical shape during the cooling phase. If a higher energy is employed, the smallest particles evaporate, resulting in the formation of nanoparticles deposited on the reactor wall and on the biggest particles surface. After processing, all samples present spherical shape with the presence of nanoparticles that increases with plasma power. SEM analyses of raw material and processed powder, after classification, are reported in figure 2.

Test code	Power (kW)	Ar (slm)	He (slm)	Ar carrier (slm)	Pressure Test (kPa)	Feeding rate (g/min)
SSPL5	12,5	40	10	1	90	5
SSPL6	17	40	10	2	92	5

Segue

Test code	Power (kW)	Ar (slm)	He (slm)	Ar carrier (slm)	Pressure Test (kPa)	Feeding rate (g/min)
SSPL7	21	40	10	1,5	91	5
SSPL8	21	40	10	1	87	5
SSPL9	21,5	40	15	1	105	5
SSPL10	23	50	15	1	92	5

Tab. 1 – *Experimental conditions for SS316L <100 mesh*

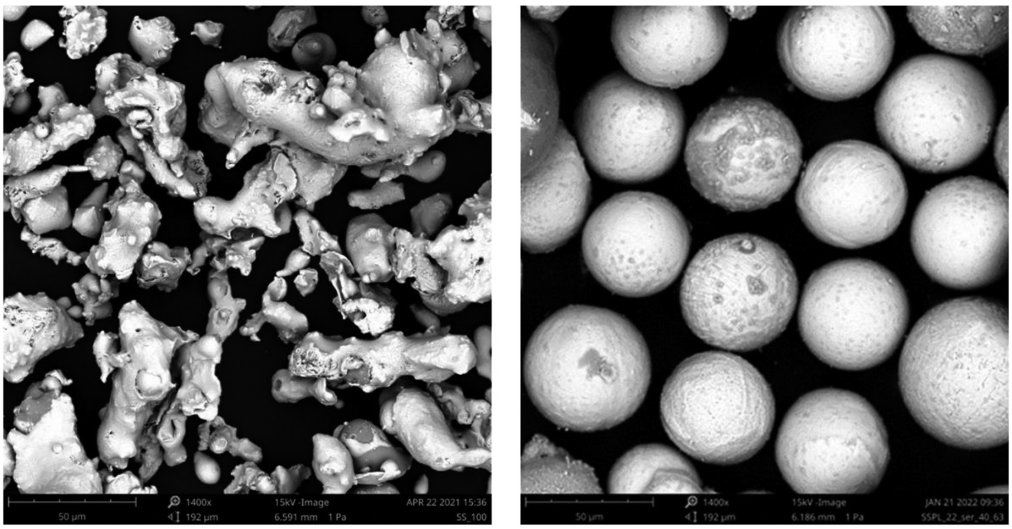


Fig. 2 – *SEM images on powders before (left) and after (right) plasma treatment (SSPL9 cond.)*

The starting material shows angular and irregular shape particles with a quite wide diameters distribution, ranging from particles lower than 10 microns, to aggregates larger than 100 microns. Processed powders have regular and spherical shape. The best results were obtained under SSPL9 and 10 conditions. In the following table (Table 2), the values of Density and Flowability have been compared with those of commercial powders, which are quite similar.

Powder	Process	Density (g/cm3)	Flowability (s/50g)
Hoganas AB (20-60)	Water atomization		37,4
Hoganas AB (20-60)	Gas atomization		18,1
Hoganas AB (Amperit15-45)	Gas atomization (ViGA)	4,8	16,1
SLM powder	nd	4,56	16,2
SSPL9	Plasma (our work)	4,14	19,5

Tab. 2 – *Density and Flowability values of commercial powders, compared to SSPL9*

Figure 3 shows the results of XRD characterization.

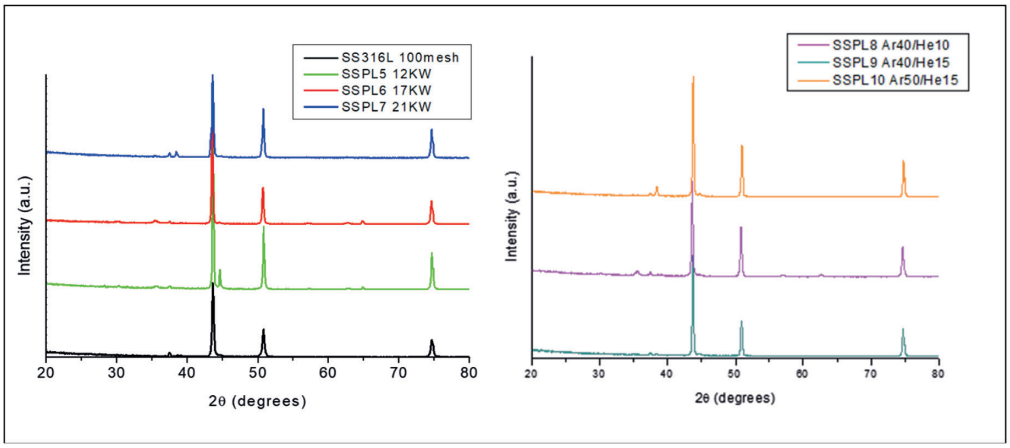


Fig. 3 – *XRD on powders before and after plasma treatment*

The main phase of all treated powders is the austenitic, similarly to the starting material. The ferritic phase is almost absent; it is detected only in the spectra of the sample obtained at the lowest power used (12 kW). In addition, an increasing formation of oxides with the rising of the plasma power is highlighted. This is probably due to the increasing presence of nanoparticles produced at higher plasma power and more susceptible to oxidation.

3. Conclusions

The experimental tests conducted on SS316L powder using a DC thermal plasma plant installed at ENEA Portici RC have shown that starting material particle size plays a relevant role in the determination of process conditions. All samples show spherical particles. The best results were obtained under SSPL9 and 10 conditions. The average value of the circularity of the powders, a parameter to measure the degree of spheroidization, resulted in all tests > 0.8 and flowability data around 30 s/50 g. These results are in line with the literature references for powders used for SLS and SLM applications. Further tests are however necessary to better characterize the powders obtained. Besides post-processing powder "classification" (leaching and sieving) is very important to obtain usable products, in analogy with commercial processes and will surely be explored in subsequent works.

Bibliography

[1] Dilberoglu, U.M. Gharehpapagh, B., Yaman, U., Dolen, M. *The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0* Procedia Manuf 11:545–554 (2017)

[2] Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., Hui, D. *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges*. Compos Part B Eng 143:172–196 (2018)

[3] Boulos, M.I., Fauchais, P., Pfender, E. in: *Thermal Plasmas: Fundamentals and Applications*, Vol. 1. Springer, New York, 33–43 (1994)

[4] Samokhin, A.V., Alekseev, N.V., Astashov, A.G., Kirpichev, D.E., Fadeev, A.A., Sinaiskiy, M.A., Tsvetkov, Y.V. *Synthesis and processing of powder materials in DC arc thermal plasma*. J Phys: Conf Ser. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1393/1/012126 (2019)

[5] Samokhin, A.V., Fadeev, A.A., Sinaiskiy, M.A., Alekseev, N.V., Tsvetkov, Y.V., Arzhatkina, O.A. *Fabrication of high-alloy powders consisting of spherical particles from ultradispersed components*. Russian Metallurgy (Metally) 7:547-553 http/doi.org/10.1134/S0036029517070138 (2017)

[6] Itagaki, H., Hanada, K., Hirose, S. *Spherical Particles with and Without Attached Nanoparticles Formed by DC-arc Spheroidization of Irregularly Shaped Stainless-Steel Powder*, Jpn. J. Appl. Phys., https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab8282 (2020)

Technology Environment Care ed il riciclaggio dei pneumatici fuori uso (PFU)

Gianmarco Di Rienzo g.dirienzo@tec-environment.com, Luigi Piarulli l.piarulli@tec-evinronment.com, T.E.C. S.r.l.
Roberto Tamma, TEC, Bari
Paolo Corvaglia, Siryo, Bari
Franco Cataldo Actinium Chemical Research, Roma
Angelo Priori Saturno Consulting, L'Aquila
Chiara Franzini Cappelletti Innochem Service, Legnano.

Riassunto
La T.E.C. s.r.l. è una start-up che ha sviluppato un processo innovativo in grado di recuperare Carbon Black dai pneumatici fuori uso (PFU). La tecnologia prevede l'impiego di un primo step di pirogassificazione, per la rimozione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), nocivi per l'uomo e per l'ambiente, e di un successivo step di lisciviazione chimica, con ridotte emissioni in ambiente. Ulteriore caratteristica della tecnologia brevettata è la possibilità di controllare la morfologia delle particelle, migliorandone l'effetto rinforzante in nuove mescole. Il Carbon Black ottenuto, chiamato Fully recovered Carbon Black (FrCB), può essere re-impiegato come sostituto del Carbon Black "furnace" (derivato dal petrolio), per la produzione degli pneumatici nuovi ed in generale per gli articoli tecnici in gomma.

Summary
T.E.C. s.r.l. is a start-up company that has developed an innovative process capable of recovering Carbon Black from wasted tires. The technology involves the use of a first step of pyrogasification, for the removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), which are harmful to humans and the environment, and a subsequent step of chemical leaching, with reduced emissions into the environment. Additional feature of the patented technology is the possibility to control the morphology of the particles, improving their reinforcing effect in new compounds. The Carbon Black obtained, called Fully recovered Carbon Black (FrCB), can be re-purposed as a substitute for "furnace" (petroleum-derived) Carbon Black, for the production of new tires and in general for technical rubber items.

1. Introduzione

L'industria manifatturiera degli pneumatici è responsabile del consumo di circa il 65% di tutta la gomma naturale e sintetica prodotta nel mondo [1]. A livello globale, si stima che ogni anno vengano generati oltre 1,5 miliardi di pneumatici fuori uso (PFU) [1,2]. È difficile riprocessarli a causa della loro complessa struttura chimica e meccanica, progettata per garantire durevolezza e resistenza all'abrasione [3], pertanto le prime pratiche comportavano il loro smaltimento ed accumulo in discarica. La domanda sempre crescente di nuovi pneumatici, unita alla natura non biodegradabile dei PFU, ha rapidamente reso la messa in discarica un metodo di gestione dei rifiuti non sostenibile, nel caso degli pneumatici [4]. Un'ulteriore criticità è data dal fatto che gli pneu-

matici rappresentano un serio rischio di incendio durante le stagioni secche, difficili da estinguere a causa del loro elevato contenuto energetico e del grande volume di spazio vuoto che fornisce ossigeno all'incendio [5]. Tali criticità, combinate con altri problemi ambientali come l›emissione di rifiuti tossici, hanno portato a scoraggiare lo smaltimento dei PFU tramite discarica in vari paesi [4]. Solo nel 2023, Ecopneus [6] ha raccolto complessivamente circa 188.000 tonnellate di PFU in tutte le regioni d'Italia. La sfida più grande attualmente è sviluppare sistemi di riciclaggio dei PFU che siano fattibili dal punto di vista ambientale e finanziario. La T.E.C. s.r.l. nasce come start-up innovativa che punta a sviluppare e diffondere una tecnologia innovativa che consente di ottenere, dal riciclo dei PFU, un Carbon Black da pirolisi (CBp) perfettamente idoneo per la produzione di mescole di pneumatici nuovi ed in generale di articoli tecnici in gomma, anche potenzialmente destinati al contatto diretto con l'uomo, il tutto in un'ottica di economia circolare e sostenibilità ambientale. La TEC sta seguendo l'iter autorizzativo per costruire un impianto sperimentale (ai sensi dell'Art. 211 del D.Lgs. 152/2006), in cui verrà testata, in scala industriale, la tecnologia brevettata e già validata in laboratorio. L'impianto sarà realizzato a Bari e consentirà di trattare fino ad un massimo di 5 tonnellate di PFU al giorno. Le bassissime emissioni prodotte e la logica di processo orientata alla chiusura del ciclo dei rifiuti secondo un approccio volto all'economia circolare, sono in linea con il trend globale della sostenibilità ambientale che si sta ormai perseguendo in Europa, ed in parte anche nel resto del mondo.

2. Prodotti e Processi

Il processo, sviluppato dalla TEC, comprende diverse fasi per il trattamento dei PFU; nel seguente diagramma di flusso (Fig. 1) sono riportate quelle principali:

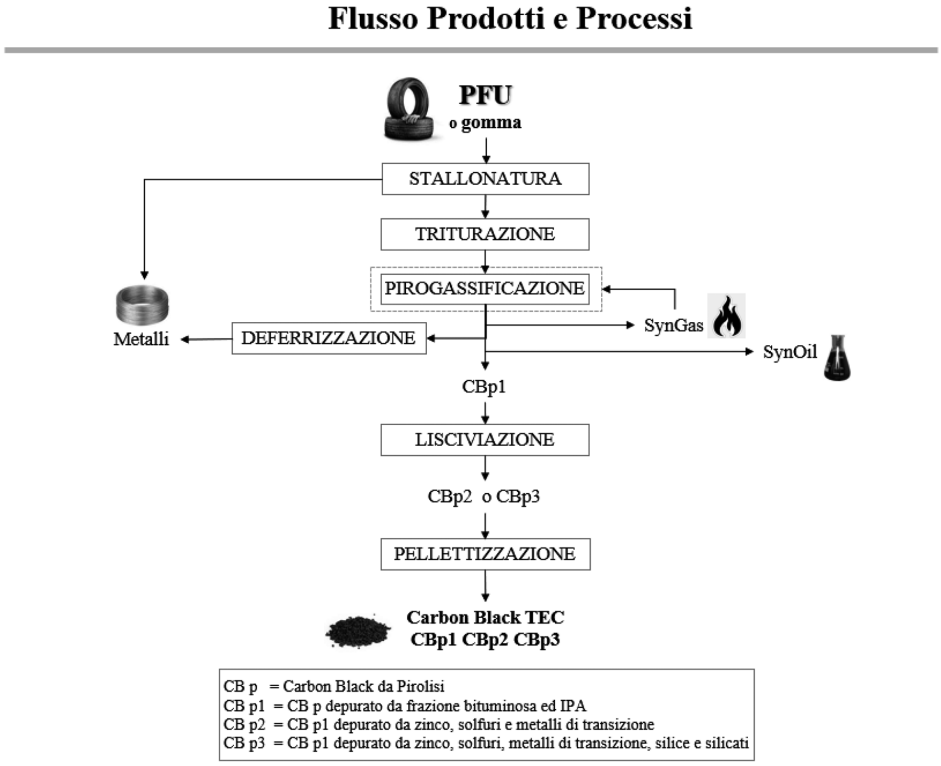


Fig. 1 – *Flusso Prodotti e Processi per il trattamento dei PFU.*

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva che definisce ciascuna fase del processo e la sua funzione:

Fase	Funzione
Stallonatura	Rimozione cerchietto metallico dai PFU.
Triturazione	Riduzione delle dimensioni dei PFU alla pezzatura desiderata ed idonea per il trattamento di pirogassificazione.
Pirogassificazione	Rimozione della frazione bituminosa e degli IPA contenuti nei PFU, con l'ottenimento del CBp1.
Deferrizzazione	Recupero di frammenti metallici annegati nella mescola dopo la pirogassificazione.
Lisciviazione	Rimozione zinco, solfuri, metalli di transizione, silice e silicati dal CBp1, con l'ottenimento del CBp2 o CBp3.
Pellettizzazione	Ottenimento di pellet di Carbon Black per migliorare la dispersione nelle mescole.

Tab. 1 – *Definizione delle fasi del processo di trattamento dei PFU.*

Il PFU contiene anche una parte metallica annegata nella mescola del pneumatico, ed il cosiddetto "cerchietto" metallico; prima di inviarlo al pirogassificatore, il PFU viene stallonato in modo da recuperare il cerchietto. Successivamente, dopo esser stato triturato per raggiungere le dimensioni idonee al corretto impiego nel processo di pirogassificazione, viene inviato al pirogassificatore. Il trattamento dei PFU si basa principalmente su tre processi fondamentali: la pirogassificazione, la lisciviazione chimica e la pellettizzazione.
Il primo viene utilizzato in sostituzione del processo di termovalorizzazione, risolvendone le criticità legate all'ecosostenibilità. La pirogassificazione è un processo di degradazione termica a temperature elevate, in cui il PFU viene depolimerizzato (e quindi non combusto) con formazione di syngas (frazione gassosa), synoil (frazione liquida), CBp1 (frazione solida) e metalli. Il pirogassificatore viene riscaldato dal calore prodotto nella camera di combustione, alimentata nella sola fase di accensione da metano. Una volta che il processo è avviato, il syngas prodotto viene ricircolato nella camera di combustione ed utilizzato come combustibile in sostituzione del metano. Il synoil ed i frammenti metallici, previa deferrizzazione in uscita dal pirogassificatore, sono invece raccolti e trasportati in area di stoccaggio. Il synoil potrà essere utilizzato come combustibile in altri processi chimici, i metalli recuperati dai PFU (sia dal processo di stallonatura che dalla pirogassificazione), potranno essere utilizzati come materia prima per la produzione di acciaio di seconda fusione. Il Carbon Black (CBp1) ottenuto, depurato dagli IPA, invece può venire ulteriormente processato e raffinato.
L'impianto pirolitico non è un impianto di combustione o incenerimento e presenta bassissimi livelli di emissioni in atmosfera, controllati dalla presenza di opportuni sistemi di abbattimento e filtraggio. L'impianto prevede inoltre l'utilizzo di un motogeneratore, a cui sarà inviato il syngas in eccesso prodotto dalla pirogassificazione, per la produzione di energia elettrica utile ad alimentare l'impianto stesso, con conseguente diminuzione dei consumi energetici esterni. Nell'impianto si può anche puntare sull'utilizzo di energie rinnovabili come ad esempio l'energia solare (tramite pannelli fotovoltaici), per produrre ulteriore energia elettrica da utilizzare nell'impianto. In uscita dal pirogassificatore, il CBp1 viene raccolto ed inviato all'impianto di lisciviazione per la produzione di CBp2, depurato da composti quali zinco,

solfuri e metalli di transizione, o di CBp3, nel caso in cui il processo di lisciviazione risulti più spinto; il CBp3 è depurato anche da silice e silicati. Successivamente, il Carbon Black prodotto è inviato alla sezione di filtrazione e lavaggio con acqua. Il Carbon Black, prima di essere inviato all'impianto di pellettizzazione, viene sottoposto al processo di essiccazione, per rimuovere l'umidità in eccesso dal campione ed eventualmente al processo di micronizzazione o di etching per modificarne le caratteristiche colloidali. Il processo di pellettizzazione consente poi di agglomerare le particelle di Carbon Black raggiungendo dimensioni nell'ordine del millimetro, ottenendo così una migliore incorporazione del filler nella matrice polimerica. Tutto ciò garantisce un migliore effetto rinforzante nelle mescole. In aggiunta, trattare materiale pellettizzato fornisce ulteriori vantaggi in quanto riduce i volumi di trasporto e lo spolverio. Il Carbon Black risultante dall'intero ciclo produttivo, è denominato Fully recovered Carbon Black (FrCB), o Carbon Black da pirolisi (CBp), e rappresenta un prodotto ad alto valore aggiunto per le caratteristiche chimiche e colloidali che possiede.

2.1 Applicazione del Carbon Black prodotto con la tecnica TEC.

Il Carbon Black recuperato con la tecnica TEC può essere utilizzato come filler per la produzione di mescole di pneumatici nuovi o di altri articoli tecnici in gomma, potenzialmente destinati anche al contatto diretto con l'uomo, in sostituzione del Carbon Black furnace derivante dal petrolio. Esso rappresenta il componente rinforzante della mescola elastomerica, formata dal polimero (30-40%), dalla carica rinforzante (20-40%), dai plastificanti (10-20%), dagli antidegradanti/attivanti/vulcanizzanti/adesivanti (2-5%).

In generale tutti gli articoli a base di elastomeri sono formati essenzialmente da mescole in cui la gomma, sia essa di origine naturale o sintetica, costituisce una matrice nella quale si trovano, allo stato di dispersione o di soluzione, diverse sostanze denominate "ingredienti", tra cui vulcanizzanti, plastificanti, antiozonanti e filler.

In una mescola possono essere presenti uno o più elastomeri, purché compatibili fra loro, ed un numero di ingredienti diversi variabile da poche unità sino a circa una ventina per ogni mescola. Nel caso degli pneumatici, ci sono almeno 7 formulazioni di mescole che lo compongono: battistrada base, fianco, fianco basso, liner1, liner2, cinture, carcassa, riempimento tallone.

Ognuna di queste formulazioni contiene Carbon Black di gradi diversi ed in diversa quantità. Ciascun componente della sezione dello pneumatico prevede una specifica mescola che sarà quindi composta da gomma naturale o sintetica e da Carbon Black o altre cariche rinforzanti e plastificanti a seconda delle proprietà meccaniche richieste e dal livello di anti invecchianti/degradanti necessari per la protezione dagli agenti ossidanti (ossigeno, ozono, umidità e calore).

La tecnica TEC consente di ottenere differenti tipologie di Carbon Black con caratteristiche tecniche tali da consentirne l'utilizzo in totale o parziale sostituzione del CB furnace in varie parti dello pneumatico.

La tecnica TEC, inoltre, permette di ridurre le emissioni di CO_2 a sostegno della Carbon Neutrality, considerando che la riduzione delle emissioni di CO_2 per la produzione di Carbon Black da pirolisi è pari circa all'80% [7]; infatti le emissioni di CO_2 per la produzione di Carbon Black vergine sono pari a 3,2 Kg CO_2 e/Kg [8], mentre il carbon footprint relativo alla produzione di Carbon Black da pirolisi è pari a circa 0,6 Kg CO_2 e/Kg:

Carbon Footprint CB vergine à 3,2 Kg CO_2 e/Kg
Carbon Footprint CB da pirolisi à 0,6 Kg CO_2 e/Kg
Riduzione % Carbon Footprint à 80%

Il quantitativo del Carbon Black vergine, generalmente utilizzato nelle mescole è circa del 30%; ipotizzando di sostituirlo completamente con il Carbon Black da pirolisi, ciò porterebbe ad una riduzione della carbon footprint totale nella produzione della mescola del 24%:

% di CB vergine tipica in mescola à 30%
% CB vergine sostituito con CBp à 100% (ipotesi)
% di CBp media in mescola à 30%
Riduzione Carbon Footprint totale nella produzione della mescola per sostituzione totale del CB vergine con CBp à 24%

3. Conclusioni

Il presente articolo fornisce una descrizione della tecnica brevettata dalla TEC, identificando i processi utilizzati per il trattamento dei PFU ed i prodotti ottenuti, e definendo i possibili riutilizzi degli stessi, con particolare focus sul Carbon Black, in un'ottica di economia circolare e sostenibilità ambientale.
I prodotti ottenuti possono essere considerati End of Waste, e come tali possono essere riutilizzati in nuovi processi, chiudendo il ciclo dei rifiuti: tutte le tipologie di Carbon Black prodotte, possono trovare impiego come filler in sostituzione del Carbon Black furnace (derivante da petrolio) nella produzione di mescole, mentre synoil e syngas trovano utilizzo come combustibili ed i metalli come materia prima per la produzione di acciaio di seconda fusione.
In prospettiva, la Società sta lavorando per la realizzazione di un impianto pilota industriale, nel quale testare e validare la tecnologia brevettata e già comprovata su scala laboratorio.
Considerando la necessità di smaltire enormi quantità di PFU in modo efficace e green (ogni anno nel mondo si generano circa 1,5 miliardi di PFU), si può affermare che esiste un'ampia disponibilità della materia in ingresso all'impianto, per cui la tecnica TEC potrà trovare largo impiego e larga applicazione nei prossimi anni.
La modularità delle principali sezioni dell'impianto può consentire un agevole dimensionamento per qualsiasi taglia d'impianto dovesse essere richiesta.
L'intero processo segue perfettamente le logiche dell'economia circolare (riciclo e riutilizzo delle risorse), sulla quale stanno ormai puntando i maggiori player mondiali del settore. A livello mondiale si registra l'aumento della sensibilità al recupero dei materiali per la riduzione della carbon footprint, come confermato dagli sforzi compiuti in tal senso dalle principali case produttrici di pneumatici, ormai "costrette" dalle recenti politiche, prevalentemente europee ma anche mondiali, a rendere più sostenibile la propria produzione.

Bibliografia

[1] A. Fazli, D. Rodrigue. Recycling waste tires into ground tire rubber (GTR)/rubber compounds: A review.
[2] L. Bockstal, T. Berchem, Q. Schmetz, A. Richel. Devulcanisation and reclaiming of tires and rubber by physical and chemical processes: A review.
[3] N.F. Medina, R. Garcia, I. Hajirasouliha, K. Pilakoutas, M. Guadagnini, S. Raffoul. Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction.
[4] L. Asaro, M. Gratton, S. Seghar, N. Aït Hocine. Recycling of rubber wastes by devulcanization.
[5] J.-W. Jang, T.-S. Yoo, J.-H. Oh, I. Iwasaki. Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea.
[6] Report di sostenibilità 2023. Ecopneus.
[7] Joao Patricio, Yvonne Andersson-Sköld, Mats Gustafsson. End-of-Life tyres applications Technologies and environmental impacts. Swedish National Road and Transport Research Institute.
[8] Tyre $LCCO_2$ Calculation Guidelines Ver. 3.0.1. The Japan Automobile Tyre Manufacturers Association, Inc. December 2021.

Utilizzo di materiali elettricamente conduttivi per potenziare la fermentazione del siero di latte

Carolina Cruz Viggi[1] carolina.cruzviggi@irsa.cnr.it, Cecilia Petitta[1,2], Matteo Tucci[1], Matteo Daghio[3], Chiara Capelli[3], Carlo Viti[3], Alessandra Adessi[3], Luca di Palma[2], Federico Aulenta[1]

[1] Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Montelibretti (Roma)

[2] Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente, Sapienza Università di Roma

[3] Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione, Ambiente e Foreste, Università di Firenze, Firenze

Riassunto

Le aziende produttrici di formaggio sono altamente energivore. Sviluppare strategie innovative per la generazione in situ di energia utilizzando combustibili alternativi potrebbe aumentare la loro competitività e promuovere pratiche di produzione più sostenibili. Il siero di latte (CW), un sottoprodotto della coagulazione del latte, rappresenta una sfida significativa a causa della sua elevata domanda chimica di ossigeno (COD), spesso superiore a 100 gCOD/L. La fermentazione al buio è un metodo promettente per trattare il CW, convertendo zuccheri come il lattosio in acidi grassi volatili (VFAs) e idrogeno (H_2). L'idrogeno prodotto potrebbe essere utilizzato per la generazione in situ di energia elettrica tramite celle a combustibile convenzionali. Inoltre, i VFAs generati potrebbero essere ulteriormente utilizzati per la produzione di sostanze chimiche o per una produzione aggiuntiva di H_2 tramite sistemi bioelettrochimici come le celle di elettrolisi microbica. Questo studio mira a valutare l'efficacia di vari materiali elettricamente conduttivi (ECMs) nel migliorare la velocità e la resa di idrogeno e VFAs durante la fermentazione al buio del siero di latte.

Summary

Cheese manufacturing companies generally depend on high-energy consumption, particularly for refrigeration. Developing innovative strategies for in-situ energy generation using alternative fuels could enhance their competitiveness and promote more sustainable production practices. Cheese whey (CW), a byproduct of the clotting of milk, presents a substantial challenge due to its high chemical oxygen demand (COD), often exceeding 100 gCOD/L. Dark fermentation is a promising method for treating CW, converting sugars like lactose into volatile fatty acids (VFAs) and hydrogen (H_2). The H_2 produced could be utilized for in-situ electrical energy generation through conventional fuel cells. Additionally, the VFAs generated could be further used for chemical production or additional H_2 production via bio-electrochemical systems such as microbial electrolysis cells. This study aimed to evaluate the effectiveness of various electrically conductive materials (ECMs) in enhancing the rate and yield of hydrogen and VFAs during the dark fermentation of cheese whey.

1. Introduzione

L'approvvigionamento energetico è una questione critica per le industrie europee, comprese le aziende produttrici di formaggio, che sono altamente energivore. La produzione di formaggio in Italia comporta la trasformazione di 13 milioni di tonnellate di latte in oltre un milione di tonnellate di formaggio all'anno, rendendola uno dei settori alimentari a maggiore impatto ambientale [1]. L'allevamento di bovini da latte e la trasformazione del latte sono tra le più grandi fonti di emissioni di carbonio, con un elevato utilizzo di energia per la pastorizzazione, il riscaldamento e la refrigerazione. La produzione di formaggio genera anche una notevole quantità di rifiuti liquidi, tra cui il siero di latte (CW), che ha un alto contenuto organico e rappresenta un pericolo ambientale se non opportunamente trattato. Il CW è un inquinante rilevante a causa del suo elevato carico nutritivo e dei suoi componenti complessi, che compromettono il suolo, i corpi idrici e i sistemi di trattamento delle acque reflue [2]. Bioprocessi come la digestione anaerobica e la fermentazione al buio (DF) possono trattare il CW producendo bioenergia. La DF è una tecnologia promettente e converte i carboidrati presenti nel CW in idrogeno e acidi grassi volatili (VFAs) [3]. Tuttavia, problematiche quali la bassa resa di idrogeno e l'instabilità del sistema ne limitano l'uso industriale [4]. L'efficienza della DF potrebbe essere migliorata potenziando la cooperazione microbica attraverso l'aggiunta di materiali elettricamente conduttivi (ECMs) che favoriscono il trasferimento diretto di elettroni interspecie (DIET), rendendo il trattamento del CW più sostenibile ed economicamente vantaggioso. A nostra conoscenza, non esistono studi in letteratura che indaghino l'uso di particelle conduttive per stimolare le interazioni microbiche sintrofiche specificamente nella fermentazione del CW. Per colmare questa lacuna, abbiamo avviato uno studio di microcosmi per valutare l'efficacia di diversi ECMs (magnetite, biochar e grafite) nel migliorare la velocità e la resa della produzione di idrogeno e VFAs durante la fermentazione al buio del CW.

2. Paper

2.1 Materiali e metodi

2.1.1 Materiali

Il siero di latte fresco e grezzo è stato prelevato da un caseificio di Firenze. Il CW è stato caratterizzato (Tabella 1) e conservato a 4 °C fino al suo utilizzo.

Parametro	Valore
pH	5.9±0.1
COD_{tot}	73±13 gCOD/L
$COD_{solubile}$	55.5±3.5 gCOD/L
Carboidrati totali	70±4,8 gCOD/L
Acido Lattico	1,2±0,1 gCOD/L

Tab. 1 – *Caratterizzazione del siero di latte grezzo.*

I materiali elettricamente conduttivi selezionati in questo studio sono la magnetite, la grafite e il biochar. Le particelle di magnetite sono state sintetizzate secondo un protocollo descritto altrove [5]. I granuli di grafite sono stati macinati e setacciati a una dimensione inferiore a 10 µm. Infine, in questo studio è stato utilizzato un biochar di legno di pino, ottenuto mediante gassificazione del legno a circa 850 °C. Il biochar ottenuto è un materiale in polvere e non

sono stati effettuati trattamenti preliminari prima del suo utilizzo negli esperimenti in microcosmi.

2.1.2 Setup sperimentale

Le prove di fermentazione sono state condotte in bottiglie da siero da 250 mL anaerobiche incubate in uno shaker termostatato, al buio, a 35 ± 2 °C e 150 rpm. Ogni bottiglia conteneva 150 mL di CW grezzo e, a seconda del trattamento, sono state aggiunte particelle conduttive di magnetite, biochar o grafite alle bottiglie, ad una concentrazione finale di 10 g/L. Non è stato aggiunto alcun inoculo. Dopo la preparazione, sono stati utilizzati tappi in butile rivestiti di teflon e tappi in alluminio per sigillare tutte le bottiglie, che sono state poi flussate con azoto per creare condizioni anaerobiche. Sono stati allestiti quattro diversi trattamenti, ovvero: i microcosmi di Controllo, contenenti il CW grezzo senza ECMs; i microcosmi con Magnetite, contenenti CW addizionato con nanoparticelle di magnetite; i microcosmi con Grafite, contenenti CW addizionato con particelle di grafite; i microcosmi con Biochar, contenenti CW addizionato con particelle di biochar. Ogni condizione è stata duplicata e sono stati riportati i valori medi dei parametri rilevanti. I test di fermentazione sono durati 6 settimane e le bottiglie sono state regolarmente campionate per pH, gas, carboidrati totali, acido lattico e acidi grassi volatili (VFAs). Il pH iniziale del CW era di circa 6 e ogni volta che nelle bottiglie il pH scendeva al di sotto di 5, veniva ripristinato al valore iniziale aggiungendo NaOH 2M.

2.2 Risultati e discussione

2.2.1 Prove di fermentazione

Le prove di fermentazione sono state condotte per valutare l'incremento della velocità e della resa nella produzione di idrogeno e VFAs durante la fermentazione al buio del CW grezzo mediante l'aggiunta di ECMs. Tutte le concentrazioni dei parametri monitorati sono espresse come g COD/L.

Controllo

Per confronto, sono stati eseguiti test di fermentazione non addizionati con ECMs con CW grezzo (microcosmi di controllo). Il pH iniziale del CW era circa 6 e, ogni volta che il pH scendeva sotto 5, veniva riportato al valore iniziale aggiungendo NaOH 2M. Nei microcosmi di controllo, è stata rilevata una rapida diminuzione del pH nei primi 10 giorni (circa 1,5-2 unità di pH ogni due giorni). Successivamente, per il resto dell'esperimento, il pH è rimasto quasi costante intorno a 6 (dati non riportati).

I carboidrati totali (70 g COD/L), che possono essere quasi interamente rappresentati dal lattosio, sono diminuiti drasticamente all'inizio della fermentazione per poi avvicinarsi gradualmente a zero entro la fine dell'esperimento. Questa diminuzione dei carboidrati è stata accompagnata da una consistente produzione di acido lattico, che ha raggiunto una concentrazione di circa 40 g COD/L (Figura 1A).

All'inizio del test è stata osservata una rapida, sebbene modesta, produzione di idrogeno. È stata osservata anche una modesta produzione di VFA totali ed etanolo, rispettivamente di 2,0 ± 0,2 g COD/L e 0,128 ± 0,003 g COD/L (Figura 2A e 2B). Il principale VFA principale prodotto è stato l'acido acetico, seguito da una produzione molto modesta di acidi propionico e butirrico (dati non riportati).

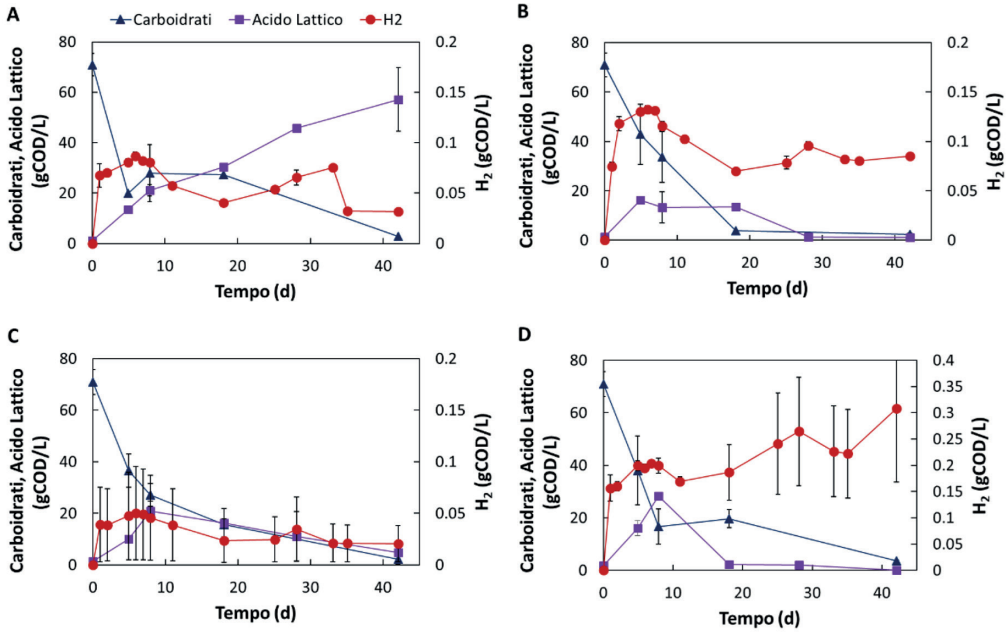


Fig. 1 – *Fermentazione di CW. Andamento temporale di carboidrati, acido lattico nei diversi trattamenti: A) Controllo; B) Magnetite; C) Grafite; D) Biochar.*

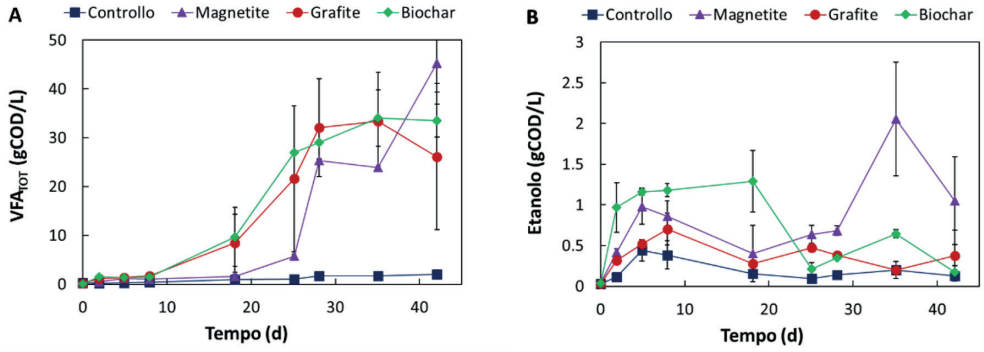


Fig. 2 – *Fermentazione di CW. Andamento temporale nei diversi trattamenti: A) VFA; B) Etanolo.*

Magnetite

Negli ultimi anni la magnetite ha attirato l'attenzione per il suo ruolo nel migliorare le interazioni sintrofiche tra microrganismi, in particolare nel contesto dei processi di digestione anaerobica e di biorisanamento. Pertanto, sembra essere una buona candidata per i nostri scopi. Nelle prove di fermentazione addizionate con magnetite, l'andamento del pH è stato simile a quello dei microcosmi di controllo. Il pH iniziale era intorno a 6 e, dopo un rapido calo nei primi 10 giorni dell'esperimento, il valore è rimasto relativamente stabile per tutta la durata del test (dati non riportati).

La Figura 1B mostra una rapida diminuzione dei carboidrati, che vengono quasi completamente rimossi entro 20 giorni. Questa riduzione è stata accompagnata da una modesta produzione di acido lattico, circa 16 g COD/L entro il quinto giorno. A differenza dell'andamento

osservato nei microcosmi di controllo, la concentrazione di acido lattico è successivamente diminuita, raggiungendo quasi lo zero alla fine della prova. La figura mostra anche una rapida produzione di H_2 fino ad una concentrazione di 0,13 g COD/L, che poi diminuisce e rimane a valori inferiori a 0,1 g COD/L per tutto l'esperimento.
La produzione di acidi grassi volatili (VFA) è iniziata dopo una fase di latenza di circa 20 giorni, raggiungendo una concentrazione di 45,3 ± 5,9 g COD/L alla fine del test (vedi Figura 2A). Questa produzione è iniziata una volta che i carboidrati sono stati completamente rimossi. I principali VFA prodotti sono stati gli acidi acetico e propionico, seguiti da una modesta produzione di acido butirrico (dati non riportati). Inoltre, la Figura 2B indica una modesta produzione di etanolo, di circa 1 g COD/L.

Grafite
La grafite, un allotropo cristallino del carbonio, è nota per stimolare la DIET. Pertanto, abbiamo ritenuto interessante testare la grafite come potenziale materiale conduttivo per migliorare la fermentazione al buio del siero di latte.
Nei test di fermentazione con aggiunta di grafite, l'andamento del pH è stato simile a quello osservato nei microcosmi di controllo e in quelli con magnetite. Il pH iniziale era intorno a 6 e, dopo un rapido calo nei primi 10 giorni di sperimentazione (corretto prontamente con NaOH 2M), il valore del pH è rimasto approssimativamente costante per tutta la durata del test (dati non riportati).
La Figura 1C mostra una rapida diminuzione iniziale dei carboidrati, da un valore iniziale di 70 g COD/L a meno di 30 g COD/L nei primi dieci giorni, con livelli che si sono avvicinati lentamente a zero nei giorni successivi. Questa rapida riduzione dei carboidrati è stata accompagnata dalla produzione di acido lattico, che ha raggiunto una concentrazione di circa 20 g COD/L entro il decimo giorno. Come osservato nei test di fermentazione in presenza di magnetite, la concentrazione di acido lattico è successivamente diminuita, avvicinandosi a zero verso la fine dell'esperimento. Inoltre, è stata osservata una bassa produzione di idrogeno, con concentrazioni comprese tra 0,02 e 0,03 g COD/L per tutta la durata dell'esperimento.
La produzione di acidi grassi volatili (VFA) è iniziata dopo una fase di latenza di circa dieci giorni, raggiungendo una concentrazione di circa 30 g COD/L alla fine del test (vedi Figura 2A). Questa produzione sembra essere correlata al consumo di acido lattico. I principali VFA prodotti sono stati gli acidi acetico e propionico, seguiti da una modesta produzione di acidi butirrico e isobutirrico (dati non riportati). Inoltre, la Figura 2B mostra una modesta produzione di etanolo.

Biochar
Molti studi suggeriscono che il biochar possa agire come conduttore o shuttle di elettroni, facilitando la DIET. Pertanto, sembra essere un buon candidato per migliorare la fermentazione al buio del siero di latte.
Per quanto riguarda il biochar, l'andamento del pH nel tempo ha rispecchiato quello osservato nei test di fermentazione precedentemente descritti, sia con che senza aggiunta di ECM. A differenza degli altri microcosmi, in quelli addizionati con biochar il valore iniziale del pH era più alto (circa 6,7) e si è stabilizzato nella fase stazionaria a pH 6,5-6,6 (dati non mostrati). Il pH più alto era probabilmente dovuto al potenziale calcinante del biochar, una caratteristica influenzata dai materiali e dalle condizioni utilizzate nella sua produzione. Il biochar è tipicamente alcalino perché contiene ceneri e carbonati di cationi basici scambiabili. Di conseguenza, l'aggiunta della maggior parte dei biochar può effettivamente aumentare i livelli di pH, agendo come agente calcinante.
Nei microcosmi addizionati con biochar, l'andamento dei livelli dei carboidrati nel tempo è

stato simile a quello osservato nei test con grafite: si è verificata una rapida diminuzione iniziale, da 70 g COD/L a meno di 30 g COD/L entro l'ottavo giorno, seguita da una riduzione più lenta fino a quasi zero entro la fine della prova. Anche in questo caso, la riduzione dei carboidrati è stata accompagnata da una rapida produzione di acido lattico, che ha raggiunto una concentrazione di circa 28 g COD/L entro l'ottavo giorno. Successivamente, la concentrazione di acido lattico è diminuita, arrivando a zero entro la fine dell'esperimento (Figura 1D). È stata osservata una rapida produzione di H_2 fino a 0,3 g COD/L al termine del test di fermentazione.
La produzione di acidi grassi volatili (VFA) è iniziata dopo una fase di latenza di otto giorni, raggiungendo una concentrazione di 33,5 ± 3,4 g COD/L alla fine del test (vedi Figura 2A). Similmente a quanto osservato nei microcosmi con grafite, questa produzione sembra essere correlata al consumo di acido lattico. I principali VFA prodotti sono stati acidi acetico e propionico, insieme a una modesta produzione di acidi butirrico e isobutirrico (dati non riportati). La Figura 2B mostra anche una modesta produzione di etanolo, che ha raggiunto una concentrazione di 1,29 ± 0,38 g COD/L entro venti giorni, seguita da una diminuzione per il resto dell'esperimento.

2.2.2 Effetto dei materiali conduttivi sulla fermentazione del CW
L'aggiunta dei materiali elettricamente conduttivi ha influenzato significativamente la fermentazione al buio del siero di latte, migliorando notevolmente la produzione di acidi grassi volatili (VFAs). Tuttavia, il miglioramento nella produzione di idrogeno è stato più limitato.
Nel controllo, la produzione di idrogeno è stata modesta, con la produzione di VFA limitata a 2,0 ± 0,2 g COD/L. I prodotti di fermentazione consistevano principalmente in acido lattico, che costituiva il 96% del totale, con piccole quantità di acido acetico.
In generale, l'aggiunta di ECM ha spostato i prodotti di fermentazione dall'acido lattico ai VFAs, prevalentemente acido propionico, seguito da acido acetico. In tutti i trattamenti modificati, il processo di fermentazione è stato chiaramente caratterizzato da due fasi consecutive di degradazione del substrato. Inizialmente, i carboidrati sono stati convertiti in acido lattico, seguiti dalla trasformazione dell'acido lattico in VFA, principalmente acido acetico e propionico. Altri prodotti metabolici, come i VFA a peso molecolare più elevato e l'etanolo, sono stati costantemente rilevati a concentrazioni basse o trascurabili rispetto a questi principali prodotti.
La magnetite è stata la particella conduttiva che ha avuto il maggiore impatto sulla produzione di VFA, raggiungendo una concentrazione di 45,3 ± 5,9 g COD/L alla fine dell'esperimento, circa 22,5 volte superiore rispetto al controllo. Nei microcosmi modificati con grafite e biochar, la produzione di VFA è stata circa 13 e 16 volte superiore rispetto al controllo, rispettivamente. L'aggiunta di biochar ha portato alla maggiore produzione di idrogeno tra gli ECM, raggiungendo una concentrazione di 0,3 g COD/L.

3. Conclusioni
In questo studio abbiamo valutato l'efficacia di diversi materiali conduttivi (magnetite, biochar e grafite) nell'aumentare la velocità e la resa della produzione di idrogeno e di acidi grassi volatili durante la fermentazione al buio del siero di latte. Tutti i materiali testati hanno dimostrato di avere un impatto significativo sulla distribuzione dei prodotti di fermentazione derivanti dal trattamento anaerobico del CW grezzo, spostando i prodotti di fermentazione dall'acido lattico ai VFA, prevalentemente acido propionico, seguito dall'acido acetico. L'effetto stimolante degli ECM è probabilmente dovuto alla promozione di processi di trasferimento diretto di elettroni tra specie (DIET) tra i partner microbici che contribuiscono alla conversione anaerobica del CW. Questo aspetto richiede ulteriori indagini.

Questo lavoro è stato cofinanziato dal Ministero Italiano dell'Università e della Ricerca nell'ambito del programma di ricerca PRIN 2022 PNRR "Valorization of cheese whey by hydrogen production in bio-electrochemical systems catalyzed with purple bacteria (WHISPER)"

Bibliography

[1] **Chinese, D., Orrù, P.F., Meneghetti, A., Cortella, G., Giordano, L., Benedetti, M.** *Symbiotic and optimized energy supply for decarbonizing cheese production: An Italian case study. ENERGY, 257, 124785 (2022).*

[2] **Yadav, J.S.S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y.** *Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. BIOTECHNOL. ADV., 33(6), 756-774 (2015).*

[3] **Akhlaghi, M., Boni, M.R., Polettini, A., Pomi, R., Rossi, A., De Gioannis, G., Muntoni, A., Spiga, D.** *Fermentative H_2 production from food waste: Parametric analysis of factor effects. BIORESOUR. TECHNOL. 276, 349-360 (2019).*

[4] **Lou, T., Yin, Y., Wang, J.** *Recent advances in effect of biochar on fermentative hydrogen production: Performance and mechanisms. INT. J. HYDROGEN ENERGY 57, 315–327 (2024).*

[5] **Kang, Y.S., Risbud, S., Rabolt, J.F., Stroeve, P**. *Synthesis and Characterization of Nanometer-Size Fe_3O_4 and γ-Fe_2O_3 Particles. CHEM. MATER. 8, 2209–2211 (1996).*

GREEN-LOOP: Sustainable Bio-based Materials and Circular Economy Solutions

Marco Scatto, marco.scatto@mixcycling.com, Mixcycling, IT;
Jens Schmidt, jens.schmidt@isc.fraunhofer.de, Fraunhofer ISC, DE;
Adam Sparkes, adam.sparkes@nccuk.com, National Composites Centre, UK;
Tom Andrews, tom.andrews2@nccuk.com, National Composites Centre, UK;
Luis Enrique Acevedo Galicia, luisenrique.acevedo@idener.ai, Idener AI, ES;
Riccardo Varotto, r.varotto@nsbproject.com, NSBproject, IT

Summary
The Green-Loop project aims to develop sustainable bio-based materials for various industries, focusing on three key value chains: bio-rubber, bioplastic, and wood composite materials.
The project employs innovative technologies, such as ultrasound and microwave, to reduce the environmental impact during the manufacturing process. Bio-rubber panels aim to utilize reclaimed rubber and lignin for improved vibro-acoustic and fire-retardant properties. The bio-plastic value chain focuses on developing biodegradable caps for olive oil and spirits bottles using polylactic acid (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHA), blended with cork powder. Lastly, the wood composite value chain works on developing sustainable materials for slide bearings, incorporating energy-efficient processes like microwave heating to reduce energy consumption. Each of these materials will undergo rigorous testing to ensure their performance in real-world application, since the ultimate goal of this Horizon Europe project is TRL6.
The ambition of Green-Loop is to enhance and support the bioeconomy through robust product design adapted to new sustainable and circular schemes, reducing the cost and environmental impact of manufacture and accelerating the market introduction of novel bio-based products to promote circular economy practices.

Riassunto
Il progetto Green-Loop si propone di sviluppare materiali sostenibili a base biologica per diversi settori industriali, focalizzandosi su tre catene del valore: biogomma, bioplastica e materiali compositi in legno. Il progetto utilizza tecnologie innovative, quali ultrasuoni e microonde, per ridurre l'impatto ambientale durante il processo di produzione. I pannelli in biogomma mirano a utilizzare gomma riciclata e lignina per offrire migliori prestazioni in termini di isolamento acustico e resistenza al fuoco. La catena di valore della bioplastica si concentra sullo sviluppo di tappi biodegradabili per bottiglie di olio e liquori utilizzando PLA e PHA, mescolati con polvere di sughero. Infine, per i materiali compositi in legno, l'obiettivo è creare materiali sostenibili per cuscinetti a strisciamento, impiegando processi energeticamente efficienti come il riscaldamento a microonde per ridurre al minimo l'impatto ambientale.
Tutti i prodotti saranno validati attraverso test di laboratorio e quindi dimostrati in un ambiente industrialmente rilevante poiché l'obiettivo finale dell'innovazione di questo progetto Horizon Europe è TRL6, garantendo che soddisfino gli standard industriali.

L'ambizione di Green-Loop è di migliorare e sostenere la bioeconomia attraverso una solida progettazione di prodotti adattati a nuovi schemi sostenibili e circolari, riducendo i costi e l'impatto ambientale della produzione e accelerando l'introduzione sul mercato di nuovi prodotti a base biologica per promuovere pratiche di economia circolare.

1. Introduction

The Green-Loop project is focused on advancing sustainable manufacturing techniques for bio-based materials, aiming to design and optimize three innovative bio-based materials and components for various industrial sectors: multifunctional rubber panels to reduce vibro-acoustic transmission and enhance fire-retardant properties for the Building & Construction industry; bioplastic bottle closures for the Food & Beverage industry; and wooden composite bearings for the Appliance & Tool Industry.
All products will be validated through laboratory testing and then demonstrated in an industrially relevant environment as the end goal of innovation of this Horizon Europe project is TRL6, ensuring they meet industry standards. The project will employ novel manufacturing techniques, including ultrasound for devulcanization and microwave heating for material processing, with the aim of reducing the environmental footprint while maintaining high product quality.
Detailed life cycle assessments (LCA) are being conducted throughout the project to guide material development and quantify the environmental impact of the value chains as they scale up. Additionally, partners involved in quality control and circularity monitoring will ensure that environmentally friendly practices are maintained throughout the materials' lifecycle.

2. Paper

2.1 Bio-rubber value chain

Multi-functional rubber panels utilised within the construction industry are typically not fully derived from bio sources or recycled material. Green-Loop is developing panels from recycled and bio-derived sources to reduce the environmental impact the products. The panels aim to reduce vibro-acoustic transmission and improve fire-retardant properties compared with conventional materials whilst still providing an environmental benefit. The main constituent materials are rubber, reclaimed from waste tyres, and lignin powder extracted from waste biomass.
The Green-Loop formulation uses a matrix of devulcanized rubber and combines this with lignin and other bio-derived fillers, in which a multifunctional panel will be demonstrated at TRL 6 by project completion. Characterisation of the fire resistance and the seismic response will be demonstrated under relevant industrial conditions to verify the panels properties. Sustainable manufacturing practices will be undertaken, such as energy monitoring to inform a comprehensive life cycle analysis of the material.
End-of-life tyres (ELT) waste flow constitutes more than 2% of the total amount of solid waste globally every year [1]. The waste contributes to air, water and soil pollution, and so routes to repurpose this waste back into the economy are important to move towards a more circular economy.
For the thermoset rubbers present in ELT to be reclaimed and reprocessed, they must go through a devulcanization process. This aims to break the crosslinking bonds that bind the polymer chains together without breaking the backbone of the polymer chains themselves. This material is commercially available [2] [3] [4] and has been demonstrated both in the literature and commercially however it is usually then reincorporated as a filler within a new component rather than as the matrix material itself.

Lab scale research has been conducted to embed ultrasound technology and use sustainable chemical solvents within the devulcanisation process to lessen the environmental impact. Initial results have shown a devulcanisation percentage of 72%, demonstrating significant progress in optimizing the process with sustainable methods. These promising results highlight the potential of Green-Loop's innovative approach, setting a strong foundation for further scaling and refinement. Further work will be undertaken to scale up this process.
Lignin is a readily available biopolymer that is a renewable source for aromatic chemical compounds with a potential for significant valorisation as a replacement for fossil-fuel based aromatic compounds. It is the main side product of the pulp and paper industry with an annual production of 100 million tonnes [5]. Its high thermal stability and char formation when exposed to fire mean it has potential to be used as a more sustainable additive for improved fire retardancy. This work will assess the efficacy of lignin to improve fire retardancy when it is compounded into the recycled rubber panels. This will be compared against incorporating lignin into novel bio-based fire-retardant coatings.

2.2 Bio-plastic value chain
The Green-Loop project also focuses on developing eco-friendly packaging materials to reduce reliance on conventional plastics and aluminium. Central to this initiative are biodegradable, bio-based materials specifically designed for bottle closures, made from natural fibres and biodegradable thermoplastic carriers. These closures, used for spirits and olive oil bottles, incorporate biopolymer blends of polylactic acid (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHA), sourced from renewable resources like corn and microorganisms. The natural fibres, compounded with biopolymers, are derived from vegetable waste such as cork, a renewable resource harvested from cork oak trees, which can live for over 200 years.
Cork, widely used in various industries, generates waste during its production, including cork powder. In the Green-Loop project, this cork powder is used as a bio-filler, developed by Mixcycling and employed by Guala Closures LaBrenta to manufacture caps for olive oil and limoncello bottles. The combination of biopolymers, primarily PLA and PHA, with cork powder enhances material performance while reducing industrial waste from cork production.
The bioplastic materials undergo injection moulding trials to assess their suitability for bottle closures. These trials provide valuable insights, highlighting areas such as material rigidity and flow that will benefit from further adjustments in composition, paving the way for enhanced product performance. Prototypes are developed for two closure types: an olive oil bottle closure that combines an aluminium cap with a polyethylene dispenser, and a T-shaped closure for limoncello bottles made from synthetic material and wood.
The manufacturing process includes analysing the fit between the bottle necks and closures to ensure proper sealing and prevent leaks. Advanced tools, such as the Perfilab system, measure the internal diameter of the bottle necks and detect deformations that could compromise the seal. While the trials show potential, they also underscore the need for refinements in material formulation and the moulding process to achieve consistent performance across different bottle designs.
The PLA and PHA blend ensure the closures are biodegradable, supporting the European Union's circular economy goals and complying with the Single-Use Plastics Directive. These closures provide a sustainable alternative to traditional plastics and aluminium without sacrificing functionality. For olive oil bottles, bioplastic is combined with aluminium to prevent oxidation and preserve freshness. A T-shaped closure for limoncello bottles, made from bioplastic and wood, is designed for both functionality and aesthetic appeal, offering an environmentally friendly solution.

Validation trials have shown that these bio-plastic materials possess promising mechanical properties and are suitable for injection moulding, though challenges remain, such as ensuring compatibility with existing bottle necks and optimizing processing conditions. Further testing on biodegradability and compostability is underway to ensure compliance with stringent environmental standards. [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13]

2.3 Wood composite value chain

The goal of the wood composite (WC) development is the cost effective and sustainable production of bio-based materials that can be used for slide bearings in a sustainable process with a substantially lower environmental footprint.

The manufacturing of WC samples has been performed by Fraunhofer (FHF) in collaboration with the National Composites Centre (NCC) and the University of Bristol (UBRIS). A multistep process was developed including pre-mixing of raw materials, extrusion and final press moulding of plates. At first, all extrusion trials were accomplished with electrical heating system. To increase energy efficiency during the production of the WC base stock, a microwave device was developed at IDENER (IDE) and implemented in the process chain at FHF. The microwave (MW) heating could be successfully implemented into the extruder system and first extrusion trials at FHF showed the viability of the new assembly to produce pellets. Moreover, power meters derived from IRIS were installed and connected to measure the energy consumption. This data will be further transferred to the ICT platform to calculate the reduction of energy consumption when using the MW heating system.

Many compounds using different biopolymers as binders and fillers such as wood fibres or graphite were investigated. The extrusion process was performed and optimized by FHF to get high quality pellets. These pellets were further processed into plates by press-moulding. Samples for tribological testing and mechanical characterization were derived by accurate machining of plates. Mechanical testing and microstructural characterisation of WC showed that the samples have sufficient strength and exhibit homogeneous structure to be used for slide bearings. The process line to produce WC by extrusion and press moulding is viable and TRL5 was achieved. The focus in the ongoing Green-Loop project will be on circularity as well as the environmental impact of the enhanced WC manufacturing.

Lab scale tribological testing of WC bearing materials and components was performed by FHF. This included basic materials tests like pin-to-disc tests to determine friction coefficients and wear characteristics. These tests enabled a broad screening of the WC and the most promising candidates were identified. More than 35 different samples derived from three different material batches were investigated. It was found out that some of the newly developed wood composites exhibit low wear and friction coefficients in unlubricated tests and are comparable to benchmark materials based on polyamide (PA4.6). Further tests with selected material types showed that oil lubrication may slightly improve tribological performance. In further tests with stepwise increased loads and velocities, first results on tribological load capacities were obtained. Based on these results, two promising material types were identified to produce wood composite bearings that will be tested in lab-scale test rigs and in application related tests in real production environments. For component tests, a basic bearing geometry based on standard cylinder shape will be used. These tests will be performed to obtain information about general tribological behaviour und application-like conditions and thus evaluate the possibilities and limitations of WC for slide bearings, in general. If the performance is demonstrated the products will be subsequently tested in an industrially relevant setting at Guala Closures LaBrenta facilities. The slide bearings will be substituted in one of the conveyor roller systems to test their performance during the production of bottle closures to achieve TRL 6. [14]

3. Conclusions

The Green-Loop project is demonstrating that sustainable bio-based materials can significantly contribute to the circular economy across various industries: the bio-rubber panels are showing promise in vibro-acoustic and fire-retardant performance while utilizing waste materials such as rubber and lignin; bioplastic bottle closures, made from renewable resources such as cork and biopolymers, present a viable alternative to conventional plastics; the implementation of microwave heating in the wood composite production process has shown promising results in terms of energy efficiency. This development aligns with the goal of sustainable and cost-effective production of bio-based materials.

As the project progresses, ongoing testing and refinement will enhance the scalability of these innovations, further solidifying Green-Loop's role in advancing the circular economy and reducing dependence on non-renewable resources.

Bibliography

[1] **S. Dabic-Miletic, V. Simic and S. Karagoz**, "End-of-life tire management: a critical review," Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, pp. 68053-58070, 202

[2] **Tyromer**, [Online]. Available: https://tyromer.com/. [Accessed 17.06.2024].

[3] **J Allcok & Sons**, [Online]. Available: http://www.allcocks.co.uk/en/. [Accessed 17.06.2024].

[4] Rubber Conversion, [Online]. Available: https://www.rubberconversion.com/. [Accessed 17.06.2024].

[5] **Z. Sun, B. Fridrich, A. d. Santi, S. Elangovan and K. Barta**, "Bright Side of Lignin Depolymerization: Toward New Platform Chemicals," Chemical Reviews, vol. 188, pp. 614-678, 2018.

[6] GREEN-LOOP D4.4 – Bioplastic validation trials and key findings, 30.08.2024

[7] **S. Coiai; M. Scatto; M. Bertoldo; L. Conzatti; L. Andreotti; M. Sterner; E. Passaglia; G. Costa; F. Ciardelli**; (2009), e-Polymers, no. 050; "Study of the compounding process parameters for morphology control of LDPE/layered silicate nanocomposites"

[8] **S. Bronco; A. Pucci; G. Ruggeri; F. Ciardelli; F. Signori; M. Bertoldo; M. Scatto; L. Andreotti; M. Sterner**; "Materiali per l'imballaggio alimentare in chiave molecolare", Journal of Food Science and Nutrition, numero 2, aprile-giugno 2008, anno 37.

[9] **F. Felline, C. Rosato, M. Scatto, A. Tinti, P. Scopece and M. Nacucchi**, "Active Polymer Nanocomposites: Application in Thermoplastic Polymers and in Polymer Foams" in IEEE Transactions on Nanotechnology, vol. 15, no. 6, pp. 896-903, Nov. 2016

[10] **M. Scatto, M.Sisani**, (2016), "Active polymer nanocomposites: Application in thermoplastic polymers", AIP Conference Proceedings 1779, 040014 doi: http://dx.doi.org/10.1063/1.4965505

[11] **M. Scatto, M. Castellano et al.**, "Chemical modification of hemp fibres by plasma treatment for eco-composites based on biodegradable polyester", J Mater Sci 54, 14367–14377 (2019)

[12] **R. Shina, L. Moroni, M. Scatto et al.** (2021), Applied Polymer Materials, "Additive Manufactured scaffolds for bone tissue engineering: phisycal characterization of thermoplastic composites with functional fillers", https://doi.org/10.1101/2021.03.23.436548

[13] **F. Scocozza, M.Conti, M. Scatto et al.** (2021), Journal of Polymer Research, Shape fidelity and sterility assessment of 3D printed polycaprolactone and hydroxyapatite scaffolds, 28, 327

[14] GREEN-LOOP D5.6: Fraunhofer ISC, IDENER, National Composites Centre, Deliverable D5.6 "Wood composite properties from tribological evaluation", 31.08.2024 https://www.greenloop-project.eu/deliverables/

Processing Low Quality Recyclate Into High-Value Blown Film With Twin-Screw Extrusion Technology

Christoph Lettowsky, Technical Sales Expert, Reifenhäuser Blown Film

Summary

The article discusses the use of twin-screw extrusion technology to process low-quality recyclates into high-value blown films. The variability in quality of recyclate (especially PCR material) poses a significant challenge in plastics recycling, with twin-screw extrusion offering a solution by improving material mixing, degassing, and contamination handling. This technology allows manufacturers to use more recyclates, even from heavily contaminated sources, thereby reducing reliance on high-quality recyclates.

As global demand for recyclates rises, driven by regulations like the EU's Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR), twin-screw extrusion helps meet these demands by enabling the production of various films with significant recycled content. The article also highlights the role of twin-screw extrusion in recycling post-industrial waste, turning production residues into valuable raw materials without expensive preprocessing steps.

Ultimately, twin-screw technology opens new avenues for using lower-quality recyclates, enhancing both economic and environmental sustainability in the plastic film industry.

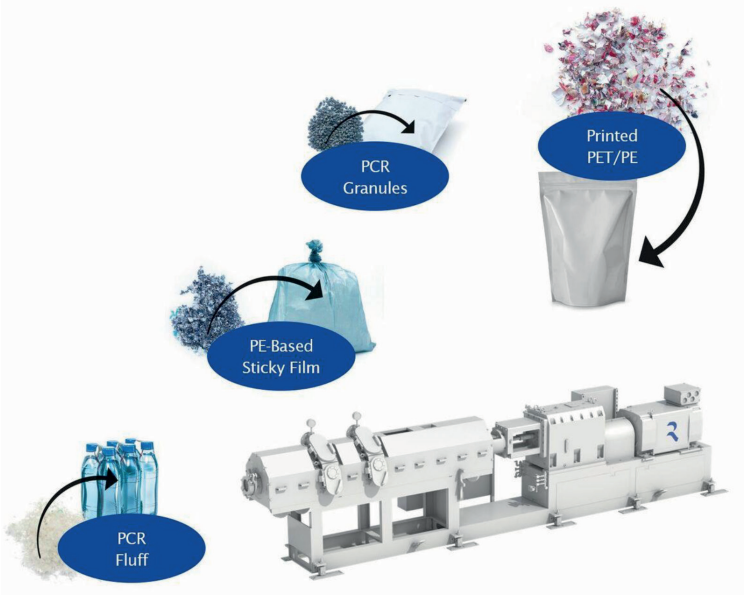


Fig. 1 – *Twin-screw extruder with film applications*

1. Supreme Discipline: Post-Consumer Recyclate

The processing of post-consumer recyclate (PCR) is considered the most challenging discipline in plastics recycling. With PCR, you never know for sure: the first batch can be good, but the second can be significantly worse. This is because PCR is made up of plastics from different material classes and often contains impurities and foreign substances that make processing more difficult. This leads to a quality that is significantly lower than that of virgin material and also fluctuates greatly.

However, fluctuations in the raw material are a considerable challenge for film manufacturers in their process. Even medium-quality PCR can affect the stability of production or the quality of the film if manufacturers process it on blown film lines with a standard single-screw extruder. Optical defects (specks) can form and, in the worst case, the bubble can break because too many holes are created. As a consequence, certain raw material deliveries may then be unusable or only a small proportion may be added. It may also be necessary to use expensive additives.

2. Demand for Recyclates Is Increasing

For many manufacturers, their productivity and profitability currently depend on the availability of high-quality recycled materials. However, the price for this fluctuates greatly – and is sometimes even higher than that of virgin material. This poses a problem for manufacturers who have to fulfil certain recyclate quotas due to specifications from brand owners, politicians or self-imposed sustainability targets.

One of the biggest future driving factors will be the Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR). The European Union has agreed that from 2030 – depending on the packaging and the material used – prescribed minimum targets for the proportion of recycled content in plastic packaging will apply. This is likely to increase the demand for (high-quality) recyclates.

3. Becoming More Independent of Recyclate Quality

Twin-screw extrusion technology makes manufacturers less dependent on recyclate quality. The twin-screw technology mixes the raw material better than a single-screw extruder (*Figure 1*). The system is effectively degassed, removing any components that could disrupt the process. Manufacturers can even process heavily contaminated and inhomogeneous recyclates, of which they were previously only able to add a small proportion to the virgin material or which were unusable. The proportion of recyclate in production can also be significantly increased.

Processors around the world are already using twin-screw extrusion technology for various applications. The extrusion specialist Reifenhäuser Group has explored the possibilities of the technology together with film manufacturers, converters and recycling partners. These even included trials with PCR recyclates that had already been sorted out by processors as 'unusable waste.

4. PCR Application Examples

4.1 Recycling of Low-Quality PCR Into Trash Bags:

Post-consumer recyclate from household collection is the lowest quality currently available on the market. This raw material is characterised by a very inhomogeneous material composition and a large amount of foreign matter and contamination. In tests carried out together with the Dual System in Germany (household collection and disposal of used packaging), Reifenhäuser was nevertheless able to produce a film with a recyclate content of 70 percent (*Figure 2*) from this inferior raw material using twin-screw extrusion technology – something that would

not be possible with a single-screw extruder. In the practical test, the film could be processed into trash bags using conventional methods.



Fig. 2 – *PCR Trash Bag Film*

4.2 Recycling of Low-Quality PCR Into Mailing Bags

Film for mailing bags, such as those used for e-commerce returns, could also be produced from post-consumer recyclate from household collections. Due to a different film structure to the film for trash bags, the proportion of recycled material in the overall film was 65 percent (*Figure 3*).



Fig. 3 – *PCR Mailing Bag Film*

4.3 Shrink Film Made From Medium-Quality PCR Recyclate

Until now, shrink film for transport packaging has had to fulfil higher visual requirements. It is intended to hold PET bottles together, for example, and is usually transparent and sometimes printed with brand logos. With the help of twin-screw extrusion technology, these pack-

aging properties could be produced from medium-quality PCR recyclate with a recycling content of 70 percent.

5. Enabler for Post-Consumer Recyclate

Depending on the desired film quality, twin-screw extrusion technology can be used to process lower-quality recyclates – but even this technology cannot turn poor-quality PCR into film of the highest quality. But it doesn't need to. The application for which the film is needed is always important: For example, transport packaging doesn't actually have to meet the highest standards of transparency and gloss. Manufacturers can therefore process different recyclate qualities for different products.

This means that manufacturers can weigh up whether to buy high-quality recyclate for their products, which is more expensive, or whether they can achieve the desired properties with recycled material of a lower quality – and at a significantly lower cost. This in turn means that the investment in twin-screw extrusion technology is amortized more quickly when prices for higher-quality recyclates rise.

6. Opening up New Applications With Post-Industrial Recyclate

For many film manufacturers, it has long been routine to refeed edge trim cut-offs and start-up rolls into the production process. However, the more complex the film, the more difficult post-industrial recycling becomes. It becomes particularly challenging if the films consist of several material classes, are laminated or printed or if the plastics used are not compatible with each other, as is the case with laminates made of PET and PE or multilayer films made of polyethylene and polyamide. A high share of impurities due to additives, printing inks and adhesives also makes recycling considerably more difficult. If production residues have different properties to the original raw materials, they can significantly disrupt the manufacturing process or impair quality.

7. Post-Industrial Recyclate as a Valuable Raw Material

However, production waste is a valuable raw material: As a rule, raw materials account for up to 80 percent of material costs. Twin-screw extrusion technology allows producers to feed edge trim offcuts, start-up waste and leftovers from further processing back into their production without high processing costs. Here too, this is made possible by the excellent mixing effect and efficient degassing. The technology also makes it possible to produce new film from film waste in a single step – without any pelletizing or pre-drying. This "fluff-to-film" process eliminates a very energy-intensive process step.

8. PIR Application Examples:

8.1 Recycling Adhesive-Coated Film Into Trash Bags

Foreign substances, such as those required for the adhesive effect of adhesive-coated film, make recycling difficult. However, with the help of the fluff-to-film process and twin-screw extrusion technology, production waste from adhesive-coated film can be recycled easily. The result is a film that consists completely of recyclate and can be processed into trash bags, for example (*Figure 4*).



Fig. 4 – *Recycling Protection Film Fluff to Trash Bag Film*

8.2 Recycling Barrier Film Into Construction Film

The different layers of barrier films, which are coextruded from raw materials of different material classes and an additive for the barrier effect, cannot be separated from each other during recycling, which prevents recycling. Twin-screw extrusion technology can be used to produce construction film with a recycled content of 70 percent from the residues of these films (*Figure 5*).

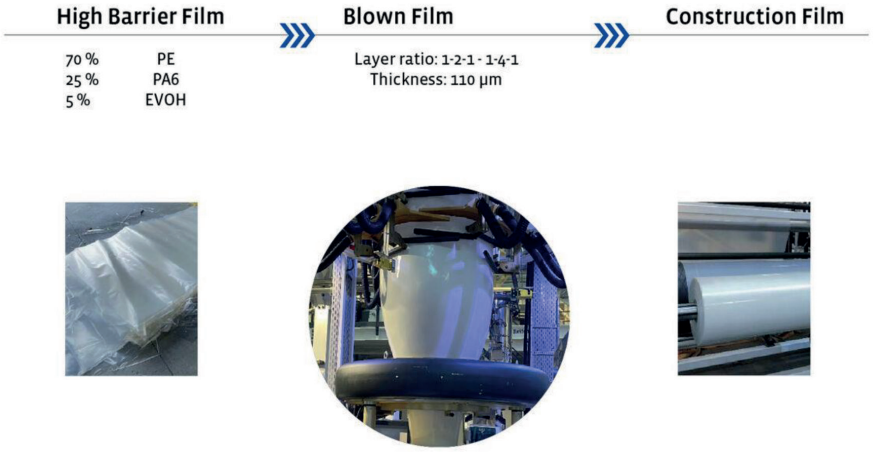


Fig. 5 – *Recycling High Barrier Film to Construction Film*

8.3 Recycling Duplex Laminates Into Laminating Film for Stand-up Pouches

Production waste from duplex laminates consists of raw materials from different material classes, for example PET and PE, often supplemented by foreign materials such as printing inks and adhesives. Thanks to twin-screw extrusion technology, these film scraps can be processed into laminating film for stand-up pouches with a recycled content of up to 60 percent (*Figure 6*).

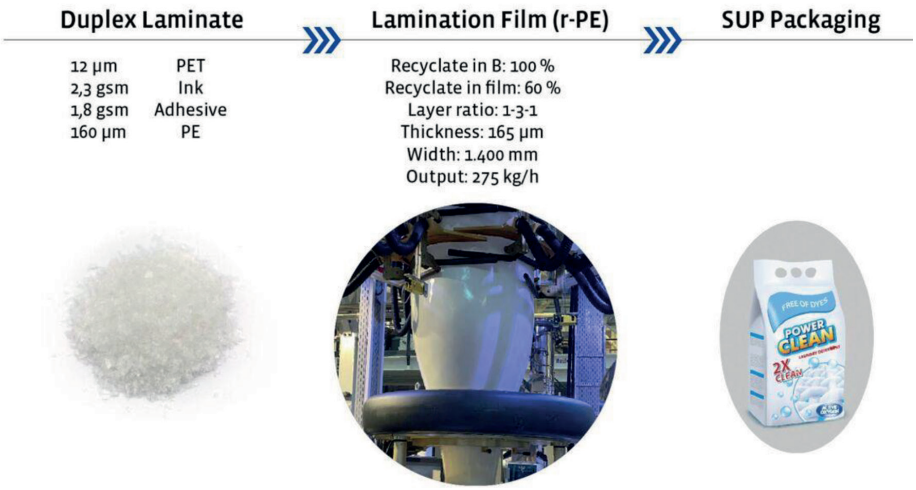


Fig. 6 – *Recycling Duplex Laminate to SUP Packaging*

8.4 Recycling Triplex Laminates Into Packaging Film

Triplex laminates have an additional raw material component. With twin-screw extrusion technology, such raw material shreds can still be processed into a film with a 52% recycled content (*Figure 7*).

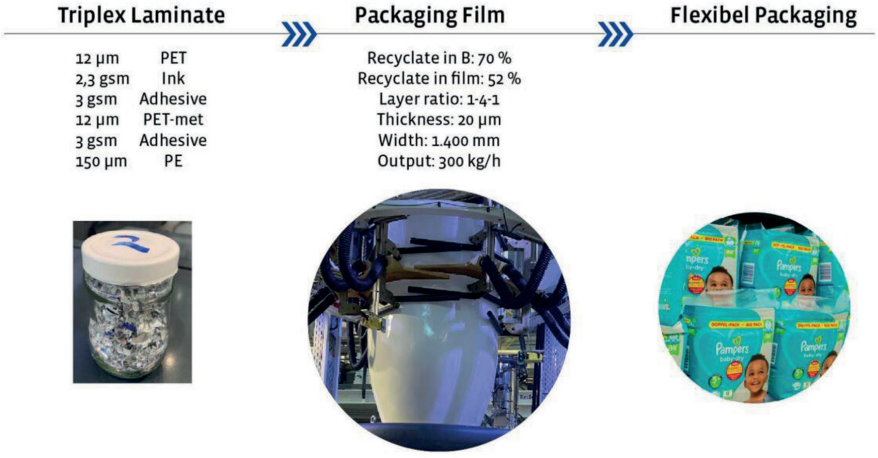


Fig. 7 – *Recycling Triplex Laminate to Flexible Packaging*

9. About the Reifenhäuser Group

The Reifenhäuser Group together with its highly specialized business units is the leading provider of innovative technologies and components for plastics extrusion. Founded in 1911, the company is a global supplier of high-tech solutions. With its technologies and the know-how of its 1,750 employees, Reifenhäuser has the world's largest network of expertise in plastics extrusion technologies. The CEO of the Group is Bernd Reifenhäuser.

Nuova inedita tecnologia di produzione di pannelli VIP da riciclo di schiume con capacità isolanti molto superiori alle schiume di provenienza

Dott. Ing. Maurizio Corti, mcorti@cannon.com
Direttore Tecnologia e R&D Cannon Corporate, Caronno Pertusella (VA)

Riassunto
Il team di R&D di Cannon Afros ha studiato e sviluppato, nel corso del Progetto LIFE 20 VICORPAN dedicato allo sviluppo di pannelli VIP riciclabili, un nuovo tipo di pannelli VIP, basati solo su polveri di schiuma rigida di scarto o a fine vita con capacità di isolamento da 2 a 5 volte migliore delle schiume di provenienza, dimostrando che le schiume termoindurenti, così complicate da riciclare e riutilizzare, possono avere una nuova vita in modo semplice ed economico

Summary
The R&D team at Cannon Afros Lab has studied and developed, during the LIFE 20 VICORPAN Project, dedicated to the development of recyclable VIP panels, a new type of VIPs, based only on waste or end-of-life rigid foam chips with an insulating capacity 2 to 5 times better than the foams of origin, demonstrating that thermosetting foams, so difficult to recycle and reuse, can have a new life in a simple and economical way.

1. Introduzione

L'isolamento termico è, da lungo tempo, ottenuto mediante strati di materiali con rapporto massa/volume specifico molto basso e con elevata porosità, ovvero con un elevatissimo contenuto di piccoli spazi contenenti aria interposti tra i costituenti solidi molto finemente intrecciati.
In questo tipo di configurazione, la trasmissione del calore per conduzione, ovvero per contatto tra un costituente solido e il contiguo, è fortemente ridotta grazie alla configurazione delle zone di contatto che formano ponti termici molto sottili, con superfici di contatto tra un costituente e l'adiacente estremamente limitate e frammentate.
Negli isolanti termici tradizionali, la trasmissione principale di calore, che raggiunge in percentuale dal 65% fino all'85% del totale, avviene per convezione e deriva dalla presenza di aria negli interstizi dei materiali porosi entro i quali il calore viene trasmesso dalla agitazione termica delle molecole di gas atmosferici.
Le attuali norme per gli edifici e per il ciclo del freddo: frigoriferi, celle refrigerate, ecc., richiedono capacità di isolamento termico sempre maggiori con lo scopo di ridurne il consumo energetico fino ad arrivare a garantire la neutralità energetica tra energia consumata ed energia prodotta da fonti rinnovabili.

Per ridurre drasticamente la trasmissione di calore nei tradizionali materiali porosi e/o finemente reticolati, si procede a configurarli in forma di lastre posti sotto vuoto, i cosiddetti pannelli VIP (Vacuum Insulated Panels). I pannelli VIP sono costituiti da una parte interna, il "core" formato da particelle fini, aggregate o compattate in modo da resistere alla pressione atmosferica. Il core viene poi messo sotto vuoto per rimuovere i gas responsabili della convezione e chiuso, mediante sigillatura a tenuta, entro involucri o buste sigillate composte da un film laminato formato da strati alternati di plastica e metallo (di solito alluminio).
Asportando gran parte dei gas dalle porosità, la trasmissione di calore per agitazione delle molecole di gas viene ridotta al minimo, ottenendo un involucro con un interno molto più isolante termicamente del medesimo materiale quando esso è a contatto della pressione atmosferica.
I pannelli VIP attualmente in commercio sono essenzialmente di due tipi:
• core formato da fibre di vetro molto sottili compattate,
• core formato da grani sub-micrometrici di silica fumeè (silice porosa espansa).
Le fibre di vetro più in uso devono avere un diametro superiore a 5 micron per non essere classificate come cancerogene, ma sono in atto diversi studi sulla loro pericolosità anche per dimensioni superiori.
Normalmente VIP con core in fibra di vetro presentano un coefficiente di isolamento termico λ di circa 4 mw/m°K, se le fibre vengono allineate secondo direzioni comuni, arricciate oppure estruse con una sezione non cilindrica i pannelli così composti possono raggiungere coefficienti di 2 mw/m°K
Data la pericolosità della loro dispersione nell'ambiante questi VIP in fibra di vetro oggi sono prodotti quasi esclusivamente in CINA.
I VIP basati su silica fumèe invece sono costituiti da flocculi di forma pressoché sferica basati su silicio espanso che viene reso molto poroso dalla tecnologia di fabbricazione. La porosità di detto silicio risulta talmente fine da garantire un buon isolamento anche quando gas e vapore penetrano nel pannello dopo diversi anni. La costituzione degli agglomerati di silica tuttavia risulta molto friabile, per cui, per garantire prestazioni meccaniche al core, essa viene mantenuta aggregata da un reticolo formato da una importante percentuale di fibre di vetro che garantisce stabilità all'effetto di compressione della pressione atmosferica.
I VIP in silica fumèe raggiungono un coefficiente di trasmissione termica λ di 4-6 mw/m°K
Questi pannelli VIP, in fibra di vero o in silica fumèe, sebbene già assai diffusi, presentano tuttavia anche criticità e problemi per il loro utilizzo:
Se il film sigillato viene perforato durante la movimentazione e durante l'utilizzo essi perdono immediatamente la capacità isolante.
Se il film viene danneggiato fino a far uscire anche in piccola parte il contenuto, esso può inquinare l'ambiente con le particelle che formano il core e in particolare con fibre di vetro appuntite e molto sottili che possono depositarsi e stratificarsi nei polmoni oppure nei filtri di macchinari e di condizionatori e quindi costituire un inquinante permanente a cui pericolosità per l'apparato respiratorio è in fase di accertamento.
La densità degli attuali cores è elevata (attorno a 200 – 300 Kg/mc) per cui i pannelli formati con questi cores risultano assai più pesanti di delle schiume normalmente utilizzate per l'isolamento di frigoriferi ed edifici.
Il riciclo e riutilizzo di questi pannelli e dei loro cores è molto difficile e complesso perché, a fine vita, i loro involucri vendono rotti o macinati con un inevitabile rilascio nell'ambiente di fibre e polveri
Il contenuto energetico, in termini di CO2 equivalente, dei pannelli VIP con core in fibra di vetro o in silica fumèe è molto elevato ed è necessaria una grande quantità di energia per produrre il vetro o la silica fumeè con cui formare i cores:

2. Tecnologie sviluppate da Cannon per il progetto LIFE 20 CCM /IT/ VICORPAN

Per superare queste criticità Cannon, in partnership con BASF e EPTA, ha sviluppato e messo a punto pannelli VIP molto leggeri e facilmente riciclabili con core in schiuma di poliuretano a celle aperte. Detti pannelli hanno dimostrato di essere leggeri resistenti, sagomabili e di garantire, anche nel tempo, un coefficiente di isolamento termico $\lambda = 6 - 7$ mw/m°K. Una capacità isolante molto interessante che è da paragonare ad un coefficiente $\lambda \geq 18$ -19 mw/m°K della miglior schiuma di poliuretano. Questi pannelli risultano molto leggeri e perfettamente riciclabili se paragonati ai VIP in fibra di vetro o silica, possono inoltre essere sagomanti alla bisogna. Sono stati studiati, sagomati e caratterizzati per la loro applicazione ai frigoriferi commerciali prodotti da EPTA con cores in schiuma formulata da BASF. Sono ora in fase di applicazione su frigoriferi e congelatori da supermercato EPTA e hanno dimostrato di poter essere impiegati facilmente migliorando in modo importante l'efficienza dei congelatori. La schiuma BASF si è dimostrata valida a sostenere la pressione atmosferica e molto più adatta dei cores tradizionali in fibra di vetro o silica fumèe alle lavorazioni di sagomatura e al loro inserimento nelle pareti dei frigoriferi. Prove di cippatura che simulano le operazioni di triturамento fine vita dei frigoriferi hanno inoltre dimostrato che sono perfettamente riciclabili senza interferire con le attuali tecnologie di trattamento a fine vita che permettono oggi il recupero di tutti i componenti plastica metallo e schiuma in forma di granulati.

2.1 Nuova dirompente tecnologia per VIP da riciclo e riuso dimostrata e brevettata da CANNON AFROS a bassissimo impatto ambientale

Recentemente i tecnici del Laboratori R&D di Cannon Afros hanno trovato il modo di aggiungere un ulteriore sviluppo al progetto LIFE20 VICORPAN che offre risultati tecnologici di grande interesse per il riciclo e riuso delle schiume poliuretaniche.

La tecnologia studiata è in fase di patent pending. e permette di realizzare pannelli VIP basati su cores formati da schiume riciclate, principalmente schiume poliuretaniche rigide a bassa densità.

Gli scarti di schiuma, anche schiume poco efficienti come isolamento, ricomposti in pannelli sotto vuoto, raggiungono coefficienti di trasmissione termica che sono di gran lunga migliori di quelli della schiuma da isolamento da cui vengono ricavati.

In base alle caratteristiche del materiale di origine, a quelle del materiale macinato e alle modalità di lavorazione e aggregazione, la metodologia sviluppata da Cannon Afros permette di realizzare pannelli VIP piani, o con altre configurazioni della propria sagoma, che hanno proprietà di isolamento che sono al minimo il doppio di quelle del materiale di origine dei cores e che possono raggiungere valori fino a 5 volte migliori. Nella configurazione perfezionata il coefficiente di isolamento lambda è di 6-7 mw/m°K

2.2 Metodologia per realizzare cores di VIP basati su particelle o polveri di schiuma rigida o semirigida con condizioni di isolamento termico ottimali

La metodologia sviluppata permette di realizzare manufatti in forma di pannelli VIP piani o sagomati.

La parte mantenuta sotto vuoto di detti manufatti, è composta da polveri ricavate per taglio e macinazione di schiume rigide o semirigide di poliuretano o di fenolica.

Le polveri devono essere però prodotte e selezionate in ragione di una dimensione massima, che dipende dalla configurazione delle celle della schiuma da cui provengono, per garantire le ottimali prestazioni di isolamento termico e possono essere aggregate mediante aggreganti opportunamente dispersi nelle polveri oppure utilizzando anche un consueto aggregante fisico come fibre di vetro oppure fibre di cotone.

Una volta disperso l'aggregante. La forma del core viene realizzata per pressatura in stampo.

Si conferisce, mediante pressatura, la sagoma e la resistenza necessaria al core prima del suo l'inserimento entro l'involucro di sigillatura. La resistenza meccanica deve garantire di non deformarsi durante l'applicazione della pressione atmosferica una volta sigillato sotto vuoto.
Deve anche garantire che possa essere piegato o formato per esempio in forma cilindrica secondo le necessità applicative.
Per la sigillatura, il core e le parti componenti l'involucro non ancora sigillato, vengono opportunamente posizionati reciprocamente su una attrezzatura di mascheraggio atta a garantirne il posizionamento del core e delle due facce formanti l'involucro e poi vengono immessi in una camera a vuoto che viene chiusa e da cui viene estratta l'aria e i gas provenienti dai cores mediante una pompa del vuoto.
Nella camera, il vuoto viene mantenuto per il tempo necessario alla evacuazione della quantità di gas necessario per ottenere il valore di Lambda che valorizza il manufatto poi, entro la camera a vuoto, i lembi dell'involucro ancora aperti, vengono saldati mediante serraggio di lame riscaldate a temperatura controllata.

2.3 Struttura del materiale di origine delle polveri in forma schiuma

Le schiume rigide o semirigide sono schiume che non operano un recupero della forma se deformate in modo ampio o significativo.
Dette schiume, possono essere a celle chiuse, vale a dire che la singola cella è separata dalle adiacenti da membrane che ne sigillano il contenuto. In particolare (Fig 1) le singole celle costituenti la schiuma sono caratterizzate da strutture di forma poliedrica separate da membrane piane delimitate da bordi (detti struts) poligonali più spessi delle membrane.
Le schiume semirigide sono invece caratterizzate da celle aperte, vale a dire che le membrane non sono chiuse ma solo parzialmente formate o forate e sono caratterizzate dalle strutture sui bordi poligonali più spesse e rigide e i nodi sono raccordati ai bordi (struts) con raggi ampi (Fig 2). Le membrane risultano essere ancora presenti tra gli struts ma caratterizzate dalla parte centrale forata derivante dalla lacerazione di dette membrane durante l'espansione della schiuma.

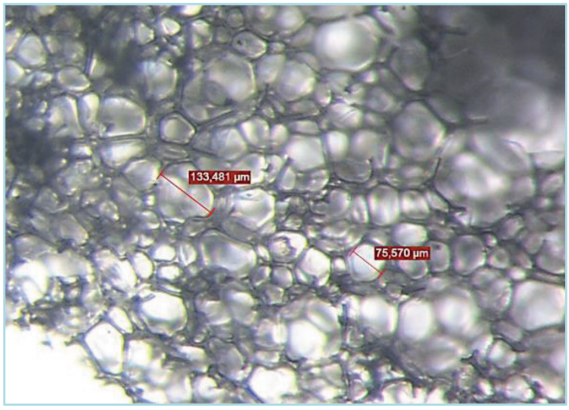


Fig. 1 – *Schiuma rigida da isolamento termico con celle sigillate da membrane complete tra gli struts*

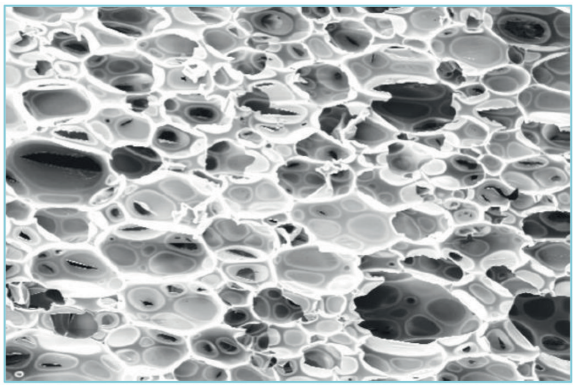


Fig. 2 – *Schiuma semirigida con membrane tra gli struts "forate"*

2.4 Caratterizzazione e selezione delle particelle che formano dette polveri

La polvere per formare i cores dei VIP, è formata da particelle di schiuma con celle spezzettate (Fig3). Essa viene prodotta abitualmente dalle operazioni di taglio e sagomatura della schiuma rigida o semirigida mediante utensili dentati durante le lavorazioni industriali. In alternativa la polvere può essere prodotta per macinazione di parti e pezzi di schiuma intera: dette parti vengono ridotte dapprima in piccoli pezzi mediante granulatori e successivamente passati in appositi polverizzatori. Occorre che le polveri ottenute siano costituite per oltre il 95% in massa da parti spezzate delle celle componenti la schiuma.

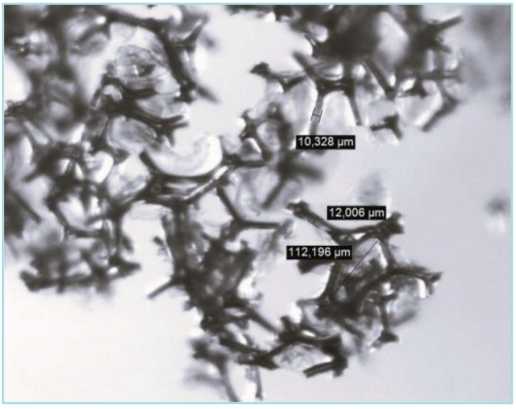


Fig. 3 – *Macrofotografia delle particelle di polvere con celle rotte proveniente da schiuma da isolamento termico cellulazione molto fine (dimens media celle 120 micron) e con struts di dimensioni contenute (12 micron)*

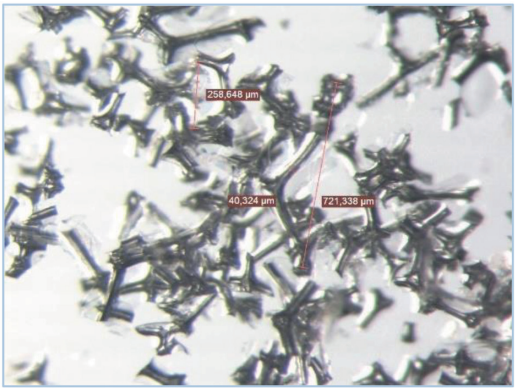


Fig. 4 – *Macrofotografia delle particelle di polvere con celle rotte proveniente da schiuma da isolamento termico ad elevata portanza con cellulazione grossolana e con struts di dimensioni robuste (40 micron)*

Le due immagini mostrano polveri con strutture delle particelle molto diverse (Fig 4) che costituiscono casi di limite considerati.
Se le polveri sono ottenute da scarti di schiuma isolante, esse potrebbero contenere anche i trucioli degli strati di copertura. La presenza di granuli e flocculi di detti strati, infatti, aumenta la conduttività termica del conglomerato che forma il core dei pannelli. Tuttavia abbiamo dimostrato che anche un contenuto percentualmente importante di parti provenienti dalle coperture può essere accettato e consente di ottenere coefficienti di isolamento ottimi.
Anche le operazioni di macinazione devono essere condotte in modo da ottenere la rottura delle celle chiuse. Occorre quindi macinare la schiuma in funzione della dimensione media delle celle.

2.5 Caratterizzazione e selezione delle proprietà di resistenza a compressione del core
Un core realizzato con polveri agglomerate deve avere caratteristiche meccaniche per
• permettere di lavorarlo con utensili dentati per produrre pannelli sagomati
• resistere alla tendenza a sfaldarsi quando viene applicato il vuoto che estrae i flussi di aria dalla porosità
• resistere alla pressione atmosferica che può schiacciarlo o rovinare la sagoma dei bordi quando sigillato dal entro il film.
Le caratteristiche meccaniche vengono misurate con un indentometro che applica una indentazione locale mediante una punta sagomata sul core prima di sigillarlo sotto vuoto.
Durante la messa a punto della tecnologia si è anche trovato il modo migliore di applicare ai cores uno strato di materiale in fibra naturale o sintetica in tessuto non tessuto per proteggere il core durante le operazioni di manipolazione e imbustamento (Fig 5)

2.6 Realizzazione di pieghe senza interrompere la continuità dell'isolamento e piegature circolari.
Un noto problema per l'applicazione dei pannelli VIP come isolante in strutture scatolate è la presenza di ponti termici derivanti dai bordi di tali pannelli che risultano rivestiti del film di sigillatura rivoto.
Detti bordi risultano condurre il calore molto più della superficie dei pannelli, pertanto costituiscono importanti ponti termici.
Per ovviare a detto problema è possibile predisporre adatte sagomature dei cores in modo da poterli piegare fino a 100 °gradi evitando detti ponti termici.
Analogamente è possibile sagomare i pannelli VIP in forma cilindrica per isolare, per esempio contenitori di acqua calda o refrigerata.

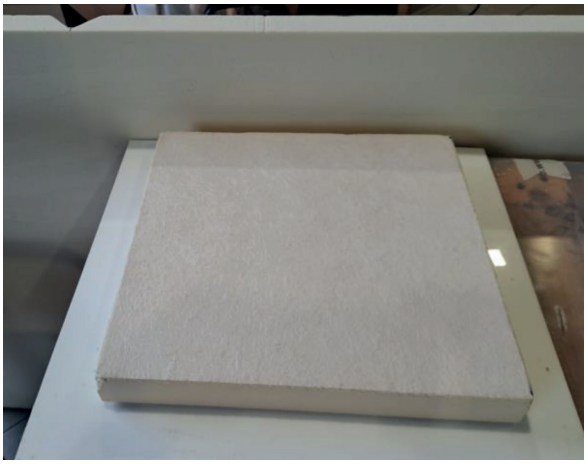


Fig. 5 – *Core per VIP da polvere di schiuma pronto per essere sigillato sotto vuoto*

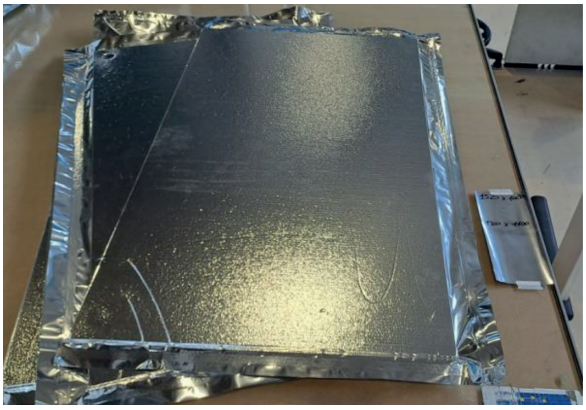


Fig. 6 – *Pannelli VIP da schiuma a celle aperte in fase di approntamento finale*

3. Conclusioni

I pannelli VIP sviluppati e prodotti nel progetto LIFE20/CCM/IT/ VICORPAN con schiuma a celle aperte prodotti testati ed applicati in partnership con BASDF ed EPTA, hanno dimostrato di essere leggeri, performanti e stabili nel tempo per poter essere applicati nei frigoriferi commerciali e domestici in alternativa agli attuali pannelli VIP che pongono notevoli problemi di riciclabilità e di potenzialità di inquinamento ambientale in fase di dismissione. I pannelli VIP VICORPAN in schiuma a celle aperte hanno un lambda di 6 -7 mw /m°K possono essere prodotti in dimensioni molto ampie (Fig 6) ed essere sagomati senza ponti termici. Sono stati adattati e sono in fase di test anche in strutture da isolamento contenenti rinforzi e agganci come frigoriferi commerciali e camion refrigerati.

Sono leggeri (60 -70 g/lit) e risultano perfettamente adatti alle tecnologie di dismissione degli attuali frigoriferi commerciali e domestici senza provocare alcun inquinamento. Stanno trovando interesse anche per applicazioni industriali dove la leggerezza è importante come nei camion refrigerati.

Il progetto LIFE 20 VICORPAN ha inoltre permesso di dimostrare una nuova, inedita tecnologia di riciclo e riuso della schiuma di poliuretano, di scarto o di fine vita, in forma di pannelli

VIP composti da polvere riciclata con capacità di isolamento uguale superiore al doppio e fino a 5 volte quella delle schiume di provenienza con un ottimo di 6-7 mw/m°K. Il team di tecnici R&D di Cannon Afros è orgoglioso dei risultati trovati e della loro applicabilità nel risolvere un importante problema di riciclo e riuso delle schiume poliuretaniche.

Un processo biotecnologico innovativo per il recupero del rame dalle schede elettroniche

Alessandro Becci a.becci@univpm.it, Alessia Amato, Matteo D'Arcangelo, Giulia Merli, Francesca Beolchini
Università Politecnica delle Marche, Ancona

Riassunto
Il Cu è stato inserito nella lista delle materie prime critiche dalla Commissione Europea, in quanto essenziale per tutti i dispositivi elettronici utilizzati quotidianamente. Il Cu rappresenta il metallo più presente all'interno delle schede elettroniche con una concentrazione del 25% (p/p). Ogni anno vengono conferiti in discarica quantitativi sempre più alti di questi dispositivi. Considerata la problematica dell'elevata produzione di schede elettroniche a fine vita combinata con la crescente richiesta di Cu, l'obiettivo del presente lavoro è quello di ottimizzare un trattamento capace di integrare performance tecniche e sostenibilità ambientale. Il processo, attualmente brevettato (IT1020230000297), prevede un approccio biotecnologico innovativo che garantisce un recupero di Cu superiore al 95%. Le varie fasi dello sviluppo del processo hanno permesso di dimezzare l'impatto del processo precedentemente ideato.

Summary
Cu has been included in the list of critical raw materials by the European Commission, as it is essential for all electronic devices used daily. Cu is the most abundant metal within electronic boards, with a concentration of 25% (w/w). Every year, increasing amounts of these devices are sent to landfilling sites. Given the issue of the high production of end-of-life electronic boards, combined with the growing demand of Cu, the aim of this work is to optimize a treatment capable of integrating technical performance and environmental sustainability. The process, currently patented (IT1020230000297), involves an innovative biotechnological approach that guarantees a Cu recovery rate greater than 95%. The various phases of process development allowed to halve the impact of the previously designed process.

1. Introduzione

La Commissione Europea ha incluso il Cu nella lista delle materie prime critiche (pubblicata nel 2023), in quanto questo elemento è essenziale per tutti i dispositivi tecnologici che supportano l'attuale transizione energetica e digitale e per gli obiettivi di difesa e aerospaziali [1]. Il Cu è il metallo più presente all'interno delle schede elettroniche (PCB) con una contrazione del 25% (p/p) [2,3]. Considerando la breve vita dei dispositivi elettronici moderni (l'EU ha il più alto tasso di produzione di rifiuti elettronici pro capite), una grande quantità di questi materiali viene raccolta annualmente all'interno dei centri dedicati per essere riciclata in impianti di recupero che utilizzano principalmente processi pirometallurgici per estrarre i metalli [4]. Tali approcci sono generalmente caratterizzati da elevati costi energetici, con conseguenti impatti ambientali ed economici.

È evidente, dunque, che lo sviluppo di processi innovativi per il recupero di Cu dai rifiuti elettronici è una priorità per far diventare l'Europa produttrice di materie prime seconde, riducendo l'importazione da paesi extra UE (ad oggi, per il Cu, principalmente il Cile), dove spesso le norme di sicurezza ambientale e della salute non sono garantite.
In questo contesto, il presente lavoro presenta le fasi di ottimizzazione del processo di valorizzazione di schede elettroniche incluso nel brevetto italiano Copper BIOTECH (IT10202300000297) che, grazie all'integrazione di sperimentazione, analisi di sostenibilità e applicazione di modelli matematici predittivi ha garantito il raggiungimento di elevati standard tecnici e ambientali, in accordo con i principi dell'economia circolare.

2. Relazione

2.1 Materiali e metodi

2.1.1 Preparazione delle schede a circuito stampato
I PCB utilizzati sono stati recuperati da personal computer, triturati per ottenere una granulometria inferiore a 1.0 mm e lavati con acqua e sale per rimuovere la frazione polimerica [5]with concentrations around 25% and 2% respectively, combined with further precious metals (e.g. Au, Ag, Pd. La composizione metallica finale è la seguente (p/p): Cu 20 ± 5%, Zn 2.0 ± 0.5%, Ni 0.6 ± 0.2%, Al 1.2 ± 0.7%.

2.1.2 Valutazione dell'impronta di carbonio
L'analisi di valutazione dell'impatto ambientale con metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) si è concentrata sulla categoria del cambiamento climatico ($kgCO_2$-eq.), considerata oggi una delle principali criticità ambientali. L'analisi dell'impronta del carbonio ha preso in considerazione il processo di bio-lisciviazione del Cu dalle schede, precedentemente descritto da Becci et al. (2020) al fine di identificare i principali punti critici su cui agire nell'ottica della sostenibilità. I bilanci di massa ed energia utilizzati per tale valutazione sono riportati da Becci et al. (2020). L'analisi ha incluso le fasi di estrazione, quali la bio-lisciviazione in tre fasi (crescita dei batteri *At. ferrooxidans* in assenza di PCB, aggiunta del substrato e, dopo 48 ore, sostituzione dell'80% della soluzione di lisciviazione con del terreno fresco per ridurre la tossicità del Cu sul metabolismo dei batteri e proseguire la lisciviazione per altri 7 giorni)[5]with concentrations around 25% and 2% respectively, combined with further precious metals (e.g. Au, Ag, Pd e il di recupero dei metalli, in particolare, il Fe viene recuperato per precipitazione con NaOH, il Cu per cementazione con Zn e lo Zn per precipitazione con acido ossalico [6]. Gli effetti positivi del metallo recuperato sono stati quantificati come impatti evitati per la produzione primaria, o crediti ambientali [7]the present paper focuses on end-of-life liquid crystal displays (LCDs. Il software Thinkstep GaBi-System e il Database per l'LCA (7.3.3.153; versione DB 6.115) sono utilizzati per il reperimento dei dati relativi ai processi di produzione di energia e materie prime e per la quantificazione dell'impronta di carbonio.

2.1.3 Progettazione della colonna ed esperimento di lisciviazione
L'estrazione di Cu dai PCB è stata realizzata con un *setup* in colonna, innovativo rispetto al precedente trattamento in reattore agitato CSTR proposto da Becci et al. (2020) (**Fig 1a**) [5]. Per verificare le cinetiche di lisciviazione e adattare il modello matematico sviluppato [8] al nuovo *design* di lisciviazione, è stata eseguita una lisciviazione chimica utilizzando una soluzione con 10 g/L di Fe^{3+} e due diverse velocità di alimentazione del flusso, modificate tramite la regolazione della pompa peristaltica (25 e 5 mL/min). L'andamento nel tempo delle concentrazioni di Cu^{2+}, Fe^{3+} e Fe^{2+} nella soluzione in uscita dopo il passaggio attraverso la

colonna sono descritte dalle equazioni differenziali modificate riportate (Eq.s 1-3) da Becci et al. (2019).

$$\frac{dCu^{2+}_{t(col)}}{dt} = \frac{Q \cdot Cu^{2+}_{t(in)} + k \cdot \left(Cu^{0}_{t} - Cu^{2+}_{t}\right) \cdot Fe^{3+}_{t} \cdot V - Q \cdot Cu^{2+}_{t(out)}}{V} \quad (1)$$

$$\frac{dFe^{3+}_{t(col)}}{dt} = \frac{Q \cdot Fe^{3+}_{t(in)} - m \cdot k \cdot \left(Cu^{0}_{t} - Cu^{2+}_{t}\right) \cdot Fe^{3+}_{t} \cdot V - Q \cdot Fe^{3+}_{t(out)}}{V} \quad (2)$$

$$\frac{dFe^{2+}_{t(col)}}{dt} = \frac{Q \cdot Fe^{2+}_{t(in)} + m \cdot k \cdot \left(Cu^{0}_{t} - Cu^{2+}_{t}\right) \cdot Fe^{3+}_{t} \cdot V - Q \cdot Fe^{2+}_{t(out)}}{V} \quad (3)$$

Dove Q è la portata della pompa peristaltica (mL/min), $Cu^{2+}_{t(in)}$, $Fe^{3+}_{t(in)}$ e $Fe^{2+}_{t(in)}$ sono le concentrazioni dei rispettivi metalli nel flusso in ingresso alla colonna (mol/L), k è la costante di reazione determinata da Becci et al. (2021a); mè il rapporto stechiometrico tra Fe^{3+}/Cu (2.0); V è il volume della colonna (0.068 L); Cu^{0}_{t} e Cu^{2+}_{t} sono le contrazioni di Cu nel solido e nella soluzione all'interno della colonna rispettivamente (mol/L); Fe^{3+}_{t} è la concentrazione di Fe nella soluzione all'interno della colonna (mol/L); $Cu^{2+}_{t(out)}$, $Fe^{3+}_{t(out)}$ e $Fe^{2+}_{t(out)}$ sono le concentrazioni dei rispettivi metalli nel flusso in uscita dalla colonna (mol/L).

2.1.4 Ottimizzazione della tecnologia brevettata Copper BIOTECH con il modello matematico
La tecnologia brevettata Copper BIOTECH prevede un *design* del processo di bio-lisciviazione simile alla lisciviazione chimica effettuata in colonna, con l'integrazione di un sistema biologico capace di rigenerare l'agente ossidante, riducendone i consumi (**Fig. 1b**). La soluzione di lisciviazione, infatti, dopo il passaggio attraverso la colonna, viene alimentata in un bioreattore dove il ceppo batterico *At. ferrooxidans* ossida il Fe^{2+} a Fe^{3+}, rendendolo adatto ad essere ricircolato in colonna al fine di assicurare la reazione di mobilizzazione del Cu dai PCB in base alla Eq. 4.

$$Cu^{0} + 2Fe^{3+} \rightarrow Cu^{2+} + 2Fe^{3+} \quad (4)$$

L'ottimizzazione della tecnologia brevettata è stata guidata dal modello matematico adattato al nuovo *design*, integrando il modello precedente con il modello matematico di bio-lisciviazione sviluppato da Becci et al. [9]"ISSN":"15205045","abstract":"This work reports a kinetic study of the bioleaching process for Cu extraction from waste printed circuit boards (WPCBs.

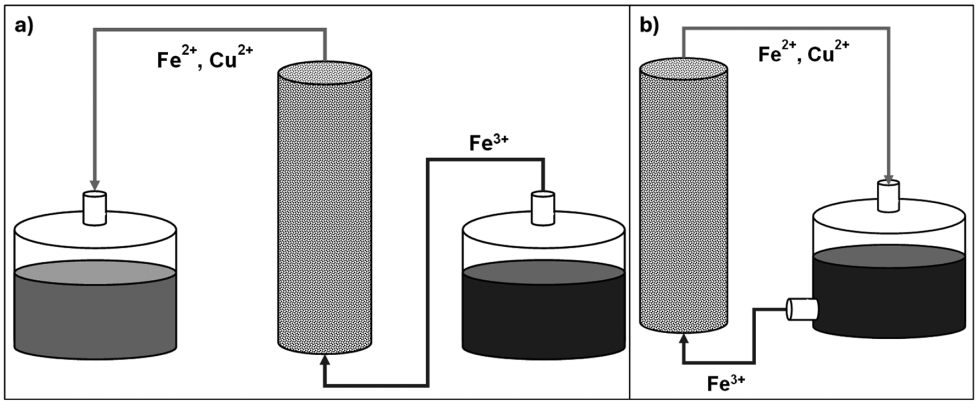


Fig. 1 – *Rappresentazione schematica del setup in colonna per la lisciviazione chimica (a) e per la bio-lisciviazione (b).*

2.2 Risultati

2.2.1 Valutazione dell'impatto ambientale

La valutazione dell'impatto ambientale con approccio LCA, combinata con una simulazione Monte Carlo ha permesso di identificare le principali criticità del processo di bio-lisciviazione, al fine di guidare le successive sperimentazioni per il raggiungimento dei *target* di sostenibilità.

Una prima analisi sulle condizioni testate da Becci et al (2020) [5,6] infatti ha mostrato come il vantaggio ambientale legato al recupero del rame non sia in grado di bilanciare l'impatto causato dal processo stesso, principalmente a causa della bassa concentrazione di PCB in soluzione. L'analisi Monte Carlo ha permesso di correlare l'aumento della concentrazione di PCB con la riduzione dell'impatto del processo, mostrando come, la variazione di conc., da sola, non sia sufficiente a rendere il trattamento ambientalmente vantaggioso (anche a causa di una conc. di Cu variabile all'interno del rifiuto) (**Fig. 2a**). Si è deciso dunque di prendere in considerazione un'altra variabile, individuata come criticità, ovvero la richiesta energetica (**Fig. 2b),** su cui agire tramite riduzione dei tempi di reazione e/o modifica del *setup* di processo.

Tali conclusioni hanno guidato le fasi sperimentali descritte nei paragrafi successivi.

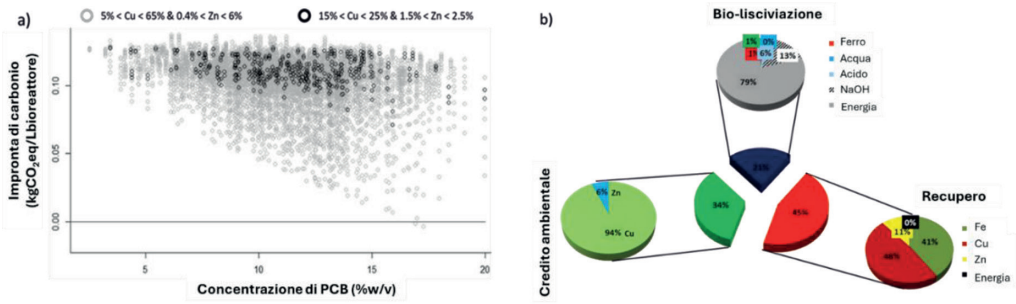


Fig. 2 – *Impronta di carbonio del processo di estrazione dei metalli in funzione delle concentrazioni di PCB e Cu/Zn (risultato della simulazione di Monte Carlo) (a). Ripartizione media del carico ambientale nelle varie fasi di estrazione dei metalli (b).*

2.2.2 Lisciviazione chimica con il set-up a colonna

Considerando i risultati dell'analisi di sostenibilità ambientale, un nuovo processo di lisciviazione con *setup* in colonna è stato proposto al fine di ridurre il tempo necessario a completare il processo di estrazione del Cu e dunque i consumi energetici. Per verificare le condizioni migliori e prevedere i risultati sperimentali, il nuovo *design* del trattamento è stato testato con due diverse portate di flusso (25 e 5 mL/min). I test sperimentali hanno identificato la velocità di flusso di 5 mL/min come ottimale per permettere la completa reazione tra il Fe^{3+} della soluzione di estrazione e il Cu nei PCB. D'altro canto, la velocità superiore non ha consentito un tempo di contatto sufficiente a garantire elevate efficienze. Dopo 38 ore, sono stati estratti circa 43 g di Cu con un'efficienza di lisciviazione dell'85%.

2.2.3 Ottimizzazione del processo di bio-lisciviazione con il modello matematico per il nuovo design

Al fine di ottimizzare il processo, l'attività sperimentale è stata combinata l'implementazione di un modello matematico capace di predire le migliori condizioni operative del processo di bio-lisciviazione, basandosi su quelle riportate da Becci et al. (2021, 2020) (**Fig. 1b**) [5,9].

I risultati simulati dal modello hanno mostrato che nella prima fase (crescita batterica in assenza di PCB e passaggio nella colonna dopo 48 ore) si ha un input di Fe^{2+} dalla colonna che è superio-

re al Fe^{2+} ossidato dal metabolismo batterico, a causa della diminuzione del numero di batteri. L'efficienza di lisciviazione del Cu prevista alla fine della prima fase è di circa 60% **(Fig. 3a**).
Nella seconda fase (sostituzione dell'80% della soluzione di bio-lisciviazione), invece, le concentrazioni di Fe^{3+} e Cu nel bioreattore diminuiscono per poi aumentare dopo 96 ore, in quanto il numero di batteri inizia a crescere esponenzialmente, aumentando la concentrazione di Fe^{3+}. Alla fine della seconda fase di lisciviazione, si raggiunge un'efficienza di lisciviazione del Cu superiore al 95% (**Fig. 3b**).
Il modello ha confermato, dunque che la bio-lisciviazione in colonna consente di ridurre il tempo di reazione di circa il 30% (da 11 giorni, come riportato da Becci et al. [5,9]"ISSN":"15205045","abstract":"This work reports a kinetic study of the bioleaching process for Cu extraction from waste printed circuit boards (WPCBs, a 8 giorni) con conseguente riduzione della domanda energetica.

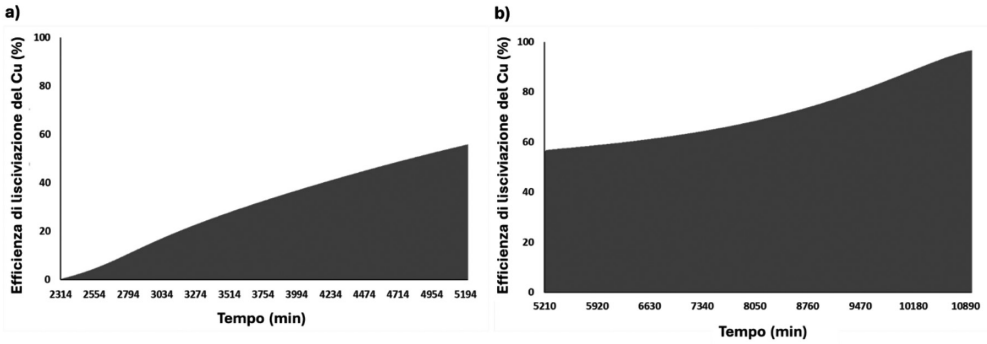


Fig. 3 – *Efficienza di lisciviazione del Cu nella I (a) e nella II fase (b), prima simulazione.*

Considerando i risultati della prima simulazione, è stata effettuata una seconda simulazione modificando il tempo di inizio del ricircolo (dopo 20 ore, in corrispondenza del momento in cui il metabolismo batterico raggiunge il valore massimo), la velocità di flusso (da 5 a 2.5 mL/min) e la quantità di terreno sostituito (ridotta a 65%).
Grazie a questi cambiamenti, nella prima fase il numero di batteri continua a crescere e il tasso di metabolismo batterico è lo stesso dell'input di Fe^{2+} dalla colonna, garantendo un'efficienza finale di lisciviazione intorno al 30% (**Fig. 4a**). Nella seconda fase, la rimozione del 65% della soluzione di lisciviazione e la velocità di flusso ridotta hanno evitato di ridurre troppo il numero di batteri, consentendo l'aumento della concentrazione di Fe^{3+}. Questo nuovo *design* permette di ottenere un tasso di estrazione di Cu elevato, superiore al 95% (**Fig. 4b**) riducendo ulteriormente i tempi a 6,5 giorni.

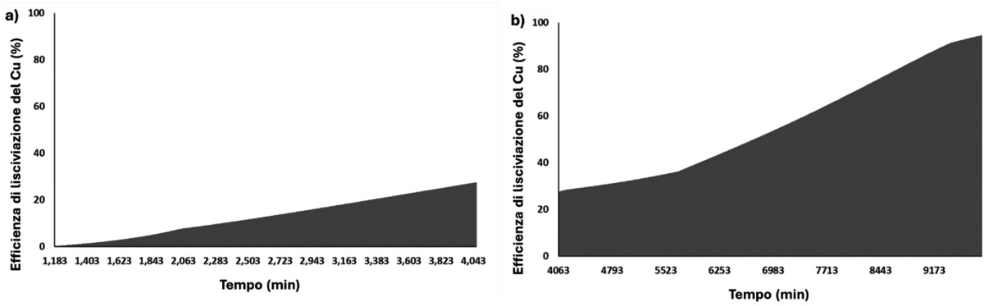


Fig. 4 – *Efficienza di lisciviazione del Cu nella I (a) e nella II fase (b), seconda simulazione.*

Al termine della fase di ottimizzazione un'ulteriore analisi di sostenibilità ambientale è stata condotta al fine di verificare l'effettivo raggiungimento dei *target* di sostenibilità. Come mostrato in **Fig. 5,** il passaggio da reattore agitato a lisciviazione in colonna ha consentito di ridurre l'impatto energetico del 70% con una riduzione complessiva dell'impronta del carbonio del processo di circa il 55% (**Fig. 5**).

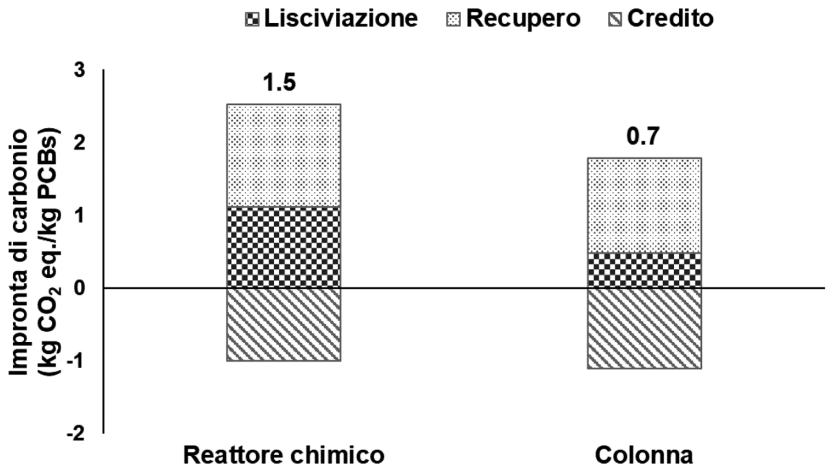


Fig. 5 – *Confronto tra l'impronta del carbonio del processo biotecnologico condotto in batch e quella del trattamento in colonna.*

4. Conclusioni

L'attuale sistema economico sta vivendo un processo di transizione da un modello lineare ad uno circolare, dove un rifiuto diventa fonte di materie prime seconde, chiudendo il ciclo nel sistema industriale e riducendo la quantità di rifiuti prodotti. L'adozione di strategie circolari non è necessariamente sinonimo di sostenibilità e solo l'integrazione di innovazione tecnologica e analisi dell'impatto ambientale può garantire il raggiungimento di standard ambientali reali.

A questo proposito, il presente lavoro ha mostrato come la combinazione di strumenti di sostenibilità (quali lo studio LCA), modelli matematici predittivi e sperimentazione in laboratorio, possa accompagnare in maniera efficace le fasi di ottimizzazione di un processo innovativo.

La combinazione dei tre approcci ha infatti consentito di ridurre di oltre il 50% l'impronta del carbonio di un trattamento bio-idrometallurgico per il recupero di Cu da PCB estremamente promettente per l'attuale economia europea, sempre più interessata allo sviluppo di un mercato di materie prime seconde.

Sperimentazioni future mireranno a migliorare ulteriormente la sostenibilità del processo agendo sulla fase di recupero del metallo. Alcune ipotesi prevedono, ad esempio, la possibile sostituzione della cementazione con Zn con la tecnica dell'elettrodeposizione, con la conseguente riduzione della richiesta di materie prime.

Bibliografia

[1] European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 Final Report, 2023. https://doi.org/10.2873/725585.

[2] A.K. Awasthi, X. Zeng, Recycling printed circuit boards, Elsevier Ltd, 2019. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102158-3.00011-2.

[3] M. Kaya, Electronic Waste and Printed Circuit Board Recycling Technologies, 2019.
[4] C.P. Baldé, V. Forti, V. Gray, R. Kuehr, P. Stegmann, The Global E-waste Monitor 2017, 2017.
[5] A. Becci, A. Amato, V. Fonti, D. Karaj, F. Beolchini, An innovative biotechnology for metal recovery from printed circuit boards, Resour. Conserv. Recycl. 153 (2020). https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104549.
[6] A. Amato, A. Becci, F. Beolchini, Sustainable recovery of Cu, Fe and Zn from end-of-life printed circuit boards, Resour. Conserv. Recycl. 158 (2020) 104792. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104792.
[7] A. Amato, L. Rocchetti, F. Beolchini, Environmental impact assessment of different end-of-life LCD management strategies, Waste Manag. 59 (2017) 432–441. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.024.
[8] A. Becci, A. Amato, J.M. Rodríguez Maroto, F. Beolchini, Prediction Model for Cu Chemical Leaching from Printed Circuit Boards, Ind. Eng. Chem. Res. 58 (2019) 20585–20591. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b04187.
[9] A. Becci, A. Amato, J.M. Rodríguez-Maroto, F. Beolchini, Bioleaching of End-of-Life Printed Circuit Boards: Mathematical Modeling and Kinetic Analysis, Ind. Eng. Chem. Res. 60 (2021) 4261–4268. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c05566.

SOSTENERE LA TRANSIZIONE DELLE AREE INDUSTRIALI E DELLE BROWN AREE ITALIANE IN PARCHI ECO INDUSTRIALI E L'IMPLEMENTAZIONE DELLA SIMBIOSI INDUSTRIALE COME STRUMENTO DI ROUTINE GESTIONALE PER LE AZIENDE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & ENEA, SUN (Symbiosis Users Network)**

Strumenti ed incentivi economici e non economici giocano un ruolo cruciale nell'affiancare la transizione da modelli di produzione e consumo linerari verso quelli sostenibili e circolari. Il Cronoprogramma della Strategia Nazionale per l'Economia Circolare, in questa prospettiva, prevede il sostegno ai progetti di simbiosi industriale attraverso lo sviluppo di strumenti e/o schemi di incentivazione e propone, inoltre, il ricorso allo strumento delle reti di impresa con finalità circolari e la rigenerazione di aree industriali dismesse in eco-distretti circolari (parchi ecoindustriali), anche attraverso la simbiosi industriale. A tal fine risulta anche fondamentale il coinvolgimento ed il confronto con e tragli stakeholder come imprese, pubbliche amministrazioni, università e centri di ricerca, sistemi di istruzione/formazione, associazioni di categoria e terzo settore. In questo contesto, l'VIII edizione del Convegno della rete SUN rappresenta un'opportunità per porre l'attenzione sugli strumenti e sugli incentivi economici e non economici per la promozione della simbiosi industriale e la transizione delle aree industriali italiane verso il modello di eco-distretto circolare.

Presidenti di sessione:
Alessandra De Santis, economiacircolare.com
Laura Cutaia, ENEA – Dipartimento SSPT, Presidente SUN

Il lavoro del futuro nella città del futuro. Trend e nuove professioni

Federica Romano federica.romano@randstad.it, Giovanni Armillotta, Maria Berardi, Martina Gnudi, Francesca Lettieri – Randstad Research, Milano

Riassunto

Negli ultimi anni, il rapporto tra lavoro e scelte abitative ha subito notevoli cambiamenti nei Paesi avanzati. La qualità della vita lavorativa, sociale e abitativa è diventata una priorità grazie a innovazioni tecnologiche che hanno modificato il nostro modo di muoverci, lavorare e interagire. Questo cambiamento è evidente nel lavoro da remoto, che ha rivoluzionato le condizioni lavorative e organizzative, influenzando anche il design degli spazi domestici e lavorativi, nonché il confine tra lavoro e vita familiare e sociale. La rivoluzione tecnologica, come l'uso dei cellulari per pianificare viaggi, ha trasformato i centri abitati grazie alla transizione digitale e verde. Tuttavia, ci sono sfide da affrontare, come la sostenibilità ambientale e sociale, e l'integrazione della popolazione anziana e immigrata nella società.

Summary

In recent years, the relationship between work and housing choices has undergone notable changes in advanced countries. The quality of working, social and housing life has become a priority due to technological innovations that have changed the way we move, work and interact. This change is noticeable in remote working, which has revolutionized working and organizational conditions, and influenced the design of home and work spaces, as well as the boundaries among work and family and social life. The technological revolution, such as the use of cell phones to plan trips, has transformed cities thanks to the digital and green transition. However, there are challenges to face, such as environmental and social sustainability, and the integration of the elderly and immigrant population into society.

1. Introduzione

L'Italia presenta una dicotomia tra aree costiere e pianeggianti, ricche di attività produttive e residenziali, e aree collinari e montuose, meno densamente popolate. Le città metropolitane come Milano e Roma sono caratterizzate da un'alta concentrazione di individui; sono complessivamente 14 e ospitano oltre 21,3 milioni di abitanti, il 36,2% della popolazione. I piccoli comuni sono invece 5.500 e rappresentano il 69% dei comuni italiani, per una superficie che in molte regioni arriva a coprire il 70% del totale. La vita nelle nostre città è influenzata oggi da trend quali la digitalizzazione, la crescente attenzione alla sostenibilità, i cambiamenti demografici e la mobilità [1]. Osserviamo oggi mutamenti sia nel modo di vivere che nel modo di lavorare, con una reciproca influenza. I diversi cambiamenti creano diversi fabbisogni e plasmano anche i nostri centri abitati e i lavori che saranno necessari domani.

2. I lavori nella città del futuro

Sebbene i grandi centri risultino molto attrattivi, le aree periferiche delle città stanno osservando una crescita della popolazione post-pandemia. Diversamente, le aree interne soffrono

di spopolamento e mancanza di servizi, ma progetti come la Strategia Nazionale delle Aree Interne[1] e il PNRR[2] stanno cercando di invertire queste tendenze e di migliorare la qualità della vita per aumentare l'attrattività. La qualità della vita è influenzata da molteplici fattori e variabili. Può essere misurata tramite indicatori sociali oggettivi, costruiti incrociando dati riguardanti, ad esempio, ricchezza, lavoro, sicurezza, demografia, ambiente e cultura, o valutazioni soggettive degli individui (metodo edonico). La qualità della vita varia tra città grandi e piccole, e le città ideali bilanciano i costi della congestione e i benefici delle agglomerazioni, come abbiamo sintetizzato nella figura che segue [Fig. 1].

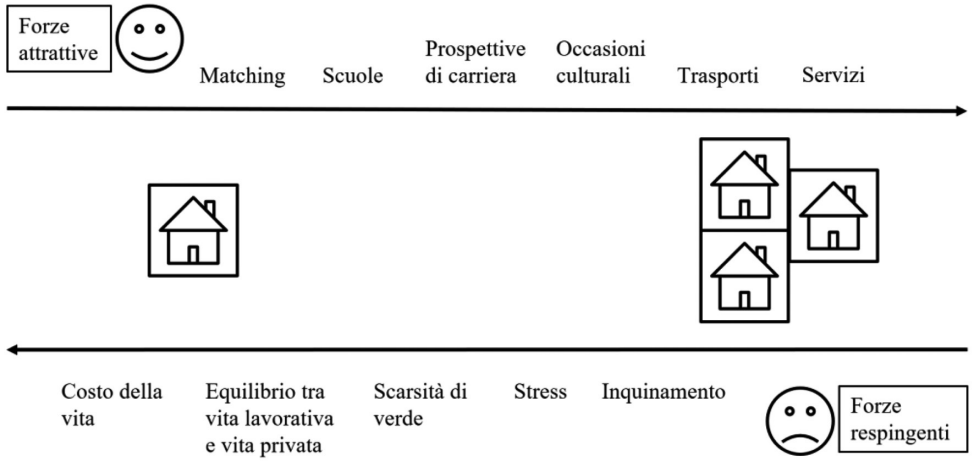


Fig. 1 – *Forze attrattive e respingenti dei centri abitati (immagine elaborata dagli autori)*

2.1 L'impatto del lavoro a distanza

Coloro che lavorano da casa per almeno parte del tempo sono più che raddoppiati negli ultimi anni: circa un milione nel 2019 contro poco meno di tre milioni nel 2023. Lo smart working è concentrato maggiormente tra le professioni qualificate, che generano un effetto moltiplicatore sulle professioni low skill, come ad esempio la ristorazione. Il lavoro da remoto ha cambiato la domanda di abitazioni nei centri città e la distribuzione geografica delle attività economiche. La diminuzione dei costi di trasporto rende più attrattive le aree periferiche delle città e le professioni ad alta qualifica tendono a spostarsi verso queste aree, generando a loro volta occupazione anche per le professioni meno qualificate. Questo fenomeno favorisce la redistribuzione dell'attività economica e la creazione di spazi lavorativi più flessibili. Lo smart working richiede competenze digitali e cambia il modo in cui viviamo e lavoriamo, impattando anche la progettazione di spazi abitativi e lavorativi.

Per caratterizzare i lavori della città del futuro abbiamo analizzato alcuni trend di cambiamento delle città attraverso tre grandi direttrici: mobilità, sostenibilità connettività e demografia.

2.2 Mobilità e lavori del futuro

Il concetto della "città dei 15 minuti", promosso da Carlos Moreno [2], propone un modello urbano in cui i servizi di base siano accessibili in 15 minuti a piedi o in bicicletta dalla propria abitazione. Questo approccio è già presente in tante città medio-piccole italiane, molte delle

[1] https://politichecoesione.governo.it/it/politica-di-coesione/strategie-tematiche-e-territoriali/strategie-territoriali/strategia-nazionale-aree-interne-snai/

[2] https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf

quali hanno adottato progetti che promuovono la mobilità sostenibile e l›integrazione dei servizi di trasporto pubblico e sharing.
Per operare nella mobilità del futuro è certamente opportuno integrare le competenze tradizionali del settore con la conoscenza delle pratiche direttamente collegate con i temi della sostenibilità. Occorrerà dunque conoscere i diversi tipi di emissioni e le strategie per la loro riduzione. Occorrerà poi integrare competenze di tipo psicologico, studiando i comportamenti umani e quali strategie adottare per modificarli. Sarà poi importante saper comprendere, analizzare e gestire grandi moli di dati ai fini di elaborare e ottimizzare piani di mobilità che impattino il meno possibile e che tengano conto delle diverse possibilità di mobilità pubblica e privata a disposizione. Per i profili di tipo operativo, crescerà la richiesta di competenze legate alla manutenzione dei nuovi mezzi di trasporto e dunque occorrerà integrare le capacità tradizionali con nozioni di elettronica, elettrotecnica, con la conoscenza del funzionamento dei chip, dei sistemi di gps.
Ecco alcuni esempi di possibili nuovi profili del futuro legati al trend della mobilità:
– addetti al coordinamento tra servizio di trasporto pubblico e sharing
– addetti all'adeguamento della viabilità
– addetti alla mappatura e alla diffusione dei punti di ricarica elettrici
– addetti allo sviluppo della mobilità integrata per le aree periferiche
– amministratori della mobilità intermodale
– autisti di elitaxi
– controllori del traffico via drone
– costruttori di passerelle ciclopedonali
– designer dell'intermodalità
– dronisti per le consegne da remoto
– esperti di advanced air mobility
– gestori del piano comunale per la mobilità sostenibile
– installatori e manutentori di punti di ricarica per bici elettriche sui treni
– installatori e manutentori di servizi di community-based parking
– integratori dei servizi di mobilità urbana
– manutentori di monopattini elettrici
– pianificatori della mobilità urbana
– pianificatori di hub multimodali per la mobilità
– progettisti di parcheggi di interscambio.

2.3 Sostenibilità e lavori del futuro
Le strategie nazionali e internazionali promuovono lo sviluppo di città sostenibili, con obiettivi che spaziano dalla sicurezza stradale alla tutela delle aree verdi. La Strategia Nazionale per la Biodiversità 2030 [3] e il PNRR [4] includono interventi per migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua, ridurre le emissioni e promuovere la resilienza climatica. Molti progetti diffusi nel territorio e volti a favorire un uso ibrido ed intelligente degli spazi artificiali a disposizione dimostrano l'importanza della transizione verde e digitale, favorendo la creazione di green jobs e migliorando la qualità della vita dei cittadini.
Non va trascurato poi l'imperativo di una transizione da un'economia lineare verso un'economia di tipo circolare, la quale permetterebbe un cambio di paradigma, rendendo meno impattante, in generale, la presenza umana sulla terra. Gli effetti di una transizione verso un'economia circolare prevedono, in primis, una modifica dei nostri modelli comportamentali, con un effetto a cascata anche sul mondo del lavoro. Dalle app per la riduzione degli sprechi alimentari alle pratiche di simbiosi industriali, che permettono di utilizzare gli scarti delle attività come materiali di partenza per nuove attività industriali [5], l'economia circolare

coinvolge l'intera struttura produttiva in un circolo virtuoso, che necessità di professionisti esperti e qualificati.
Il futuro del lavoro in ambito sostenibilità richiede professionisti altamente competenti in grado di elaborare strategie strutturate e sul lungo termine. Per gli anni a venire è opportuno formare e formarsi ai fini di sostituire la pratica "comoda" delle misure compensative attualmente diffusa in favore di strategie che possano non più tamponare gli impatti delle proprie attività, bensì prendere parte attiva nel generare benefici per il pianeta. Sono richieste prima di tutto le competenze in ambito di sostenibilità già note, come la conoscenza dell'economia circolare e l'analisi del ciclo di vita. Importante poi la conoscenza delle nature based solutions, dei nuovi materiali, prevenzione e gestione del rischio naturale, tutela della biodiversità e degli ecosistemi, contrasto alle isole di calore. Ai professionisti della sostenibilità del domani si richiede un forte impegno anche in termini di coinvolgimento attivo, di creatività, di promozione e condivisione dei valori della sostenibilità a tutto tondo. Ecco alcuni esempi di occupazioni del futuro in quest'ambito:
– addetti ai microchip per cassonetti intelligenti
– addetti al centro del riuso cittadino
– addetti all'amministrazione del parco immobiliare in disuso
– addetti all'efficientamento delle risorse
– addetti alla ciclologistica con cargo bike
– addetti alla diagnosi delle risorse non energetiche
– addetti alla mappatura delle aree silenziose
– addetti alla prevenzione e gestione dei disastri ambientali
– addetti alla rigenerazione urbana
– addetti alla riqualificazione delle aree abbandonate
– advisor strategici per l'economia circolare
– amministratori del piano di sostenibilità
– arboricoltori volanti
– bioarchitetti
– bioingegneri per infrastrutture di ripristino ecologico
– certificatori energetici
– change manager
– progettisti di impianti di riconversione per il ciclo integrato dei rifiuti
– wellbeing designers.

2.4 Connettività e lavori del futuro
La connettività è cruciale per la città del futuro, con l'adozione di tecnologie avanzate per migliorare l'accesso ai servizi e la gestione delle infrastrutture urbane. Principalmente nei medi e grandi centri sono sempre più presenti progetti che integrano l'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella gestione delle attività di routine urbane, come ad esempio la gestione dei rifiuti, dimostrando come gli strumenti digitali possono avere un impatto concreto nell'aumento del tasso di circolarità cittadino e del tasso di riciclo. Ma le possibili applicazioni delle tecnologie sono sconfinate ed impattano positivamente, in maniera particolare, su trasparenza, legalità, sicurezza.
I professionisti del domani in ambito connettività potranno servirsi di queste informazioni per implementare le attività di monitoraggio, di analisi, di progettazione. Occorreranno competenze STEM per sviluppare nuove soluzioni legate agli strumenti, come i visori per la realtà aumentata. Sarà poi importantissimo che nel campo delle tecnologie si integrino conoscenze di tipo strettamente umanistico, la filosofia, la psicologia, l'antropologia, con uno sviluppo del pensiero critico, della capacità di giudizio, di risoluzione dei problemi. L'attenzione legata

all'etica nel campo dell'intelligenza artificiale crescerà tanto più saranno diffuse, numerose e semplificate tali tecnologie e occorrerà pertanto che la capacità di utilizzarle con giudizio si diffonda, non soltanto tra coloro che le programmano, ma sempre più tra coloro che le utilizzano. Ecco alcuni esempi di professioni del futuro legate al trend della connettività:
– addetti al data strategy per la governance
– analisti di big data
– architetti di edifici intelligenti
– broker delle tecnologie
– cyber calamity forecaster
– designer di negozi phygital
– digital twin modelist
– esperti di human centered design
– esperti di ia per la mobilità
– esperti di telerilevamento e gis
– filosofi digitali
– gestori comunale di smart grid
– installatori e manutentori di microchip smart per il rispetto dei limiti di velocità
– installatori e manutentori di sistemi di pagamento contactless con sistemi di riconoscimento del palmo della mano
– pianificatori di smart cities
– progettisti di piattaforme digitali urbane
– smart waste manager
– specialisti BIM
– specialisti di edge computing per smart building
– sviluppatori di app per la gestione dei condomini.

2.5 Demografia e lavori del futuro
La crisi delle nascite e la difficoltà di reperimento di personale hanno portato all'attivo il reclutamento di popolazione straniera in età lavorativa. Le sfide demografiche, come l'invecchiamento della popolazione e i movimenti migratori, richiedono interventi per garantire l'integrazione, il benessere della popolazione e nei rapporti intergenerazionali. La creazione di spazi di vita collettiva e l'adozione di tecnologie per l'assistenza alla persona sono cruciali per affrontare queste sfide.
Centrali per le professioni del futuro coinvolte nel trend dei cambiamenti demografici ci sono le competenze di tipo comunicativo. Empatia, ascolto attivo, persuasione: l'invecchiamento della popolazione così come la possibilità di svolgere alcune mansioni di cura ed assistenza da remoto richiedono un forte sviluppo delle capacità interpersonali. A ciò si aggiunge la necessità di familiarità con gli innumerevoli supporti tecnologici fisici di cui potremo disporre, come ad esempio i wearables. Per agevolare l'integrazione e la fruizione dei servizi pubblici da parte di individui provenienti da Paesi esteri occorrerà poi affrontare la questione in maniera strutturata, ad esempio predisponendo competenze legate alla mediazione culturale ed implementando la conoscenza delle lingue straniere. Ecco alcuni esempi di possibili professioni del futuro legate al trend demografico:
– consulenti delle risorse umane per forza lavoro multigenerazionale
– consulenti finanziari per fondi complementari
– designer di quartieri per la terza età
– designer di wearables per l'assistenza
– educatori per la riqualificazione professionale
– esperti in realtà virtuale per il benessere cognitivo

– facilitatori dei progetti pubblici di interscambio generazionale
– gestori del traffico di navette pubbliche silver
– gestori di centri di cohousing
– ingegneri bioinformatici per la personalizzazione delle cure mediche
– ingegneri di nanotecnologia per la salute
– ingegneri di robotica per assistenza personale
– mediatore culturale comunale
– senior-sitter
– specialisti di telemedicina
– specialisti in ict assistenziale
– sviluppatori di tecnologie per l'accessibilità
– terapisti dell'intelligenza artificiale per la salute emotiva.

3. Conclusioni

I cambiamenti tecnologici, demografici e ambientali stanno modificando notevolmente le abitudini di vita nel nostro Paese così come nella maggior parte dei Paesi avanzati. Il cambiamento delle abitudini porta con sé un cambiamento dei luoghi di lavoro e di vita sociale. Le città e gli spazi dell'attività lavorativa e della vita familiare vanno dunque ripensati per accogliere le maggiori tendenze verso la sostenibilità, la digitalizzazione, la diffusione dello smart working ecc. Al tempo stesso le città del futuro saranno caratterizzate da una quota sempre maggiore di persone anziane, sole e a limitata mobilità. Tutti questi cambiamenti avranno impatti rilevanti sul mercato del lavoro. Non solo emergeranno nuove professioni, ma verrà anche modificato notevolmente il mix di competenze richieste nelle professioni esistenti. La sfida è che queste dinamiche trasformative possano ridurre i gap presenti tra generazioni e classi di individui anziché accentuarne le differenze.

Bibliografia

[1] **Randstad Research**, *Il lavoro del futuro nella città del futuro. Trend, casi di studio e nuove professioni, 2024.*
[2] **Moreno Carlos,** *La ville du quart d'heure: pour un nouveau chrono-urbanisme, La Tribune, 5 ottobre 2016.*
[3] **Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica**, *Strategia Nazionale per la Biodiversità, 2030.*
[4] **Italia domani**, *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, 2021.*
[5] **EconomiaCircolare.com,** *Simbiosi Industriale, 26 settembre 2024.*

Towards a standardized approach: UNI PdR for Biodiversity Credits

Simone Mazzola, simone.mazzola@3bee.com, 3Bee srl, Milano
Salvatore Faugno, Università Federico II di Napoli, Napoli
Simona Alberti, 3Bee & Università di Torino, Torino
Francesca Barbero, Luca Pietro Casacci, Università di Torino, Torino
Marino Quaranta, CREA_AA, Bologna
Pietro Spataro, Climate Standard, Viareggio
Giorgio Pelassa, Regione Piemonte, Torino
AA.VV, UNI – Ente Italiano di Normazione, Milano

Summary
This paper explains the criteria and methodologies of the UNI Prassi di Riferimento (PdR) for supporting companies in understanding and mitigating their biodiversity footprint through the generation of Biodiversity Credits. It provides a practical tool that enables companies to assess their impacts and take action to minimize them, while also facilitating regeneration projects, even on a small scale, with transparent tools leveraging scientific research, such as biodiversity credits. The PdR framework aligns with international and European regulatory frameworks, including the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, the EU Biodiversity Strategy for 2030, the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), and the Nature Restoration Law. These frameworks emphasize biodiversity management practices that are measurable, verifiable, and recognized through independent third-party validation, supporting companies in contributing to global conservation goals.

Riassunto
Questo articolo spiega criteri e metodologie della Prassi di Riferimento (PdR) UNI per supportare le aziende nella comprensione e nella mitigazione della loro impronta di biodiversità aziendale attraverso la generazione di Crediti di Biodiversità. Il documento fornisce uno strumento pratico che consente alle aziende di valutare i propri impatti e di agire per minimizzarli, facilitando al contempo progetti di rigenerazione, anche su piccola scala, con strumenti trasparenti che fanno leva sulla ricerca scientifica, come i crediti di biodiversità. Il quadro di riferimento della PdR è in linea con i quadri normativi internazionali ed europei, tra cui il Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, la Strategia dell'UE per la biodiversità per il 2030, la Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) e la Nature Restoration Law. Questi quadri enfatizzano le pratiche di gestione della biodiversità che sono misurabili, verificabili e riconosciute attraverso la convalida di terzi indipendenti, sostenendo le aziende nel contribuire agli obiettivi di conservazione globale.

1. Introduction

Biodiversity, defined as the variety of life forms within an ecosystem, region, or planet, is vital to environmental health and ecosystem services [1]. Rapid biodiversity loss has become a major concern, particularly as corporate activities continue to expand into previously untouched areas. Companies could significantly impact biodiversity through land use, resource extraction, and waste generation, which not only have local effects but also contribute to global biodiversity loss.

To address these challenges, recent international frameworks, including the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, emphasize the integration of biodiversity considerations into corporate strategies. Similarly, the European Union's Biodiversity Strategy for 2030, the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), and the Nature Restoration Law call for businesses to adopt sustainable practices that reduce their biodiversity impact and promote ecosystem restoration. These policies underscore the need for practical tools that allow companies to both understand their impacts on biodiversity and implement actions to minimize them. The UNI Prassi di Riferimento (PdR) framework provides a structured, science-based approach to these challenges. It guides companies in assessing their biodiversity footprint, developing comprehensive management plans, and implementing restoration projects that generate Biodiversity Credits. These credits offer a transparent and scalable solution, enabling companies of all sizes to engage in biodiversity regeneration through innovative technology-driven mechanisms. By adhering to the PdR, companies align their operations with international sustainability standards and regulatory requirements, enhancing their role as ecological stewards while improving corporate reputation and compliance.

2. Report

The PdR serves as a structured and scientifically grounded framework designed to facilitate the assessment and mitigation of biodiversity impacts by corporate entities. Its primary objective is to standardize the procedures for generating Biodiversity Credits, which are essential for compensating biodiversity losses and achieving conservation targets.

2.1 Methodology for assessing and managing Biodiversity footprint

The management of biodiversity impact can be applied both at the individual site level and across entire corporate operations. This structured process encompasses several key steps: assessment, development of a Biodiversity Plan, and continuous monitoring and reporting (Fig. 1). These steps ensure that corporate activities, whether at a single site or across multiple locations, are aligned with biodiversity conservation goals, providing a framework for companies to reduce their environmental footprint and contribute positively to the ecosystem.

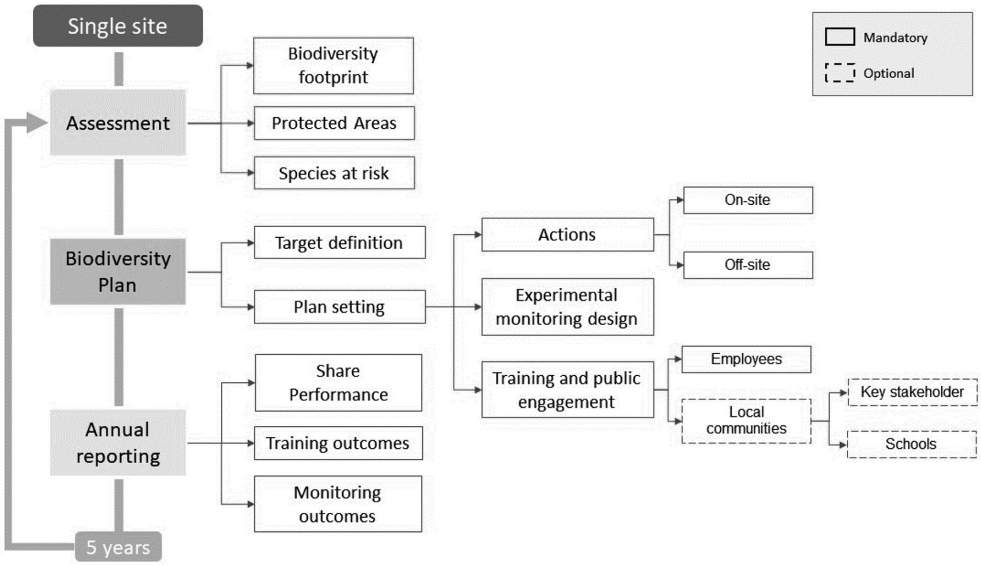


Fig. 1 – *Flowchart of steps to assess the biodiversity footprint; an example of a process at a single site.*

2.1.1 Assessment

The first step in managing biodiversity footprint involves conducting a thorough assessment. At the site level, this assessment focuses on specific local conditions, while at the corporate level, it involves a broader evaluation of the company's overall impact across multiple sites. Key components include:

– **Identification of biodiversity footprint**: both at the site and corporate levels, the organization must evaluate the five main drivers of biodiversity impact as identified by IPBES: land use changes, resource exploitation, climate change, pollution, and invasive species [2,3]. Among these, land use changes are the most critical and are mandatory for all sites. This analysis is essential for calculating the Mean Species Abundance (MSA), a key indicator of biodiversity footprint used in the GLOBIO model developed by the Netherlands Environmental Assessment Agency [4-6]. MSA quantifies the impact of human activities by assigning MSA weights to different land-use types based on scientific studies; for example, intact forests have an MSA ≈ 1 (high biodiversity), while urban areas have an MSA ≈ 0.1 (low biodiversity). The MSA is calculated by summing the product of each land-use area by its MSA weight, divided by the total site area:

$$MSA = \frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i * MSA_i)}{A_{tot}}$$

The site-level assessment focuses on specific local impacts, while the corporate-level assessment aggregates these across all operational sites to provide a comprehensive view of the company's biodiversity footprint.

– **Proximity to Protected Areas**: for individual sites, assessing the proximity to protected areas such as national parks, reserves, and Natura 2000 sites is crucial. At the corporate level, this involves identifying which of the company's sites are closest to these critical habitats and prioritizing actions in those locations.

– **Assessment of Endangered species**: site-level assessments for identifying endangered or protected species according to IUCN Red List [7,8] and the Habitats Directive 92/43/EEC [9], and map within specific locations using resources available in local, regional, or national databases, including iNaturalist, CkMap, or GBIF. At the corporate level, this task involves compiling and analyzing data from all sites to ensure consistent identification and protection of species at risk across the company's operations.

2.1.2 Development of the Biodiversity Plan

The Biodiversity Plan is developed based on the results of the assessment and is tailored to the scale of application, whether at a single site or across multiple sites within the organization. At the site level, the Plan must establish specific conservation Key Performance Indicators (KPIs) determined on the basis of the relevant findings from the assessment. These KPIs serve as metrics to measure the effectiveness and progress toward specific goals, providing data on the company's performance. At the corporate level, these targets are aggregated and aligned with the company's broader sustainability goals, ensuring consistency and coherence across all sites. The Plan includes:

– **Actions**: the Plan follows a hierarchical approach, prioritizing actions that avoid, minimize, and restore biodiversity at the local level before considering offsetting measures. These actions are divided into:

• **On-site actions**: these include direct measures taken within the boundaries of the site, such as habitat restoration, species protection, and the creation of ecological corridors. On-site actions are essential for improving the biodiversity directly at the site where the company operates.

• **Off-site actions**: these involve conservation initiatives in other ecoregions [10] within 150 km of the site, to compensate for any residual impacts that cannot be fully mitigated on-site. Off-site actions might include supporting conservation projects in nearby natural reserves or engaging in reforestation efforts in surrounding areas.
– **Experimental monitoring design**: a well-structured experimental monitoring design is fundamental for evaluating the effectiveness of the adopted measures and the overall protection of biodiversity within the site. The organization must implement a monitoring plan focusing on key indicators like avifauna and arthropods, unless specific risks are identified. This plan should use scientifically recognized methods, with clear timelines and protocols to ensure continuous evaluation of the measures' effectiveness.
– **Training and public engagement**: the Plan must also include comprehensive training programs for employees and public engagement initiatives. Training ensures that employees are well-informed about biodiversity conservation practices and their roles in implementing the Biodiversity Plan. Public engagement focuses on local communities, aiming to raise awareness and encourage participation in biodiversity conservation efforts. Where applicable, this might involve collaborating with key stakeholders, local communities, and schools to enhance the impact of conservation initiatives.
All assessments and subsequent actions are planned on a five-year basis, ensuring ongoing monitoring, evaluation, and adjustment of strategies as needed.

2.1.3 Monitoring and Reporting
Monitoring and reporting are critical components of the Biodiversity Plan, ensuring that the measures implemented are effective and that biodiversity goals are achieved over time. The process involves three key activities:
– **Share performance**: this involves generating annual reports that assess the effectiveness of the actions taken under the Biodiversity Plan. These reports update the organization on the progress made at each site, which are then consolidated at the corporate level to provide a comprehensive overview of the company's overall biodiversity performance.
– **Training outcomes**: annual updates also cover the effectiveness of the training and public engagement efforts and how well employees, local communities, and key stakeholders have been informed and involved in biodiversity initiatives, ensuring that the necessary knowledge and skills have been effectively disseminated.
– **Monitoring outcomes**: the monitoring outcomes provide an in-depth review of the biodiversity monitoring activities conducted throughout the year. It describes the tools and techniques used, focusing on key indicators, and evaluates the success of the monitoring design in capturing relevant data. This includes a summary of the main results obtained during the year, identifies areas needing improvement, and proposes corrective actions to enhance the effectiveness of future biodiversity strategies.

2.2 Generation of Biodiversity Credits
The generation of Biodiversity Credits is a systematic process outlined in the PdR, designed to quantify and certify positive impacts on biodiversity through specific actions. This section elaborates on the key steps and methodologies involved in generating these credits, which are essential for companies seeking to contribute to biodiversity conservation while obtaining tangible, tradable assets.

2.2.1 Definition of Biodiversity Credits
A Biodiversity Credit (BC) is a certificate attesting to a specific measured unit of improvement for biodiversity, based on concrete evidence, that is durable and additional to what

would have occurred in the absence of the specific intervention [11]. According to the PdR, the calculation of Biodiversity Credits is based on the change in Mean Species Abundance (MSA) over time, multiplied by the area impacted and the duration of the project (Fig. 2). This formula ensures that the credits reflect actual, measurable benefits to biodiversity that are durable and additional to what would have occurred without the intervention.

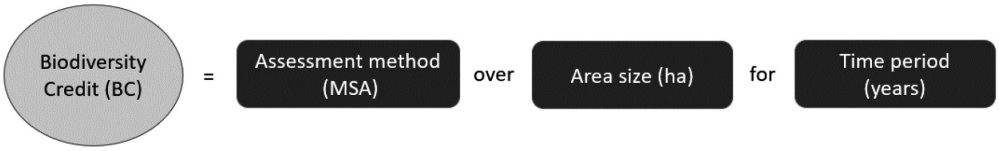


Fig. 2 – *Scheme for calculating Biodiversity Credit.*

2.2.2 Methodology for Calculating Credits

The methodology for calculating Biodiversity Credits is rooted in rigorous scientific principles. The process begins with a detailed baseline assessment of the site, using the MSA as the primary indicator of biodiversity health. This baseline should be established using recognized datasets such as the Corine Land Cover [12] or Global Land Cover 2000 [13], which provide detailed information on land use and cover. The difference in MSA before and after the intervention is then calculated, with adjustments for any regenerative practices that may increase biodiversity beyond initial projections not detectable from land use alone. Once the MSA delta is obtained, the formula for obtaining Biodiversity Credit is applied, and it is assessed whether off-site actions are needed to compensate (Fig. 3).

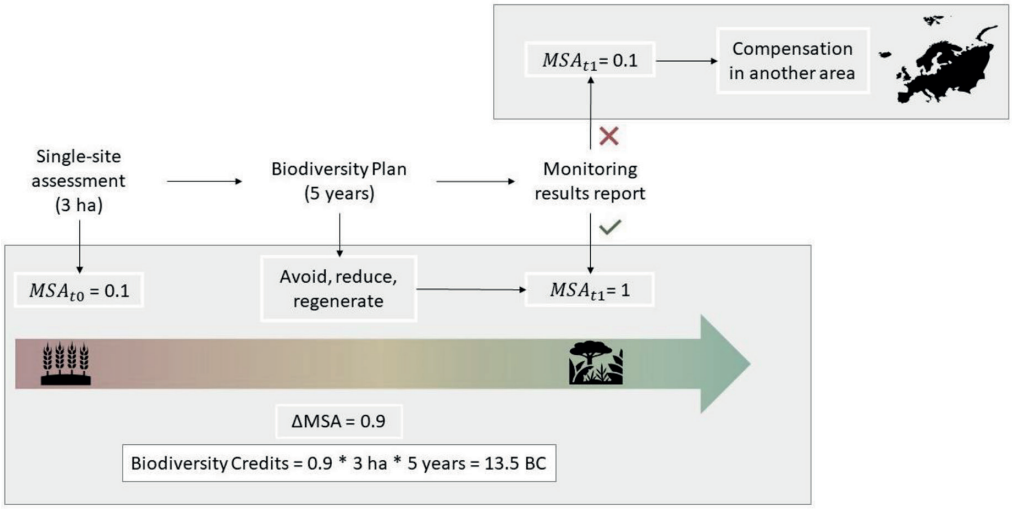


Fig. 3 – *Process for calculating the Biodiversity Credit with the MSA, for on-site actions or possible off-site compensation.*

2.2.3 Types of Eligible Activities

Activities eligible for generating Biodiversity Credits include both the conversion of degraded areas into natural habitats and the minimization of impacts on biodiversity in existing operations. Examples of conversion activities include reforestation, wetland restoration, and the creation of natural grasslands, each contributing to an increase in MSA. On the other hand,

minimization practices might involve changing agricultural practices to less intensive methods, reducing mowing frequencies, or implementing regenerative agricultural techniques that enhance soil and ecosystem health.

2.2.4 Required Activities for Project Implementation

The PdR outlines a step-by-step process for implementing biodiversity credit projects, beginning with the project design phase, which includes setting clear objectives and outlining the expected MSA improvements. Following this, the organization must execute the project, ensuring that all planned activities are carried out as specified. An important component of this phase is establishing a robust monitoring plan, which tracks the progress and effectiveness of the interventions over time. Finally, the organization is required to report annually on the project's outcomes, providing transparency and accountability in the generation of Biodiversity Credits.

2.2.5 Certification and Verification

Once the project has been implemented, an independent verification body must review the outcomes to certify the Biodiversity Credits generated. This process involves an initial ex-ante validation, followed by a one-year monitoring period to confirm that the anticipated MSA improvements have been achieved. Upon successful verification, the credits are certified and can be traded or used by the company to offset its biodiversity footprint, contributing to the broader goals of biodiversity conservation.

3. Conclusions

This PdR provides a robust framework for companies to assess, manage, and mitigate their impacts on biodiversity. By standardizing the processes of biodiversity impact assessment, action planning, and credit generation, the PdR ensures that corporate activities are not only compliant with environmental regulations but also actively contribute to global biodiversity conservation goals. The methodology outlined in the PdR, including the rigorous use of biodiversity indices like the Mean Species Abundance (MSA), offers a scientifically grounded approach that is both practical and scalable across different industries and regions.

The integration of biodiversity considerations into corporate strategies through the PdR represents a significant advancement in the field of environmental management. It allows companies to quantify their positive impacts on ecosystems, generate Biodiversity Credits, and engage in environmental markets, thus aligning economic interests with ecological sustainability. As businesses increasingly recognize the importance of biodiversity for long-term sustainability, the PdR will likely become an essential tool for achieving both conservation and corporate objectives. This framework not only promotes the preservation of biodiversity but also enhances the credibility and reputation of companies committed to responsible environmental stewardship.

4. References

[1] Swingland, I.R. Biodiversity, Definition Of. Encyclopedia of biodiversity 2001, 1, 377–391.

[2] Watson, R.; Baste, I.; Larigauderie, A.; Leadley, P.; Pascual, U.; Baptiste, B.; Demissew, S.; Dziba, L.; Erpul, G.; Fazel, A.; et al. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat: Bonn, Germany 2019, 22–47.

[3] ENCORE Available online: https://www.encorenature.org/en (accessed on 25 June 2024).

[4] Alkemade, R.; van Oorschot, M.; Miles, L.; Nellemann, C.; Bakkenes, M.; ten Brink, B. GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. Ecosystems 2009, 12, 374–390, doi:10.1007/s10021-009-9229-5.

[5] Esch, van der S. THE GLOBIO MODEL – A Technical Description of Version 3.5 – PBL Netherlands Environmental Assessment Agency | Policy Commons.
[6] Alkemade, R.; Bakkenes, M.; Bobbink, R.; Miles, L.; Nellemann, C.; Simons, H.; Tekelenburg, T. GLOBIO 3: Framework for the Assessment of Global Terrestrial Biodiversity. Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2006, 2, 171–186.
[7] Red List Available online: https://www.iucnredlist.org/ (accessed on 1 July 2024).
[8] IUCN | Liste Rosse Italiane Available online: https://www.iucn.it/liste-rosse-italiane.php (accessed on 1 July 2024).
[9] Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora; 2013;
[10] One Earth Bioregions Framework Available online: https://www.oneearth.org/bioregions-2023/ (accessed on 15 July 2024).
[11] Biodiversity Credit Alliance Definition of a Biodiversity Credit 2024.
[12] European Environment Agency CLC+Backbone 2021 (Raster 10 m), Europe, 3-Yearly, Jun. 2024.
[13] Global Land Cover 2000 Database 2003.

Hydrogen-based power generation A Net-Zero Backup Solution for Green Ammonia Hubs

Abdessamad Saidi, Andrea Pivatello, Markus Strömich-Jenewein, Christoph Harasser, Dr. Stephan Laiminger, Dr. Klaus Payrhuber, Carl Richers
INNIO Jenbacher GmbH & Co OG
Achenseestrasse 1-3, 6200 Jenbach, Austria

Summary
The paper delves into the potential of hydrogen-fueled combustion engines for decarbonizing the backup supply of green ammonia hubs, integrating references to industrial symbiosis and themes of industrial areas. It scrutinizes the techno-economic aspects of this technology, focusing on technology solutions, thereby serving as a valuable tool for designers and EPCs when selecting a backup solution for their green ammonia plants.
The paper commences with a global overview of hydrogen, hydrogen transport technologies, and green ammonia production. It addresses regulatory conditions for low-carbon requirements, challenges for designers, and the significance of implementing climate-neutral backup systems to ensure the economic viability of green ammonia hubs.
The paper presents a comparative assessment of available backup power technologies, including a technology comparison, case studies, and a levelized cost analysis of electricity for relevant scenarios, all within the framework of industrial symbiosis and industrial areas. It is demonstrated that the LCOS (Levelized cost of Storage), depending on the location for a hydrogen genset, ranges between 50 and 200 c€/kWh and is lower than that of other compared technologies.
In conclusion, this paper provides a guide to understanding the potential of hydrogen-fueled combustion engines (gensets) as a zero-impact backup solution for green ammonia hubs.

1. Introduction

The global green hydrogen export is becoming increasingly important for the transition to a sustainable and clean energy future. As a game-changing transportation technology, green ammonia can accelerate the growth of a global hydrogen market.

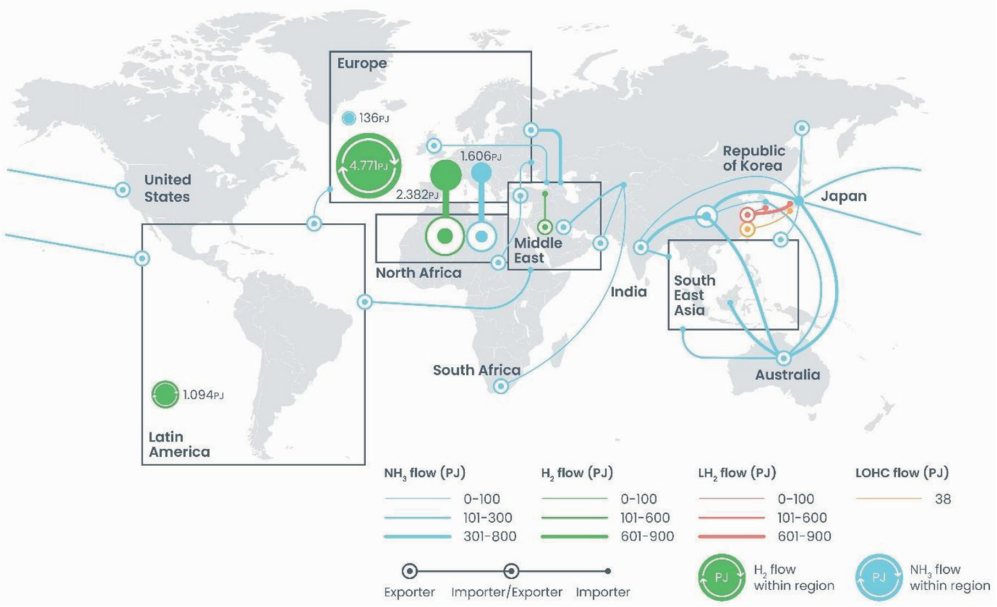


Fig. 1 – *Major transportation routes for hydrogen in 2050; illustration based on IRENA*

The present study provides an economic evaluation of hydrogen engines compared to other backup power technologies in green ammonia production facilities to fulfill GHG standards for green hydrogen in key export destination regions (Fig. 1, Tab. 1) [1,2,3,4,5].

		Production method	Scope	Year issued	Current Status	Emissions intensity [kg_{CO2}/kg_{H2}]
EU	EU Taxonomy	All	Well to gate	2021	Operational	3.0
	RED II	Renewable electricity, low carbon electricity (<65 $g_{CO2,eq}$/kWh)	Well to wheel	2023	Under development	3.38
UK	UK Low Carbon Hydrogen Standard	Electrolysis, natural gas with CCUS, biomass and waste	Well to gate	2022	Operational	2.4
	Renewable Transport Fuel Obligation	Renewable energy, excluding bioenergy	Well to point of delivery	2021	Operational	4.0

Segue

		Production method	Scope	Year issued	Current Status	Emissions intensity [kg_{CO2}/kg_{H2}]
USA	Clean Hydrogen Production Tax Credit	All	Well to gate	2022	Under development	2.5 – 4 1.5 – 2.5 0.45 – 1.5 < 0.45
CA	Clean Hydrogen Investment Tax Credit	Electrolysis, natural gas with CCUS	Well to gate	2022	Under development	2 – 4 0.75 – 2 < 0.75
FR	France Ordinance No. 2021 – 167	All	Well to gate	2021	Under development	3.
Japan	Clean Hydrogen Standard	All	Well to gate	2023	Under development	3.4

Tab. 1 – *Low-carbon hydrogen emission intensity reference values by country*

2. Methods, Procedures, Process

Cost-efficiency calculations have been performed comparing five theoretical case studies in different countries to cover the existing project landscape in terms of geographical location, production capacity, and renewable energy sources (Fig. 2, Fig. 3).

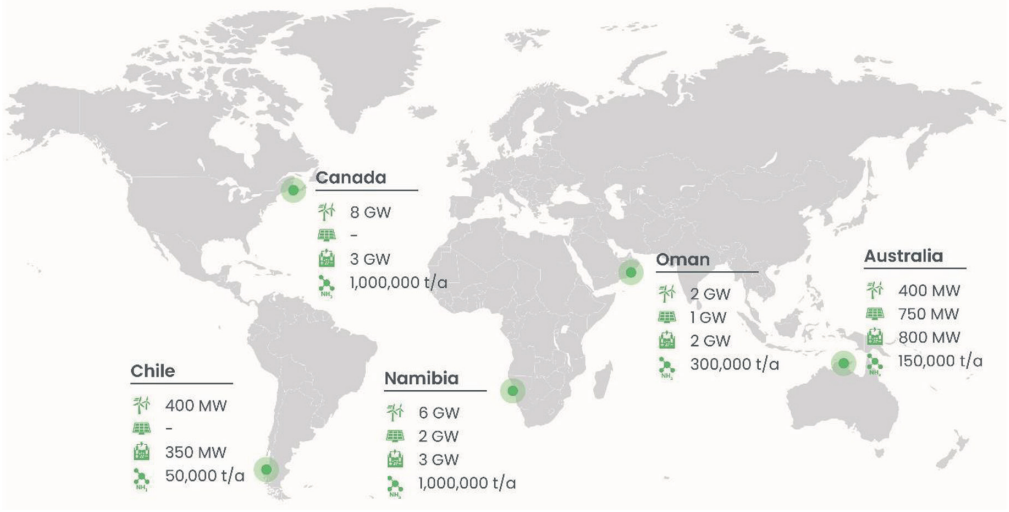


Fig. 2 – *Economic case studies*

For each case study hydrogen-based storage and backup systems are compared with battery-electric solutions. The hydrogen engine and the fuel cell as established decentralized energy solutions are compared as re-electrification technologies. For battery-electric storage, besides Li-Ion, redox flow batteries are considered as an alternative battery electric solution for large scaled projects [6].

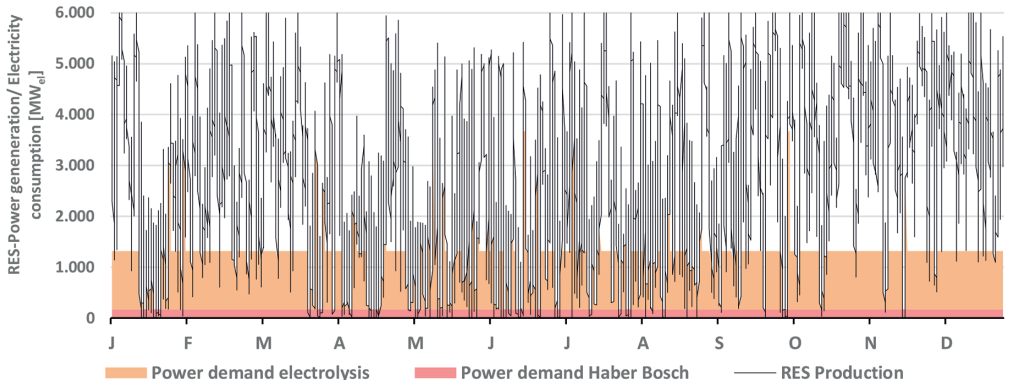


Fig. 3 – *Electricity consumption for H2 production and Haber Bosch process (including air separation, compression, reactor, and ammonia cooling) – Case Study Namibia*

The power dispatching balance calculations are based on regionally specific load profiles for offshore wind and PV electricity in hourly resolution.

3. Results, Observations, Conclusions

The cost-effectiveness of hydrogen-based systems is notably shaped by the diminished specific costs linked to high-pressure storage systems, resulting in a significant reduction in capital expenditures (CAPEX) and total cost of ownership (TCO) (Fig. 4).
In contrast, the substantially elevated TCO observed for fuel cell-based systems primarily result from the necessary replacement of fuel cell stacks throughout the life cycle of the system.

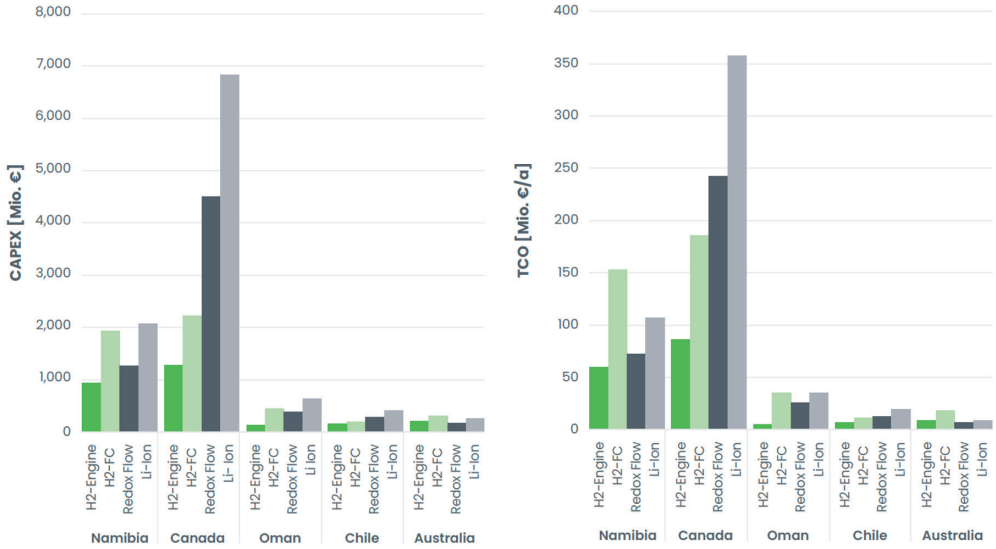


Fig. 4 – *Capital expenditures (CAPEX) and net present values (NPV) for the different backup solutions*

Cost effectiveness of the different backup solutions is shown in Fig. 5 as measured by the levelized cost of storage (LCOS). The LCOS clearly shows that a hydrogen engine-based backup system is an economically competitive and promising solution for fulfilling backup power requirements in green ammonia hubs.

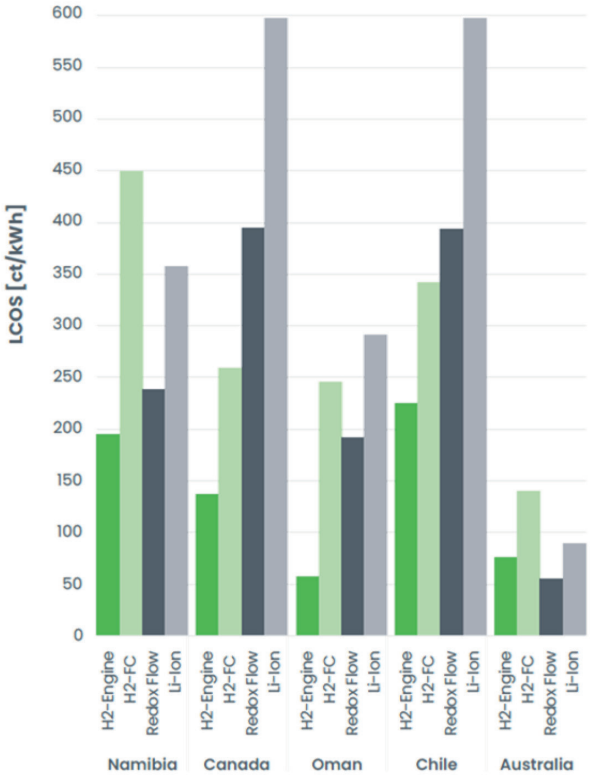


Fig. 5 – *Levelized costs of storage (LCOS) for the different backup solutions*

Relative to BESS, competitiveness of the H2-Engine can be mainly attributed to the substantially reduced capacity specific storage costs. When compared to fuel cells,
H2-Engines clearly show an advantage due to power specific backup costs. These LCOS cost advantages persist in all five scenarios ranging between 17% for the Namibia and 66% for the Canada case. The abundant surplus of RES throughout the year coupled with the significant H2-Engine cost advantage more than offset relatively low H2-Engine round trip efficiency. In green ammonia projects where PV dominates the power supply, as in the Australia case, the advantages of battery-electric backup systems for balancing out power fluctuations during the day come into play.
An optimized backup storage system certainly would involve a synergistic combination of H2-based and battery-electric storage systems, in which the storage robustness and longterm storage capacities address seasonal surpluses are supplied by the on-site hydrogen infrastructure, while batteries serve as a supplementary component to offset daily fluctuations. This approach has significant implications for industrial symbiosis and the functioning of industrial areas.

4. Novel/Additive Information

In the current landscape, most green ammonia projects are currently in conceptual feasibility studies. The restrictive regulations on the carbon footprint have already been identified as a decisive hurdle for many projects and the need for net-zero backup power systems has been recognized. However, the discourse surrounding technology selection has predominantly re-

mained qualitative thus far. This study is the first to provide a comprehensive, quantified framework as a decision-making aid for project developers.

Bibliography

[1] **IRENA**, Global hydrogen trade to meet the 1.5 °C climate goal: Part II – Technology review of hydrogen carriers. Abu Dhabi, 2022
[2] **Department for Energy Security and Net Zero**: UK Low Carbon Hydrogen Standard Guidance on the greenhouse gas emissions and sustainability criteria – Version 2. 04.2023
[3] **European Commission**: EU rules for renewable hydrogen – Delegated regulations on a methodology for renewable fuels of non-biological origin. Briefing for the Members and staff of the European Parliament, European Union, 2023
[4] **H.R. 812 (IH)** – Inflation Reduction Act of 2023
[5] **The Diplomat**: A Look at Japan's Latest Hydrogen Strategy Tokyo Report, 07.07.2023
[6] **Viswanathan, V., Mongird, K., Franks, R., Li, X., Sprenkle, R.,**: 2022 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment, Pacific Northwest National Laboratory, 2022

La circolarità della Valutazione Ambientale Strategica per l'attuazione di scelte sostenibili di pianificazione e sviluppo economico del territorio della Regione Basilicata

Maria Carmela Bruno maria.bruno@regione.basilicata.it, Maria Felicia Marino, Fiorella Messina
Regione Basilicata, Potenza

Riassunto
La Valutazione Ambientale Strategica è un processo di valutazione degli effetti ambientali di piani e programmi, strutturata in modo da individuare possibili margini di miglioramento delle azioni pianificate. Gli obiettivi strategici di salvaguardia dell'ambiente e del territorio e di promozione dell'economia sono connessi con l'attività di pianificazione, con l'attuazione dei programmi e con il monitoraggio dei relativi risultati. In quest'ottica, l'Ufficio Compatibilità Ambientale della Direzione Generale dell'Ambiente, del Territorio e dell'Energia della Regione Basilicata ha approvato il "Programma d'Azione 2022-2025 per la protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola nelle zone vulnerabili" e l'aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti. L'attuazione di tali programmi e piani può introdurre caratteri di innovazione ed approcci integrati per una gestione più efficiente e sostenibile delle risorse.

Summary
Strategic Environmental Assessment is a process of evaluating the environmental effects of plans and programs, structured in such a way as to identify possible margins for improvement of the planned actions. The key objectives of environmental and the territory protection and promoting the economy are connected with the planning activity, with the implementation of the programs and with the monitoring of the related results. In this perspective, the Environmental Compatibility Office of the General Directorate of the Environment, Territory and Energy of the Basilicata Region has approved the "2022-2025 Action Program for the protection of water from pollution caused by nitrates of agricultural origin in vulnerable areas" and the update of the Regional Waste Management Plan. The implementation of these programs and plans can introduce innovative features and integrated approaches for a more efficient and sustainable management of resources.

1. Introduzione

La Valutazione Ambientale Strategica è uno strumento fondamentale per la valutazione degli effetti ambientali di piani e programmi, atto a garantire che questi siano orientati alla protezione dell'ambiente e, quindi, al miglioramento della qualità della vita. La valutazione

ambientale di piani e programmi per lo sviluppo sostenibile del territorio è di fondamentale rilevanza nel contesto della Basilicata, regione caratterizzata da un ricco patrimonio naturale e storico-culturale, con pochi agglomerati urbani di dimensioni medio/piccole, molti "comuni–polvere" e grandi spazi rurali e – in qualche modo – ancora disponibili per le scelte di pianificazione territoriale, che siano in termini di conservazione o di trasformazione, e nella quale è più che mai opportuno bilanciare la tutela e la protezione dell'ambiente con le esigenze di sviluppo economico e di pianificazione territoriale.
Il connotato di circolarità della VAS è dato dal fatto che tale processo di valutazione non si chiude con una decisione, ma accompagna l'intero ciclo di pianificazione a livello tecnico-amministrativo e politico, consentendo di integrare gli aspetti ambientali nelle decisioni (garantendo dunque che gli obiettivi di sostenibilità siano integrati nelle politiche e nei piani di sviluppo), di effettuare un monitoraggio continuo degli impatti ambientali e apprezzare lo scostamento degli effetti reali rispetto a quelli attesi, per poter rivedere e "riaccomodare" le scelte pianificatorie. Nel caso dei piani in questione, che hanno un potenziale forte impatto soprattutto sulla qualità ambientale del territorio, la fase di monitoraggio delle matrici ambientali, prevista a valle della "prima" decisione assicura di verificare che gli impatti siano gestiti e mitigati come pianificato ovvero, qualora emergano criticità o aspetti non precedentemente considerati, che il piano sia rimodulato e adattato.
Secondo il principio ormai consolidato della co-pianificazione, nel procedimento di VAS è previsto il coinvolgimento dei diversi stakeholders, da cui ottenere un fattivo contributo alle valutazioni delle ricadute delle varie scelte alternative da intraprendere.
Per una regione come la Basilicata, la VAS è uno strumento chiave per promuovere uno sviluppo territoriale equilibrato senza compromettere le risorse e il patrimonio naturale e per integrare, al contempo, la sostenibilità nelle politiche economiche, in cui hanno forte peso settori tradizionali come l'agricoltura, innovativi come l'energia, ed in crescita come il turismo.

2. Relazione
L'oggetto del presente contributo ha origine in due atti che sono stati emanati recentemente dalla Direzione Generale dell'Ambiente, del Territorio e dell'Energia della Regione Basilicata: il "Programma d'Azione 2022-2025 per la protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola nelle zone vulnerabili" e l'aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti.
La valutazione ex ante delle implicazioni ambientali di piani e programmi pubblici in Europa è svolta con la Valutazione Ambientale Strategica (VAS); la Direttiva "VAS" 2001/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio obbliga gli stati membri a integrare le considerazioni ambientali durante la fase di sviluppo di piani e programmi che possono avere impatti significativi sull'ambiente. Nel nostro Paese la normativa che individua le procedure per la VAS è contenuta nella Parte Seconda del D.Lvo n. 152/2006, il cosiddetto Testo Unico Ambientale.
I piani e programmi pubblici cui si applica la normativa della VAS sono quelli relativi all'uso del territorio, alla gestione delle risorse naturali, ai trasporti, all'energia, all'agricoltura e al turismo.
In linea con il raggiungimento degli obiettivi di prevenzione e riduzione degli impatti ambientali e di promozione della trasparenza e del coinvolgimento del pubblico nel processo decisionale, le fasi procedimentali possono essere sintetizzate come segue: elaborazione del rapporto ambientale, svolgimento delle consultazioni, esito delle consultazioni e valutazione del rapporto ambientale, decisione, pubblicazione della decisione, monitoraggio. Quest'ultimo è un processo a tre fasi (analisi, diagnosi, terapia) che si basa su tre categorie di indicatori: contesto ambientale (evoluzione dell'ambiente in riferimento agli obiettivi di sostenibilità), variazione del contesto (sono registrati gli effetti, sia positivi sia negativi, sull'ambiente), processo (è monitorato lo stato di attuazione del programma).

I due atti di cui ci si occupa sono comprensivi anche di Valutazione di Incidenza Ambientale (V.Inc.A.), a mente del D.P.R. n. 357/1997: si tratta di uno strumento specifico di valutazione ambientale finalizzato a determinare l'impiatto di piani e programmi, nonché in questo caso anche di progetti, su aree protette, in particolare sui siti di importanza comunitaria (SIC) e zone di protezione speciale (ZPS) che fanno parte della rete Natura 2000 dell'Unione Europea.
La rete Natura 2000 consta di numerose aree di enorme valore ecologico, destinate alla conservazione degli habitat e delle specie più rappresentative e minacciate in Europa.
È di tutta evidenza, dunque, che la V.Inc.A. sia un procedimento assai importante per garantire che lo sviluppo e le attività antropiche non comprometta la conservazione di habitat e specie di rilevanza comunitaria, assicurando così il giusto equilibrio tra le esigenze di sviluppo e la protezione della biodiversità.
Attraverso la valutazione di incidenza ambientale è possibile individuare e identificare in anticipo i potenziali rischi per l'ambiente derivanti dall'attuazione di piani e programmi, consentendo dunque di adottare misure di mitigazione per minimizzare o eliminare questi rischi. Ciò può voler dire, tra l'altro, indicare modifiche al piano o progetto, restrizioni sulle attività o prescrivere l'adozione di pratiche sostenibili.
Come avviene per la VAS, anche il procedimento di V.Inc.A. include fasi di consultazione con le comunità locali e altre parti interessate, al fine di garantire, come in tutti i processi decisionali e pianificatori in campo ambientale, che le decisioni prese siano informate, trasparenti e condivise.
Non è mai superfluo ricordare, quando si tratta di temi di tutela ambientale, che il coinvolgimento delle parti è fondamentale per ottenere consenso sociale su piani e progetti e per integrare le conoscenze locali nella valutazione degli impatti.
Tutte queste attività di tutela dell'ambiente e del territorio trovano un importante riscontro negli obiettivi di sviluppo sostenibile, SDGs, da attuare in ossequio alle previsioni dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite; si tratta di obiettivi integrati e indivisibili, finalizzati a un modello di sviluppo che coniughi i processi economici allo sviluppo sociale e all'attenzione e alla cura dell'ambiente, con lo scopo di assicurare una società più equa e prospera nel rispetto del principio dello sviluppo sostenibile.
La tutela dell'ambiente, e quindi delle generazioni future, è declinata nell'Agenda 2030 attraverso 17 SDGs o goal cui devono tendere gli stati membri e, a cascata, le singole regioni.
Secondo il Documento di Economia e Finanza regionale (DEF) [1], nel decennio 2010-2021 è stato registrato un andamento positivo di sei dei diciassette SDGs (nello specifico i numeri 3, 4, 7, 8, 9 e 12).
I dati ambientali relativi alla Basilicata sono attualmente incoraggianti: tanto per citarne alcuni, oltre il 90% della linea litoranea risulta balneabile e oltre il 90% della produzione di energia elettrica proviene da fonti rinnovabili.
Con puntuale riferimento all'oggetto del presente contributo, le priorità della regione sono individuate anche in alcuni piani di settore quali quello di promozione di azioni prioritarie di interventi per la rete Natura 2000, la protezione delle acque e l'aggiornamento del piano di gestione dei rifiuti.

2.1 Programma d'Azione 2022-2025 per la protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola nelle zone vulnerabili

Il settore agroforestale lucano riveste primaria importanza oltre che per la funzione produttiva, con importanti ricadute occupazionali, anche per la funzione di tutela del territorio rurale e protezione paesaggistica.
Le filiere legate alle produzioni cerealicole risultano strategiche da un punto di vista occupazionale, socioeconomico e della gestione del territorio.

I programmi nel settore zootecnico mirano a coniugare due aspetti: da un lato rispondere agli obiettivi prioritari di ridurre il consumo idrico e il consumo di suolo, mitigare i cambiamenti climatici, tutelare l'ambiente, gli ecosistemi e la biodiversità, e dall'altro migliorare la produttività e la competitività delle aziende.
Nell'ambito faunistico-venatorio e ittico è di fondamentale importanza un'adeguata pianificazione al fine di assicurare la conservazione delle effettive capacità riproduttive di alcune specie ed il contenimento naturale di altre specie.
Alla luce di questo quadro socio-economico e ambientale, il programma del Piano Nitrati è stato approvato, a seguito di VAS favorevole [2], in linea con la necessità di sopperire alla carenza di fertilizzanti e anche all'incremento dei costi delle materie prime e degli approvvigionamenti energetici; altrettanto importante e ambizioso è l'intento di valorizzare i sottoprodotti agricoli, in piena attuazione degli obiettivi in materia di economia circolare.
Tra i principali problemi riscontrabili in regione vi sono i seguenti:
– il clima della zona vulnerabile ai nitrati è di tipo mediterraneo e dunque le coltivazioni a ciclo primaverile-estivo necessitano di interventi irrigui;
– la zona vulnerabile ai nitrati, come del resto tutto il territorio lucano, è interessata da alternanza di periodi particolarmente siccitosi e periodi piovosi con intensi fenomeni alluvionali.
Il Programma d'Azione, così come ad oggi modificato, ha apportato significative novità allo scenario preesistente:
– in linea con le indicazioni comunitarie, l'attuale zona vulnerabile ai nitrati è stata allargata di circa il 5%;
– sono state introdotte azioni che mirano alla riduzione delle emissioni odorigene e di ammoniaca nell'aria, coerentemente con le nuove norme comunitarie in materia;
– è stato rimodulato il periodo di divieto invernale in rapporto alla tipologia di fertilizzante impiegato;
– è stato disciplinato anche l'utilizzo agronomico del digestato, nel rispetto della norma vigente;
– sono stati introdotti nuovi divieti di spandimento dei liquami;
– è stato definito un nuovo fabbisogno complessivo di azoto efficiente per singola coltura, desunto da disciplinare di produzione integrata (approvati anch'essi dalla Regione Basilicata); è stato introdotto il monitoraggio dei nitrati nei suoli.
Per quanto attiene alla fase di monitoraggio del piano, per la verifica del raggiungimento degli obiettivi prefissati, è stato previsto tra l'altro un set di controlli analitici nei corpi idrici superficiali e sotterranei (nitrati, fosforo, stato ecologico e chimico) e nei suoli (azoto, fosforo, carbonio, calcare, conducibilità elettrica).
Una gestione efficiente dei fertilizzanti, nel medio e lungo periodo, consente di ridurre l'applicazione eccessiva di prodotti azotati, il cui uso eccessivo può causare problemi significativi, come l'eutrofizzazione delle acque, che a sua volta può portare a una riduzione della biodiversità acquatica e alla contaminazione delle risorse idriche potabili.
Promuovendo e incentivando pratiche agricole di precisione si determinano con accuratezza le quantità di nutrienti necessari e questo concorre a minimizzare il rilascio di nitrati nei terreni e anche nelle acque.
In un sistema virtuoso e circolare di gestione delle pratiche agricole, i reflui zootecnici potranno essere trattati e valorizzati, evitando così la loro dispersione nell'ambiente.
In un contesto agricolo-ambientale, favorire pratiche sostenibili e virtuose può aumentarne la resilienza, intesa come la capacità di un sistema di rispondere positivamente a perturbazioni esterne, come cambiamenti climatici, inquinamento, o anche fluttuazioni economiche, mantenendo la propria funzionalità e produttività.
In campo agricolo, l'economia circolare può esplicarsi attraverso la gestione sostenibile dei rifiuti agricoli, la produzione di compost dai residui organici e il recupero dei nutrienti come

i nitrati da fonti di scarto, migliorando la capacità dei sistemi ad adattarsi a cambiamenti e shock esterni.

2.2 L'aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR)

Il PRGR (comprensivo del piano regionale amianto e del piano di bonifica) è a tutti gli effetti uno strumento di pianificazione dinamico attraverso il quale è possibile attuare i programmi comunitari di sviluppo sostenibile e di economia circolare.

Esso contiene, altresì, valide indicazioni di pianificazione e programmazione relative alla bonifica delle aree industriali nell'ottica della loro transizione verso modelli gestionali virtuosi.

La normativa nazionale sui rifiuti ha dovuto di recente recepire le Direttive 2018/850/UE, 2018/851/UE e 2018/852/UE e lo ha fatto mediante i D. L.vi n. 116/2020 e n. 121/2020; sono stati posti nuovi obblighi e divieti in merito alla gestione dei rifiuti urbani da adesso fino al 2035 e in questo arco temporale gli atti di pianificazione devono tendere alla coerenza con gli obiettivi previsti dalla Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile e dal Piano d'azione europeo per l'economia circolare.

Proprio nel contesto dell'economia circolare l'aggiornamento del PRGR lucano, approvato previa VAS favorevole [3], si inserisce attraverso azioni strategiche che mirano, per citare solo i principali, a obiettivi quali:

– l'ottimizzazione dei sistemi di raccolta differenziata;
– l'incentivazione di modelli di produzione e consumo sostenibili;
– l'implementazione di strategie per la valorizzazione dei rifiuti organici attraverso compostaggio e/o produzione di biogas, ottenendo così risorse utili per la produzione di energia e per il comparto agricolo;
– l'aumento complessivo del recupero e riciclaggio dei rifiuti di imballaggio;
– la riduzione dei RUB (rifiuti urbani biodegradabili) da conferire in discarica e il divieto di smaltimento in discarica di tutti i rifiuti idonei al riciclaggio o al recupero di altro tipo;
– l'adozione di misure volte ad assicurare che la quantità di rifiuti urbani da conferire in discarica (inclusi i rifiuti derivanti dal loro trattamento) sia ridotta a un valore non superiore al 10%.

Altro obiettivo cogente che l'Europa richiede ai paesi membri di raggiungere è il bando dei prodotti in plastica monouso e dunque nel nuovo PRGR sono stati posti gli obiettivi di raccolta del 77% per le bottiglie monouso in plastica per bevande entro il 2025, che salirà al 90% entro il 2029, e di contenuto minimo di materiale riciclato nella produzione di bottiglie per bevande fabbricate in PET di almeno il 25% entro il 2025, che salirà ad almeno il 30% al 2030 contemplando tutte le plastiche monouso utilizzate per la fabbricazione di bottiglie per bevande.

Di pari importanza sarà la pianificazione per la riduzione della produzione di rifiuti, con particolare riferimento alla riduzione dei rifiuti alimentari, tenendo in considerazione le indicazioni dettate dal Programma nazionale di prevenzione dei rifiuti.

Pertanto, il PRGR così come aggiornato è un potente strumento di pianificazione che assolve ai seguenti compiti:

– superamento della frammentazione delle gestioni attraverso un servizio di gestione integrata dei rifiuti;
– conseguimento di adeguate dimensioni gestionali, definite sulla base di parametri fisici, demografici e tecnici;
– adeguata valutazione del sistema stradale e ferroviario di comunicazione, al fine di ottimizzare i trasporti all'interno degli ambiti territoriali ottimali;
– valorizzazione di esigenze comuni e affinità nella produzione dei rifiuti;
– ricognizione di impianti di gestione di rifiuti già realizzati e funzionanti.

Il monitoraggio previsto contempla la determinazione dei volumi di rifiuti prodotti e il loro confronto con i dati storici, nonché il costante controllo dei quantitativi di rifiuti urbani smaltiti in discarica.
Un tale approccio di gestione e coordinamento delle attività consentirà di ottimizzare le risorse (umane, finanziarie, tecnologiche), sviluppando economie di scala e riducendo i costi complessivi del servizio di gestione.
Sarà inoltre possibile perfezionare la fase di pianificazione e il controllo, al fine di intervenire con tempestività in caso di criticità o inefficienze del sistema.
La riduzione dell'impatto ambientale che deriverà dalla nuova gestione integrata consentirà in primo luogo una maggiore attenzione alle fasi di riduzione, riciclo e recupero dei rifiuti, promuovendo pratiche sostenibili, e in secondo luogo, quale diretta conseguenza delle migliorate strategie di comunicazione e sensibilizzazione, una rinnovata partecipazione attiva dei cittadini nelle pratiche di riduzione quantitativa dei rifiuti e di riciclo.
Allo scopo, è previsto infatti nel DEF che per favorire la crescita dell'economia e di nuove filiere produttive legate alla green economy, un obiettivo prioritario è la riduzione della produzione di rifiuti, la riutilizzazione e il riciclaggio dei materiali, anche nell'ottica di orientare lo scambio di flussi di materia e di energia tra le attività insediate, così da "chiudere" i cicli produttivi in ottica circolare.
Dunque, una volta realizzati questi obiettivi, che dovranno essere concretamente misurabili, potranno essere create economie circolari locali con l'ambiziosa prospettiva di raggiungere l'autosufficienza e la resilienza delle comunità.

3. Conclusioni

Gli aspetti descritti fanno del piano nitrati e dell'aggiornamento del PRGR due strumenti di pianificazione di settore in linea con le politiche ambientali europee, contribuendo ad una gestione più partecipata, consapevole e certamente più sostenibile del territorio sul medio e lungo periodo.
La natura "iterativa" della VAS, che include un monitoraggio continuo e l'adattamento delle decisioni in base ai risultati ottenuti, fa di essa un processo circolare. L'applicazione di questo ciclo consente:
– monitoraggi e feedback, utili per apportare modifiche a piani o programmi, ma anche a guidare nuove iniziative;
– adattamento e correzione, nel caso in cui i monitoraggi facciano emergere impatti negativi non previsti o peggiori del previsto: in tal caso sarà possibile rivedere le strategie, implementare misure correttive o, in ultima analisi, modificare gli obiettivi prefissati;
– partecipazione e trasparenza, con il coinvolgimento dei vari stakeholder (cittadini, esperti, enti locali, etc.), a garanzia che il processo decisionale sia per l'appunto trasparente e le diverse esigenze siano prese in debita considerazione.
E, dunque, il procedimento di VAS favorisce un approccio di sviluppo sostenibile basato sui tre fondamentali pilastri dell'ambiente, dell'economia e del sociale.
Attraverso la circolarità della Valutazione Ambientale Strategica è possibile assicurare scelte di pianificazione e di sviluppo sostenibili, bilanciando la crescita economica e la tutela dell'ambiente con un collaudato metodo iterativo e partecipativo.
Nei casi citati, si ritiene di aver messo in atti amministrativi le condizioni affinché la VAS esplichi la funzione, già immaginata dal legislatore europeo e nazionale, di strumento promotore e di controllo di uno sviluppo realmente sostenibile, in termini di rispetto e preservazione del patrimonio naturale per le generazioni future, e per la realizzazione di un modello economico che sia resiliente e duraturo nel tempo, coerente con le peculiarità territoriali e culturali della Regione Basilicata.

Bibliografia

[1] Documento di Economia e Finanza Regionale 2023-2025;

[2] neD.D. n. 23BD.2023/D.01505 del 14.12.2023: D. L.vo n. 152/2006 – Parte II (e s.m.i.) – D.P.R. n. 357/1997 (e s.m.i.): "Parere motivato sulla procedura VAS, ai sensi dell'art. 15 del D. L.vo n. 152/2006 (e s.m.i.), comprensivo della Valutazione di Incidenza, ai sensi del D.P.R. n. 357/1997 (e s.m.i.), relativamente al "Programma d'Azione 2022-2025 per la protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola nelle zone vulnerabili" Autorità procedente: Direzione Generale per le politiche Agricole, Alimentari e Forestali – Ufficio Politiche Ittiche e Venatorie, Gestione Fauna selvatica, Agroambiente.";

[3] D.D. n. 23BD.2024/D.00408 del 08.04.2024: "D. L.vo n. 152/2006 – Parte II (e s.m.i.) – D.P.R. n. 357/1997 (e s.m.i.) – Parere motivato sulla procedura VAS, ai sensi dell'art. 15 del D.L.vo n. 152/2006 (e s.m.i.), comprensivo della Valutazione di Incidenza, ai sensi del D.P.R. n. 357/1997 (e s.m.i.), relativamente all'"Aggiornamento della pianificazione regionale per la gestione dei rifiuti". Autorità procedente: Direzione Generale dell'Ambiente, del Territorio e dell'Energia – Ufficio Economia Circolare, Rifiuti e Bonifiche".

Simbiosi Industriale e Facilitazione

Elisabetta Mauri elisabetta.mauri@mi.camcom.it, Caterina Benassi
FacilitAmbiente, Camera di Commercio Milano Monza Brianza Lodi e Camera Arbitrale di Milano

Riassunto
L'economia produttiva è ispirata a nuove formule organizzative volte al minor consumo di risorse naturali e riutilizzo di materiali di scarto. Partendo da un'indagine svolta nel 2021, vengono ripercorse criticità e resistenze all'implementazione di percorsi di simbiosi Industriale: rispetto a tali limitazioni – la mancanza di fiducia tra aziende e l'insufficienza di conoscenze tecniche ed il sempre più frequente conflitto ambientale e sociale – si possono creare nuove occasioni di dialogo, scambio e condivisione delle conoscenze non solo tecniche, per l'avvio di processi decisionali coordinati tra le realtà produttive ed il territorio di contesto. Il coordinamento da parte di facilitatori esperti supportati a livello istituzionale può quindi incentivare l'innovazione circolare produttiva.

Summary
Productive economy is inspired by new organizational formulas aimed at lower consumption of natural resources and reuse of waste materials. Starting from a survey carried out in 2021, critical issues and resistance to Industrial Symbiosis are traced: with respect to these limitations – the lack of trust between companies and the insufficiency of technical knowledge, as well as the increasingly frequent environmental, social and environmental conflict – new opportunities for dialogue can be created. By facilitating exchanges and sharing of not only technical knowledge, coordinated decision-making processes between production entities and the local area could be launched.. The coordination of expert facilitators supported at an institutional level can therefore incentivize productive circular innovation.

1. Introduzione

Nel 2021 la Camera di Commercio di Milano Monza Brianza Lodi ha avviato il progetto di ricerca SIGMA[1] (Simbiosi Industriale per la Gestione Circolare dei Materiali) in collaborazione con l'Istituto di Management della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa. Il progetto era volto ad implementare percorsi strategici per le aziende del territorio che avessero interesse al miglioramento delle performance in termini di sostenibilità, tramite lo sviluppo di nuove opportunità di economia circolare, secondo l'adozione delle pratiche di simbiosi industriale (nel prosieguo definite con l'acronimo SI). Questa prassi, coinvolgendo aziende appartenenti a settori diversi e separati, promuove un approccio integrato volto ad agevolare scambi di risorse materiali post-produzione utili ad altre realtà produttive [1]. In tal modo è possibile mantenere le risorse all'interno del ciclo produttivo, riducendo il consumo di materie prime e la produzione di rifiuti. Tra i vantaggi derivanti da questo processo, oltre alla riduzione dell'inquinamento ambientale, si possono evidenziare risparmi sui costi di acquisizione di materie prime, nonché su consumi di energia ed oneri smaltimento rifiuti.

[1] Il progetto di ricerca SIGMA e la consultazione della relazione conclusiva d'indagine è consultabile al sito: https://www.milomb.camcom.it/documents/10157/28017634/Mappatura-sulla-Simbiosi-Industriale.pdf/1928ec6f-598f-4d7a-8aec-8e6ed47e9385.

Rispetto a tale obiettivo SIGMA ha messo in atto una mappatura territoriale volta ad investigare lo stato dell'arte di pratiche già esistenti o utili ad una futura implementazione tra realtà aziendali differenti del territorio.
La ricerca ha esplorato le complessità organizzative e strutturali delle imprese partecipanti, al fine di individuare le cause di resistenza all'adozione e all'implementazione della simbiosi industriale (SI).
Considerati i risultati dell'indagine e di come risultino costanti e in aumento le conflittualità ambientali, sociali ed economiche, in relazione al tema dell'impatto ambientale delle produzioni, è emersa una nuova necessità di sviluppare un servizio[2] istituzionale che faciliti il dialogo tra i vari stakeholder coinvolti nelle pratiche di simbiosi industriale (SI).
Questo strumento dovrebbe stimolare il confronto e la partecipazione, supportando iniziative di pubblica utilità volte a promuovere un'economia più circolare.

2. Relazione

2.1 Analisi dell'implementazione di percorsi di SI nel contesto territoriale
La mappatura iniziale di SIGMA si è svolta tramite la somministrazione di un questionario sottoposto alle imprese lombarde aderenti al progetto: nello specifico risultano 83 le realtà produttive che hanno fornito un riscontro. Dopo le prime informazioni anagrafiche delle aziende partecipanti, è stata approfondita l'adozione di pratiche di simbiosi industriale tra le aziende, analizzandone aspetti quali le pratiche di scambio di sottoprodotti e rifiuti già adottate e l'uso condiviso di infrastrutture e servizi. È stata data particolare rilevanza anche alle motivazioni che spingevano, o frenavano, le aziende ad investire in azioni simbiotiche.

2.2 Fattori che condizionano l'implementazione di pratiche di SI nel contesto territoriale
L'analisi svolta ha confermato una graduale e lenta volontà di crescita per quanto attiene l'implementazione di pratiche di simbiosi industriale, e allo stesso tempo – seppur in maniera minore – all'uso condiviso di infrastrutture e servizi accessori. Nel complesso dell'indagine, la scelta delle imprese risultava motivata dal miglioramento delle performance economico ambientali ed allo stesso tempo dall'immagine aziendale che ne derivava.
Le politiche legislative a tutela dell'ambiente – a livello europeo, nazionale e locale – seppur da una parte promuovono tali prassi allo stesso tempo risultano percepite come fin troppo ambigue o in alcuni casi restrittive riguardo alla gestione di rifiuti e materie prime; queste ultime appaiono dunque come vere e proprie barriere alla creazione di simbiosi industriale.
Al contrario delle aspettative, la prossimità geografica non risultava un ostacolo all'implementazione di pratiche di simbiosi, con rapporti di approvvigionamento o destinazione di sottoprodotti/rifiuti articolati anche a livello nazionale.
Da considerarsi sono però i costi di trasporto in relazione al reperimento di materie prime, che risulta solitamente più conveniente rispetto al recupero di rifiuti provenienti da altre aziende, anche per la necessità di trattare i rifiuti stessi prima che vengano reimmessi nel sistema produttivo. In generale, l'incipit di una pratica di simbiosi industriale comporta investimenti e spese iniziali cospicue; queste condizioni, relazionate all'incertezza dei benefici eco-

[2] FacilitAmbiente è un servizio pubblico istituito dalla Camera di Commercio di Milano Monza Brianza Lodi in collaborazione con Camera Arbitrale di Milano (https://www.facilitambiente.it) ed è rivolto alla prevenzione di conflitti ambientali: la promozione di metodi esperti, tra i quali comunicazione, ascolto e dialogo partecipato, è realizzato grazie a facilitatori selezionati per realizzazioni progettuali e pianificazioni specifiche di utilità pubblica: il facilitatore selezionato sulla base dell'esperienza maturata coordina gli stakeholders interessati e così le parti coinvolte tra le quali istituzioni, imprese e cittadinanza nelle sue diverse rappresentazioni (associative e/o comitati).

nomici effettivi, sono tutte circostanze che pongono non pochi ostacoli allo sviluppo di pratiche di circolarità. Barriere non meno rilevanti sono l'aspetto di carente conoscenza tecnica di pratiche di simbiosi industriale e la difficoltà ad entrare in contatto con le altre imprese ed implementare accordi reciprocamente benefici, come affermato dal 57,8% [2] delle imprese che hanno compilato il questionario, nonostante vi sia sempre maggiore interesse manageriale riguardo alle nuove opportunità di business correlate e alla possibilità di creare un network per la formazione di attuali sinergie e partnership.

2.3 L'importanza della Facilitazione per l'implementazione di pratiche di SI

La letteratura in merito ha evidenziato come la creazione di un network risulti incentivante ed abilitante per lo sviluppo della simbiosi [3] e allo stesso tempo di come la mancanza di conoscenza di potenziali imprese – atte a ricevere o fornire scarti – siano un freno per l'implementazione di questa pratica [4].

Se quindi fattori tecnici, economici e normativi possono essere considerati requisiti minimi affinché le imprese partecipino alla simbiosi industriale, allo stesso tempo lo sono i fattori organizzativi e sociali, basati su principi di fiducia e cooperazione che risultano necessari all'avvio di un simile percorso, soprattutto tenendo in considerazione il profilo di innovatività richiesto dal settore [5]. Come affermato in alcune recenti pubblicazioni: "La simbiosi industriale è fondamentalmente un problema di collaborazione [6]": queste barriere comunicative e organizzative devono quindi essere superate per consentire la messa in atto di pratiche di economia circolare. Preso atto dello stato dell'arte delle SI nel territorio lombardo e dei risultati dell'indagine SIGMA risulta fondamentale la presenza di soggetti facilitatori, quali imprese, centri di ricerca, agenzia di consulenza, ma anche piattaforme o programmi con specifici obiettivi finalizzati a coinvolgere le imprese in simbiosi industriali. I facilitatori, soggetti terzi e privi di qualsiasi interesse contrapposto e/o concorrente, possono infatti essere meglio accolti e percepiti nel percorso interno di incentivo all'utilizzo di piattaforme o programmi finalizzati al coinvolgere le imprese nell'economia circolare[3]. Questa funzione professionale è particolarmente rilevante essendo considerata una funzione di consulenza al di fuori soprattutto delle dinamiche di pregiudizio, che possono risolvere i maggiori ostacoli al momento identificati a quello che si definisce il "dilemma dell'apertura"[7].I problemi e le criticità iniziali, e sulle quali il facilitatore dovrebbe lavorare, riguardano specificatamente la condivisione delle informazioni tra le stesse imprese: "Modern IS practice has progressively expanded beyond the tenets of physical material and energy transactions, emphasizing on cooperation through resource, information, and knowledge sharing" [8]. Lo sviluppo della rete e l'identificazione di sinergie tra risorse richiede che le aziende siano disposte innanzitutto a condividere informazioni ed i propri dati dettagliati sul tipo, qualità e quantità delle risorse necessarie. Tuttavia, tale condivisione pone delle preoccupazioni di riservatezza e competitività per le realtà imprenditoriali interpellate. Ed è tale aspetto che ha ulteriormente rinforzato l'idea di poter sostenere istituzionalmente una figura professionale, intermedia e neutrale, che si faccia custode delle informazioni e delle analisi per l'identificazione di potenziali opportunità sul territorio; il supporto di ottimi comunicatori capaci di costruire rapporti di fiducia volti alla coordinazione di azioni, creazione di nuove opportunità e prevenzione di criticità future [9]. Com'è affermato, da recenti pubblicazioni che hanno approfondito la tematica e gli sbocchi

[3] Un esempio di piattaforma a supporto del matching, tra domanda e offerta, delle imprese per l'avvio di percorsi di simbiosi industriale è offerta da ENEA, l' Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile: Symbiosis, https://sostenibilita.enea.it/infrastrutture/piattaforma-simbiosi-industriale; rispetto all'approccio di massimizzare il valore di scarti, sottoprodotti, materie seconde e avanzi di magazzino aziendali di particolare interesse è a creazione della piattaforma https://www.sfridoo.com/ rivolta per l'appunto all'incentivare annunci e contatti per la creazione di nuove circolarità di materiali;

delle future e continue relazioni industriali: "Openness among participating companies and continued coordination by a stakeholder group such as an advisory council is important both to establish and to maintain the momentum of a symbiosis" [10]. Risulta pertanto importante creare nelle aziende stesse una cultura della simbiosi industriale, basata su valori e aspettative future che assicurino che tutti operino sinergicamente per la realizzazione di un obiettivo comune [11].

2.4 Il ruolo del Facilitatore per l'implementazione di pratiche di SI

Forme di facilitazione esterna sono quindi necessarie per garantire un passaggio di conoscenze e informazioni in maniera affidabile e così stabilire relazioni di fiducia, e creare coordinamento tra interessi e bisogni degli attori coinvolti. Che sia identificato in figure di leadership, in istituzioni e autorità locali, o in attori privati [12], la presenza di una figura coordinatrice e mediatrice che guidi e indirizzi le collaborazioni viene ribadita come un fattore significativo. Dovendo i facilitatori collegare azioni locali, statali e aziendali [13] e istituire una complessa rete di partecipanti provenienti da settori diversi, la creazione di valore attraverso l'intermediazione diviene una sfida. Sono richieste competenze tecniche e sociali diversificate, in relazione ai diversi compiti che un facilitatore può assumere, come intermediare, stabilire, coltivare, regolare e modificare le connessioni tra diversi attori, supportare la promozione del networking e partnership e creare sinergie, garantire branding e legittimazione, nonché contribuire alla previsione e la pianificazione strategica e offrire consulenza tecnica [14]. Questi esempi mostrano l'ampio spettro delle potenziali attività degli intermediari, dando così spiegazione sia ai vari ruoli e compiti che un facilitatore può assumere sia all'eterogeneità delle organizzazioni che svolgono l'intermediazione, ma evidenziano anche il potenziale positivo di questa realtà. A tal proposito è anche l'Unione Europea che riconosce la necessità di una figura professionale quale quella del facilitatore per l'avvio di pratiche di simbiosi industriale: proprio per questo ha definito e divulgato percorsi educativi volti a formare tali figure professionali per lo più trasversali. Al di là di conoscenze tecnico scientifiche e capacità manageriali, fondamentale è il possesso di soft skills comunicative [15], che permettano al facilitatore di garantire un ambiente trasparente, neutrale ed inclusivo, in cui nutrire le relazioni tra stakeholder, costruire rapporti di fiducia e promuovere avvicinamento e cooperazione. Tra esse, la propensione alla socialità e al connettersi con le persone, mostrarsi come una persona di fiducia, ma anche essere flessibile, creativo e propositivo; queste sono tutte qualità necessarie per tale ruolo, così da poter creare un ambiente collaborativo e produttivo [16].

2.5 Casi pilota di facilitazione a supporto delle future SI

Le pratiche di facilitazione realizzate sino ad oggi nella cornice del servizio FacilitAmbiente hanno contribuito alla realizzazione di progettualità e pianificazioni complesse che hanno a che vedere con il tema dell'implementazione di pratiche di SI. Tra i recenti progetti di facilitazione ambientale vi è il caso riferito all'approvazione condivisa di un Piano di Miglioramento Ambientale e Industriale aziendale volto per l'appunto a designare la futura strategia di sviluppo aziendale di valore pluriennale: la complessità del progetto era dovuta soprattutto alle prima valutazioni territoriali del Piano da sottoporre infatti all'approvazione definitiva dell'Assemblea dei Comuni, soci aderenti alla realtà partecipata dedicata alla gestione dei rifiuti[4]. Il Piano Industriale, in sede di trattazione facilitata, ha fatto emergere tutti gli aspetti conflittuali (collettivi, sociali e ambientali) collegati al miglioramento del servizio pubblico, al tema della produzione di rifiuti e al minor impatto ambientale delle attività produttive in

[4] Le relazioni conclusive riguardo al caso di facilitazione Aral sono consultabili e pubblicate nella sezione https://www.facilitambiente.it/project/aral-piano-di-miglioramento-ambientale-e-industriale/.

generale. Grazie al coordinamento di facilitatori esperti selezionati dal servizio pubblico si sono avviati – in tempi e modalità dedicate – confronti tematici a partire dalla realtà interna aziendale, identificando innanzitutto limitati argomenti di interesse rispetto ai quali tutti i partecipanti, dipendenti dell'azienda pubblica, hanno potuto sviluppare idee progettuali finalizzate al cambiamento e coinvolgimento dei territori vicini direttamente coinvolti dalla presenza degli impianti e siti di gestione rifiuti. Successivamente il confronto si è rivolto ai Comuni aderenti tramite una serie di incontri territoriali dedicati ai relativi amministratori, con lo scopo di rendere il confronto il più partecipato possibile: in sede delle sessioni è stato esposto il Piano aziendale tramite l'utilizzo di un linguaggio il più possibile accessibile per raccogliere al contempo osservazioni e proposte di miglioramento da parte dei partecipanti e rendere dunque il Piano, ancora in fase di approvazione, il più possibile corrispondente ai bisogni del territorio. Nonostante la diversità di ogni punto di vista, il percorso di facilitazione realizzato ha permesso il raggiungimento di un obiettivo comune nonostante fossero diversi gli interlocutori coinvolti e sebbene ognuno partisse dalle proprie iniziali prospettive; le sessioni di confronto richiedevano una particolare esperienza in percorsi partecipati, vista l'elevata complessità tecnica e sociale. Quest'ultimo è solo uno degli esempi di successo che si sono realizzati grazie al supporto di un servizio/progetto di facilitazione esperta supportata dalla Camera di Commercio e Camera Arbitrale di Milano. Rispetto alle criticità emerse nell'indagine SIGMA il servizio di facilitazione adottato si prospetta come metodo e possibile soluzione. Considerando l'elevata complessità che caratterizza tale tipologia di percorsi, è d'obbligo ricordare come per il raggiungimento di obiettivi strategici non esistano formule matematiche che possano descrivere o individuare quale sia il modo migliore per realizzare l'innovazione nelle organizzazioni [17]. Il minimo comun denominatore rimane infatti il coinvolgimento sociale e lo sviluppo di una forma di intelligenza collettiva [18]. A tal proposito, riguardo al tema della facilitazione al cambiamento, recenti autori prospettano per esempio l'utilizzo di un approccio semplice che permetta di rendere più efficace il processo decisionale, ritenuto già di per sé molto complesso, affinché si possa creare una co-evoluzione organizzativa. Un esempio a riguardo è il cosiddetto "Pratik" [19], un processo decisionale elaborato tramite il supporto di una piattaforma multimediale suddivisa in sei dimensioni/obiettivi "Performance – Responsability – Approval – Trasfer – Idea – Know how". Ogni fase del processo decisionale è supportata da "Domande Guida" che altro non sono che una definizione di sintesi dei vari punti critici a cui ognuno, per competenze e ruolo, dovrà contribuire con feedback che favoriscano di fatto il raggiungimento di un'unica risposta che sarà utile a tutti i partecipanti al percorso. Seguendo le cosiddette "Domande Guida" [20] anche le simbiosi industriali potrebbero essere meglio incentivate ed avviate.

3. Conclusioni

La pratiche di facilitazione, metodi e approcci coordinati da facilitatori esperti, possono disciogliere la percezione di complessità intesa come impossibilità alla realizzazione di SI: lo scopo è, attivare le potenzialità umane disponibili per crearne di nuove, non solo sotto il profilo tecnico ma in termini di consapevole organizzazione. Infatti, le buone relazioni tra le diverse strutture/ambiti aziendali/lavorativi possono agevolare la creazione di reti dialogiche tra settori economici ed istituzionali. La facilitazione permette infatti la creazione di maggiori occasioni di dialogo partecipativo tra diversi soggetti e, tramite queste, essere condivise conoscenze e competenze tecniche che siano utili allo sviluppo di nuove occasioni di simbiosi. Coordinando i diversi interessi coinvolti ed implementando processioni decisionali co-partecipativi e inclusivi si agevola così la creazione di nuove opportunità economiche, che potranno essere maggiormente incentrate sulla circolarità. Le pratiche di facilitazione sono al momento un punto di forza e non un'ennesima complicazione alle nuove strategie produttive aventi un

comune obiettivo: quello di prevenire e risolvere l'impatto negativo delle produzioni sotto il profilo ambientale e sociale, al netto dell'equilibrio tra la domanda e l'offerta di risorse. Tutto questo va' di pari passo con l'esigenza di far percepire all'esterno anche delle attività economiche quali siano gli sforzi profusi da coloro che esercitino il vero cambiamento tramite innanzitutto un'organizzazione più sostenibile ed in tal modo orientare consapevolmente non solo chi se ne occupa, ma al contempo la scelta quotidiana di cittadini/consumatori/clienti/fornitori, innescano come già detto il vero cambiamento.

Bibliografia

[1] **Natalia Marzia Gusmerotti, Marco Frey, Fabio Iraldo** (2020). Management dell'economia circolare: Principi, drivers, modelli di business e misurazione. Editore FrancoAngeli.

[2] **Relazione finale ed esiti del progetto SIGMA** https://www.milomb.camcom.it/documents/10157/28017634/Mappatura-sulla-Simbiosi-Industriale.pdf/1928ec6f-598f-4d7a-8aec-8e6ed47e9385**.**

[3] **Relazione finale ed esiti del progetto SIGMA** https://www.milomb.camcom.it/documents/10157/28017634/Mappatura-sulla-Simbiosi-Industriale.pdf/1928ec6f-598f-4d7a-8aec-8e6ed47e9385**.**

[4] **Relazione finale ed esiti del progetto SIGMA** https://www.milomb.camcom.it/documents/10157/28017634/Mappatura-sulla-Simbiosi-Industriale.pdf/1928ec6f-598f-4d7a-8aec-8e6ed47e9385.

[5] **Park, J., Duque-Hernández, J., & Díaz-Posada, N.** (2018). Facilitating business collaborations for industrial symbiosis: The pilot experience of the sustainable industrial network program in Colombia. *Sustainability*, *10*(10), 3637.

[6] **Park, J., Duque-Hernández, J., & Díaz-Posada, N.** (2018). Facilitating business collaborations for industrial symbiosis: The pilot experience of the sustainable industrial network program in Colombia. *Sustainability*, *10*(10), 3637.

[7] **Patala, S., Salmi, A., & Bocken, N.** (2020). Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, *261*, 121093.

[8] **Yeo, Z., Masi, D., Low, J. S. C., Ng, Y. T** (2019). Tools for promoting industrial symbiosis: A systematic review. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(5), 1087-1108.

[9] **Patala, S., Salmi, A., & Bocken, N.** (2020). Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, *261*, 121093.

[10] **Chertow, M. R.** (2008), Industrial Symbiosis https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Industrial_symbiosis.

[11] **Dansk Symbiose Center** (2021). Guide for Industrial Symbiosis facilitators, https://symbiosecenter.dk/wp-content/uploads/2021/03/Guide-for-IS-facilitators_online.pdf

[12] **Park, J., Duque-Hernández, J., & Díaz-Posada, N.** (2018). Facilitating business collaborations for industrial symbiosis: The pilot experience of the sustainable industrial network program in Colombia. *Sustainability*, *10*(10), 3637.

[13] **Patala, S., Salmi, A., & Bocken, N.** (2020). Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, *261*, 121093.

[14] **Patala, S., Salmi, A., & Bocken, N.** (2020). Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, *261*, 121093.

[15] **Insight Projects**, Industrial Symbiosis Facilitator Key study based on current knowledge, skills and qualifications regarding IS, https://www.insight-erasmus.eu/download/industrial-symbiosis-facilitator-key-study-based-on-current-knowledge-skills-and-qualifications-regarding-is/.

[16] **Dansk Symbiose Center (2021)**. Guide for Industrial Symbiosis facilitators.

[17] **Causero, F., & Rinaldi, A.**, (2021). Facilitare il cambiamento, organizzazioni agili, persone coinvolte. Ayros Editore: Milano.

[18] **Causero, F., & Rinaldi, A**., (2021). Facilitare il cambiamento, organizzazioni agili, persone coinvolte. Ayros Editore: Milano.

[19] **Causero, F., & Rinaldi, A**., (2021). Facilitare il cambiamento, organizzazioni agili, persone coinvolte. Ayros Editore: Milano.
[20] **Causero, F., & Rinaldi, A.**, (2021). Facilitare il cambiamento, organizzazioni agili, persone coinvolte. Ayros Editore: Milano.

Approcci e strumenti per l'analisi e la modellizzazione di scenari circolari nelle filiere locali: il Progetto "MAX-SHEEP"

Raffaella Taddeo[1] r.taddeo@unich.it, Enrico Vagnoni[2], Rosa Di Capua[3], Veronica Casolani[1], Alberto Simboli[1], Andrea Raggi[1], Valentino Tascione[1], Alessandra Piga[2], Sara Bortolu[2], Bruno Notarnicola[3], Pietro Alexander Renzulli[3]

[1]Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, Pescara

[2] Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia, Sassari

[3] Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Taranto

Riassunto

Il processo di transizione verso un modello economico circolare e sostenibile (c.d. Economia Circolare), richiede un enorme impegno da parte di tutti gli attori coinvolti, sul fronte tecnologico, sociale e politico. Sebbene tale paradigma si stia affermando a livello globale, le azioni che lo caratterizzano hanno, spesso, una portata ed una ricaduta a livello locale. Per far sì che tale processo di transizione avvenga in un modo equilibrato e misurabile è necessario identificare sin da subito approcci e strumenti utili a definire modelli per l'implementazione delle potenziali soluzioni nei vari contesti, che possono differire a livello geografico, socio-economico, tecnologico, merceologico. Il presente articolo, attraverso la descrizione del progetto di ricerca MAX-SHEEP, presenta e discute i risultati di una ricognizione e sistematizzazione dei principali strumenti potenzialmente in grado di supportare in modo integrato lo sviluppo delle varie fasi di un modello eco-industriale di filiera ovina.

Summary

The transition process towards a circular and sustainable economic model (s.c. Circular Economy), requires a huge commitment from all the actors involved, on the technological, social and political side. Although this paradigm is being established at the global level, the actions that characterize it often have a local scale and impact. To ensure that this transition process takes place in a balanced and measurable way, it is necessary to identify immediately useful approaches and tools to define models for the implementation of potential solutions in different contexts, which may differ from a geographic, socio-economic, technological and product-related point of view. This article, through the description of the MAX-SHEEP research project, presents and discusses the results of an overview and systematization of the main tools potentially supporting the development of the different phases of an eco-industrial model of sheep supply chain.

1. Introduzione

Il concetto di Economia Circolare ha, negli ultimi anni, guadagnato un'attenzione sempre più crescente nel dibattito internazionale. Il nuovo paradigma che ne deriva viene, infatti, considerato come la risposta necessaria alla fragilità e insostenibilità dei sistemi economici attuali. Affinché si possa procedere ad un reale cambiamento dei sistemi economici, abbandonando la logica lineare del *"take-make-dispose"* a favore di quella circolare, è necessario

avviare un processo di trasformazione radicale che interessi diversi livelli di analisi; obiettivo ultimo è riuscire a mantenere il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse il più a lungo possibile nei cicli economici che li hanno generati ed utilizzati. La transizione verso modelli di produzione e consumo circolari presuppone, inoltre, l'attivazione di percorsi di innovazione che riguardano tutti gli attori del mondo economico. In questi termini, l'Economia Circolare può essere considerata una strategia ed un'occasione di sviluppo per filiere e sistemi territoriali locali, in quanto capace di proporre e favorire nuovi – o rinnovati – percorsi di crescita sostenibile.
Le scelte di cambiamento dovranno essere supportate da approcci e strumenti che consentano di analizzare contesti, modellizzare e simulare soluzioni closed-loop/scenari circolari a vari livelli di scala, come prodotti, processi, filiere, sistemi locali [1-2]. Sebbene l'Economia Circolare si stia ormai affermando come un nuovo paradigma economico, le strategie finora implementate hanno riguardato, prevalentemente, aspetti tecnici ed ambientali a livello di processi e di prodotti. Approcci e strumenti olistici, che considerano aspetti più ampi, nonché prospettive a livello di sistema, sono stati relativamente trascurati.
In un'ottica sistemica, la letteratura e le evidenze empiriche mettono in luce alcuni importanti gap nel perseguire tale obiettivo, principalmente riferibili a: i) conoscenza e rappresentazione delle caratteristiche tecnologiche, strutturali e organizzative dei contesti interessati; ii) identificazione degli approcci, strumenti e soluzioni circolari più adatte a tali contesti; iii) simulazione degli effetti sul contesto; iv) scelta delle metriche e degli indicatori – e.g. di circolarità, sostenibilità – da utilizzare a supporto delle decisioni di cambiamento [3].
Il presente articolo presenta i risultati di una ricerca preliminare svolta nell'ambito del progetto di ricerca MAX-SHEEP – *Modelling and assessment of circular scenarios in local contexts. Applications in the sheep supply chain* – che, ispirandosi al paradigma biologico, tipico dell'Ecologia Industriale [4], mira a sviluppare un modello dinamico in grado di supportare l'implementazione di soluzioni circolari in filiere ovine locali. In particolare, verranno discussi i risultati di una ricognizione e sistematizzazione dei principali strumenti potenzialmente in grado di supportare, in modo integrato, lo sviluppo delle varie fasi del modello in questione.

2. Relazione
Dal punto di vista metodologico, il progetto di ricerca MAX-SHEEP utilizza approcci e strumenti di analisi tipici dell'Ecologia Industriale. I contesti locali di riferimento sono sistemi economico-produttivi, nello specifico filiere, i cui attori e processi vengono rappresentati secondo una logica "metabolica", cioè nell'insieme di flussi e stock materico-energetici che li caratterizzano. L'obiettivo è di sviluppare un modello dinamico che consenta di rappresentare tali contesti in una prospettiva eco-industriale e di valutare le potenzialità e gli eventuali impatti sulla sostenibilità (ambientale, economica e sociale), anche esterna, cioè a livello territoriale, di soluzioni circolari implementate nel sistema lineare di partenza.
Il progetto si articola in cinque step: i) analisi della filiera lineare; ii) identificazione delle soluzioni circolari; iii) modellizzazione; iv) misurazione; v) simulazione, il cui sviluppo richiede necessariamente il supporto di strumenti di analisi di varia natura, sia tipicamente utilizzati negli studi di Ecologia Industriale, che mutuati da altri ambiti di ricerca, con funzionalità multiple ed ambiti di operatività spesso sovrapponibili. Oltre ad una ricognizione delle applicazioni esistenti, il progetto mira a valutare le possibilità d'uso sinergico finalizzato alla rappresentazione dinamica di scenari a supporto di decisioni di cambiamento in una prospettiva di circolarità.
I principali tool identificati in questa fase di studio, sono relativi ad approcci e strumenti per la mappatura e la rappresentazione di sistemi (e.g., Flow chart); analisi dei flussi di materiali (e.g., Material Flow Analysis); metodi di supporto alla rappresentazione spaziale di relazioni (e.g., Social Network Analysis); strumenti per la simulazione di scenari circolari (e.g., System Dynamics

Modelling); e approcci basati sul ciclo di vita utilizzati per valutare l'impatto ambientale, sociale ed economico di prodotti, processi e organizzazioni (e.g., Life Cycle Assessment).
La ricerca è stata condotta utilizzando un set di parole chiave in grado di combinare la funzione dello strumento con la desinenza *software* (ad esempio, 'software' AND 'material flow analysis'). La ricognizione ha restituito oltre 200 risultati, di cui 172 sono stati i tool complessivamente analizzati, a seguito di una fase di affinamento volta ad escludere duplicazioni e risultati non pertinenti. Questi sono stati raggruppati in 11 tipologie, suddivise in 4 principali ambiti di applicazione, come descritti in Tabella 1.

Ambiti di applicazione	**Strumenti**	**Descrizione**	**Fonte**
Analisi e rappresentazione di sistemi economico-produttivi	Flow chart	*Rappresentazione grafica usata per documentare una sequenza di operazioni. Comunica l'ordine temporale degli eventi o delle azioni.*	[5]
	Sankey Diagram	*Fornisce una rappresentazione dei flussi di materiale tra i processi, facendo una distinzione tra le diverse fonti e i loro diversi usi/applicazioni.*	[6]
	MFA	*Quantifica il modo in cui i materiali che alimentato la società moderna vengono usati, riutilizzati e sprecati.*	[7]
	SI	*Descrive gli scambi fisici di materiali, energia, acqua e sottoprodotti/rifiuti tra aziende e/o settori produttivi attraverso un approccio integrato finalizzato all'ottenimento di vantaggi competitivi reciproci.*	[8]
Analisi e rappresentazione spaziale di network	GIS	*Facilita la gestione, la manipolazione, l'analisi, la modellizzazione, la rappresentazione e la visualizzazione di dati georeferenziati per risolvere problemi complessi di pianificazione e gestione delle risorse attraverso un sistema di hardware, software e procedure.*	[9]
	SNA	*Mappa e misura le relazioni tra unità interagenti (come le organizzazioni).*	[10]
Elaborazione di scenari	ABM	*Studia lo sviluppo di modelli dinamici. Rappresenta un modo per descrivere un sistema di elementi comportamentali. Consente di aggiungere nuovi agenti e di modificare il comportamento, l'apprendimento, l'evoluzione e la complessità alterando le regole di interazione.*	[11]
	SDM	*Rappresenta la struttura dei sistemi complessi attraverso cicli di feedback, materiali e informativi, formati da stock, flussi e variabili ausiliarie per esplorare le cause e le conseguenze delle tendenze dinamiche che destano preoccupazione e di progettare politiche per migliorare le prestazioni dei sistemi.*	[12]
	Simulazione di scenari	*Valuta l'incertezza di sviluppi futuri sulla base delle condizioni attuali.*	[13]

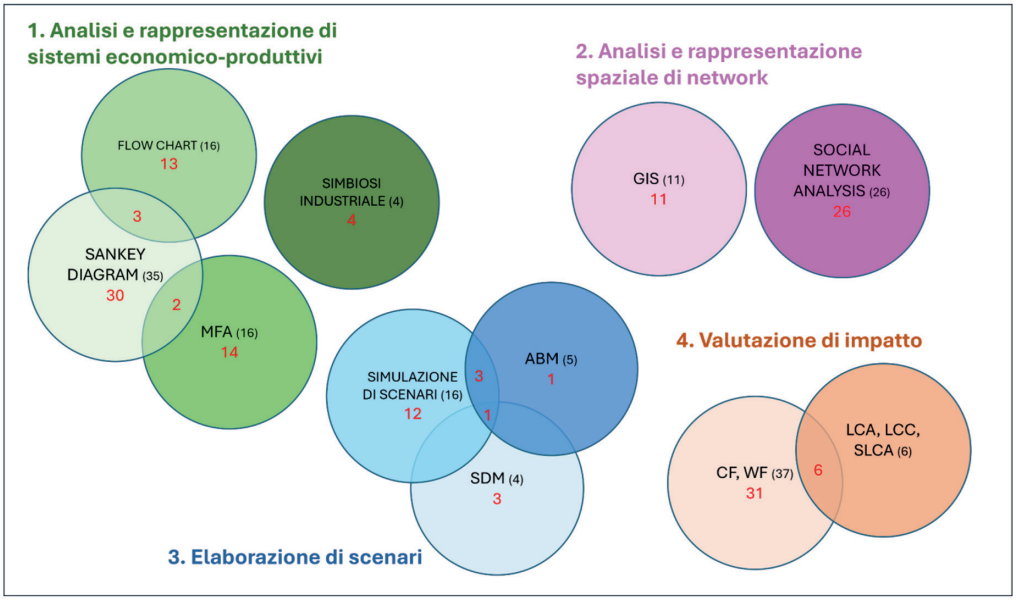
Segue

Ambiti di applicazione	Strumenti	Descrizione	Fonte
Valutazione di impatto	CF, WF	*Misurano, rispettivamente, l'emissione di gas che contribuiscono al riscaldamento globale e il consumo e la contaminazione delle risorse di acqua dolce.*	[14]
	LCA, SLCA, LCC	*LCA: valuta i potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto lungo il suo ciclo di vita. S-LCA: valuta gli aspetti sociali e socio-economici dei prodotti e i loro impatti positivi e negativi lungo il loro ciclo di vita. LCC: identifica gli hotspot economici per ridurre potenzialmente i costi del ciclo di vita del prodotto.*	[15];[16]; [17]

LEGENDA: MFA: Material Flow Analysis; SI: Simbiosi Industriale; GIS: Geographic Information System; SNA: Social Network Analysis; ABM: Agent-Based Modelling; SDM: System Dynamic Modelling; CF: Carbon Footprint; WF: Water Footprint; LCA: LIfe Cycle Assessment, LCC: Life Cycle Costing, SLCA: Social Life Cycle Assessment.

Tab. 1 – *Gli strumenti identificati per il supporto alle fasi di progetto.*

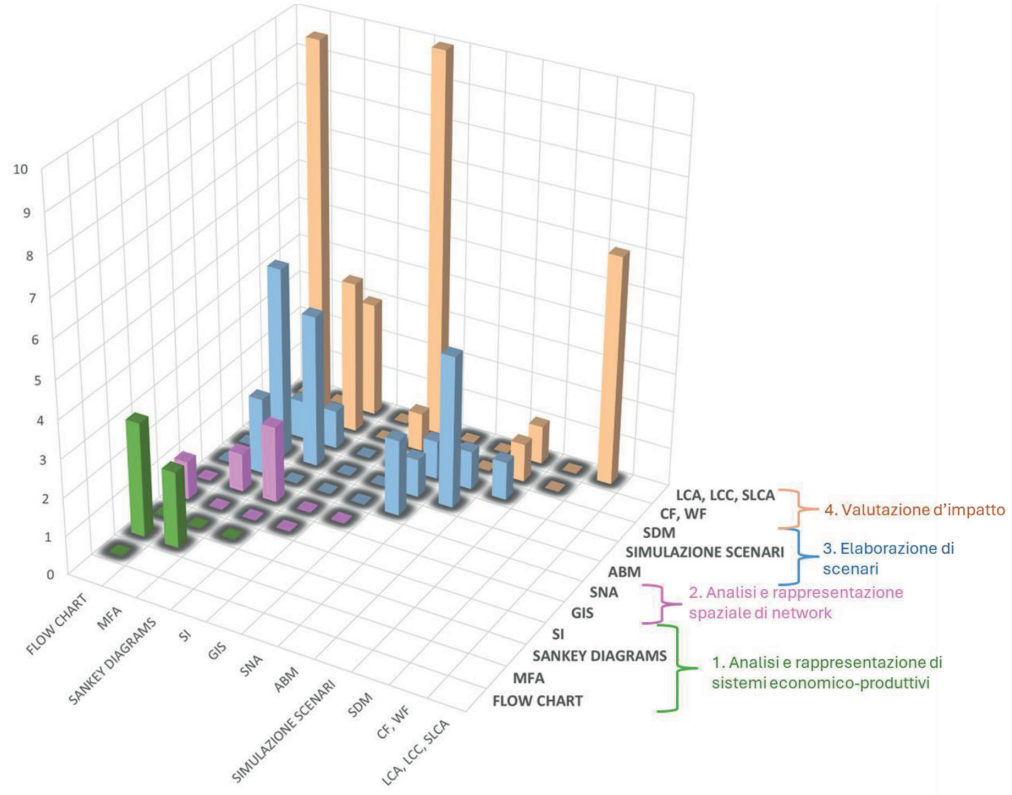
Alcuni di questi tools sono stati sviluppati con una funzionalità univoca (e.g., GIS e Social Network Analysis), mentre altri, sebbene nascano per una finalità ben precisa, consentono di integrare diverse funzioni, come rappresentato in Figura 1. Pertanto, dal punto di vista dell'analisi sistemica, la flessibilità di alcuni di questi strumenti consente di utilizzare un unico tool nella stessa fase, con vantaggi sia economici (e.g., software con licenza a pagamento), che temporali (e.g., utilizzo di un unico database, duplicazioni nei calcoli, etc.), nonché nella formazione dei destinatari e degli utilizzatori.



LEGENDA: Tra parentesi è indicato il numero totale dei tool relativi alla categoria; in rosso il numero dei tool che svolgono solo una determinata funzione o più funzioni in comune con altri.

Fig. 1 – *Numero strumenti identificati a supporto dei quattro ambiti di operatività identificati nel progetto: 1. Analisi e rappresentazione di sistemi economico-produttivi; 2. Analisi e rappresentazione spaziale di network; 3. Elaborazione di scenari; 4. Valutazione d'impatto.*

Inoltre, alcuni strumenti permettono di inserirsi in più ambiti, portando il discorso relativo all'integrazione ad un livello più alto e articolato. Nella Figura 2 si evince come, ad esempio, alcuni tool permettono di sviluppare dei Sankey Diagram ma anche analisi di network, o simulazione di scenari o valutazioni di impatto. Infine, dall'analisi emerge come alcuni strumenti sono utili in tre dei quattro ambiti di applicazione, mentre nessuno strumento è trasversale a tutti. La possibilità di utilizzare un solo tool/software potrebbe semplificare maggiormente lo sviluppo del modello.



LEGENDA: MFA: Material Flow Analysis; SI: Simbiosi Industriale; GIS: Geographic Information System; SNA: Social Network Analysis; ABM: Agent-Based Modelling; SDM: System Dynamic Modelling; CF: Carbon Footprint; WF: Water Footprint; LCA: LIfe Cycle Assessment, LCC: Life Cycle Costing, SLCA: Social Life Cycle Assessment.

Fig. 2 – *La multifunzionalità dei tool per il supporto integrato nei quattro ambiti di applicazione.*

3. Conclusioni

La ricognizione effettuata dimostra come, allo stato attuale, esistono numerosi strumenti, anche mutuati da altre discipline, in grado di analizzare aspetti differenti di un determinato sistema, riconducibili agli ambiti di studio dell'Economia Circolare e in grado di mettere in luce aspetti di sostenibilità relativi a prodotti, processi e, più in generale, a sistemi economico-produttivi.

Dall'analisi condotta emergono diversi elementi di interesse che aprono ad ulteriori investigazioni. Ad esempio, alcuni strumenti, creati per scopi diversi, mostrano aree di sovrapposizione funzionale con altri (e.g., alcuni tools di analisi e rappresentazione dei sistemi produttivi che possono essere utilizzati anche per la simulazione degli scenari); ciò evidenzia le potenzialità

in un'ottica di estensione ed integrazione delle applicazioni, anche se queste possono, d'altro canto, lasciare spazio a duplicazioni delle analisi.
La necessità di utilizzare ed implementare strumenti dinamici che elaborano scenari mutevoli nel tempo e nello spazio, come quelli circolari, è un'altra questione di grande importanza. Di conseguenza, data la complessità dei contesti e le caratteristiche degli strumenti rilevati, è necessario che i modelli e gli strumenti considerino anche le variabili esogene. Tali aspetti, insieme alle potenzialità d'uso integrato, rappresentano uno dei principali ambiti di approfondimento che riguarderanno le prossime fasi del progetto.

Bibliografia

[1] Taddeo R., "Industrial Ecology and Innovation: At What Point Are We?", *Editorial for the Special Issue "Industrial Ecology and Innovation"*, *Administrative Science*s, 2021, 11:93.
[2] Walker A. M., Vermeulen W. J., Simboli A., Raggi A., "Sustainability assessment in circular inter-firm networks: An integrated framework of industrial ecology and circular supply chain management approaches", *Journal of Cleaner Production*. 2021, 286: 125457.
[3] Ritzéna S., Sandström Ö. G., "Barriers to the Circular Economy – integration of perspectives and domains", Procedia CIRP. 2017, 64: 7-12.
[4] Lowe E. A., Evans L. K., "Industrial ecology and industrial ecosystems", *Journal of Cleaner Production*. 1995, 3(1-2), 47-53.
[5] Ned Chapin. 2003. "Flowchart". Encyclopedia of Computer Science. John Wiley and Sons Ltd., GBR. 2003, 714–716.
[6] Marques A., Jorge C., Annelies D. M., Kranti N., "Contribution Towards a Comprehensive Methodology for Wood-Based Biomass Material Flow Analysis in a Circular Economy Setting", *Forests*, 2020, 11, 1:106.
[7] Graedel T. E., "Material flow analysis from origin to evolution", *Environmental science & technology*, 2019, 53(21), 12188-12196.
[8] Chertow M.R, "Industrial symbiosis: literature and taxonomy", A*nnual Review of Energy and the Environment.* 2000, 25, 313-337.
[9] Escobar F., Hunter G., Bishop I., Zerger A., "Introduction to GIS. Department of Geomatics", The University of Melbourne, 2008. Available online at: https://geogra.uah.es/patxi/gisweb/GISModule/GISTheory.pdf (Accessed 30 August 2024).
[10] Taddeo R., Simboli A., Di Vincenzo F., Ioppolo G., "A bibliometric and network analysis of Lean and Clean(er) production research (1990/2017)", *Science of the Total Environment*. 2019, 653, 765-775.
[11] Zehra A., Urooj A., "A Bibliometric Analysis of the Developments and Research Frontiers of Agent-Based Modelling in Economics", *Economies*. 2022, 10171.
[12] Forrester J.W., "Learning through system dynamics as preparation for the 21st century", *System Dynamic Review*. 2016, 32, 187–203.
[13] Wang R., Murayama Y., Morimoto T., "Scenario simulation studies of urban development using remote sensing and GIS", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2021, 22, 100474.
[14] Ercin E., Hoekstra A. Y., "Carbon and water footprints: Concepts, methodologies and policy responses", United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2012.
[15] ISO, 2006. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. EN ISO 14040:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
[16] Petti L., Serreli M., Di Cesare S., "Systematic literature review in social life cycle assessment", *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018, 23, 422–431.
[17] Hunkeler D., Lichtenvort K., Rebitzer G., "Environmental life cycle costing", 2008, Crc press.

From textile waste to resource: exploring Industrial symbiosis opportunities between the textile and the furniture sectors

Rosa Maria Dangelico (rosamaria.dangelico@poliba.it), Roberta Pellegrino (roberta.pellegrino@poliba.it), Vito Albino (vito.albino@poliba.it), Lorenzo Ardito (lorenzo.ardito@poliba.it), Umberto Panniello (umberto.panniello@poliba.it), Ilaria Giannoccaro (Ilaria.giannoccaro@poliba.it), Pierpaolo Pontrandolfo (pierpaolo.pontrandolfo@poliba.it), Francesco Martellotta (francesco.martellotta@poliba.it), Chiara Rubino (Chiara.rubino@poliba.it), Stefania Liuzzi (Stefania.liuzzi@poliba.it), Stefano Franco (stefano.franco@poliba.it), Giovanni Miccolis (giovanni.miccolis@poliba.it) – Politecnico di Bari (POLIBA) Giovanni Perrone (giovanni.perrone@unipa.it), Paolo Roma (paolo.roma@unipa.it), Alessia Busacca (alessia.busacca@community.unipa.it) -, Università di Palermo (UNIPA) Silvia Barbero (silvia.barbero@polito.it), Eliana Ferrulli (eliana.ferrulli@polito.it) – Politecnico di Torino (POLITO) Giuseppe Musci (gimusci@natuzzi.com), Natale Quartato (nquarato@natuzzi.com) – Natuzzi SpA

Summary

This project concerns industrial symbiosis (IS) models aimed at turning textile waste into resources for the furniture sector. A clear understanding of the IS opportunities and challenges coming from the use of textile waste as resources for furniture products is surprisingly lacking in the current literature and the application of IS practices between the textile and the furniture industries is far from being widely adopted. To address this issue, the identification of IS opportunities and effective models as well as the design of suitable business models, is required. Furthermore, a successful adoption of industrial symbiosis practices requires overcoming strategic barriers from the supply and demand sides. A relevant problem from the supply side is to define risk mitigation strategies for risks associated to these models. From the demand side, how consumers value the industrial symbiosis practice and its purchase intention and willingness to pay for products deriving from industrial symbiosis are critical. Addressing the above-mentioned issues will support circular transition. In particular, the project focuses on two promising opportunities, i.e. sound-absorbing furniture products and upholstery products.

This project has been developed within the MICS (Made in Italy – Circular and Sustainable), funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), by the Italian Ministry of University and Research and the European Union – NextGenerationEU.

Riassunto

La produzione di rifiuti tessili pre e post-consumo e il loro smaltimento rappresentano un problema ambientale destinato a diventare sempre più rilevante.

La Simbiosi Industriale (SI) è una delle strategie di maggior impatto per supportare la transizione verso l'economia circolare, riducendo il consumo di risorse e lo smaltimento di rifiuti.

Le pratiche di SI possono essere utili per ridurre il problema dei rifiuti tessili pre-consumo, poiché

questi rifiuti possono diventare un input di produzione per lo stesso o per altri settori. In letteratura scientifica manca una chiara comprensione delle opportunità e delle sfide derivanti dall'uso dei rifiuti tessili come input di produzione da impiegare nella realizzazione di prodotti di arredo. Nello specifico, in questo progetto, partendo da un'analisi olistica del territorio del distretto del mobile imbottito della Murgia, sono sviluppate mappe delle relazioni simbiotiche con il distretto e mappe che modellano i processi aziendali per la produzione di un divano con relativi rifiuti. Inoltre, il progetto sviluppa modelli analitici e di simulazione di reti di processi produttivi in grado di scambiare rifiuti utili come input e analizza i diversi modelli di business a supporto della SI, evidenziandone obiettivi, benefici e criticità e formulando linee guida manageriali per la scelta del modello più appropriato. Il progetto identifica anche i principali rischi che possono minare l'efficacia dei modelli di SI definendo opportune strategie di mitigazione degli stessi e investiga il modo in cui i consumatori valutano la pratica della SI, in termini di percezioni circa la qualità dei prodotti derivanti dalla SI, intenzione di acquisto e disponibilità a pagare un sovraprezzo per questi prodotti. Infine, il progetto prevede lo sviluppo di prototipi prodotti di arredamento con proprietà fonoassorbenti realizzati a partire da scarti tessili. Attraverso la valorizzazione del rifiuto tessile, i risultati di questo progetto contribuiscono ad una transizione verso un'economia circolare in settori strategici del Made in Italy.
Il progetto è sviluppato nell'ambito del Progetto MICS (Made in Italy – Circolare e Sostenibile), finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), dal Ministero dell'Università e della Ricerca e dall'Unione Europea – NextGenerationEU.

1. Introduction

Italy is the main producer in the furniture industry in the European Union [1] and the largest contributor to the textile and clothing industry in the EU [2]. Global textile production has almost doubled from 58 million tonnes in 2000 to 109 million tonnes in 2020 and this number is expected to grow to 145 million tonnes by 2030 [3]. Consequently, the production of pre– and post-consumer textile waste and its disposal represents an environmental problem that is expected to become more and more relevant. Incineration and landfills, both inside and outside Europe, are the primary end destination of textile waste [4].

Industrial symbiosis (IS) is one of the most impactful strategies to support the transition towards the circular economy, reducing resource consumption and waste disposal [5]. IS takes place when one company replaces – totally or partially – its production inputs with production wastes that have been generated by other companies [6].

IS practices can be helpful to reduce the pre-consumer textile waste problem, as this waste may become a production input for the same or for other industries. Thus, it would be interesting to identify IS practices or opportunities involving the textile industry.

A clear understanding of the IS opportunities and challenges coming from the use of textile waste as resources for furniture products is surprisingly lacking in the current literature and the application of IS practices between the textile and the furniture industries is far from being widely adopted. To address this issue, the identification of IS opportunities and effective models as well as the design of suitable business models, is required. Furthermore, a successful adoption of IS practices requires overcoming strategic barriers from the supply and demand sides. A relevant problem from the supply side is to define risk mitigation strategies for risks associated to these models. From the demand side, how consumers value the IS practice and its purchase intention and willingness to pay for products deriving from IS are critical. Addressing the above-mentioned issues will support circular transition.

In particular, the research project "From textile waste to resource: exploring IS opportunities between the textile and the furniture sectors", developed within the MICS (Made in Italy – Circular and Sustainable), funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), by the Italian Ministry of University and Research and the European Union – NextGenera-

tionEU, addresses these issues focusing on two promising opportunities, i.e. sound-absorbing furniture products and upholstery products.

2. Project partner, research design, and methodologies

2.1 Project partners
The project involves the following partners: three Italian universities (Polytechnic University of Bari, University of Palermo, and Polytechnic University of Turin) and one leader company in the upholstered furniture sector (Natuzzi S.p.A.).

2.2 Project structure
The project is structured in six macro-tasks:
T1. Tools to identify effective IS processes
T2. Opportunities for sound-absorbing furniture products
T3. Visual tools for identifying opportunities for upholstery products
T4. Innovative IS business models
T5. Supply-side barriers to IS
T6. Demand-side barriers to IS
Each macro-task is characterized by specific research objectives and methodologies.

2.3 Objectives
The objectives are as follows:
T1:
❖ Development of analytical and simulation models of representative networks of production processes able to exchange waste for primary and intermediate inputs.
❖ Development of waste (energy and materials) inventory stocks model to evaluate the degree of effectiveness of IS for each network and sector.
❖ Identification of good practices to manage the related inventory stocks.

T2:
❖ Proof of concept and prototype of sound-absorbing materials and furniture elements using textile waste.
❖ Design of symbiotic supply chains of sound-absorbing furniture from textile waste characterized by geographical proximity among firms.
❖ LCA analysis of the environmental impact of the sound-absorbing furnishings from textile waste.

T3:
❖ Identification of new IS processes in a given territory, starting from the waste of the textile chain as a raw material for other industrial sectors (including upholstery).

T4:
❖ Design of guidelines for the implementation of business models that allow companies to take the highest advantage from the opportunities offered by IS.

T5:
❖ Advancing the understanding of risks related to IS models.
❖ Proposing a risk management framework for IS.
❖ Developing managerial guidelines for mitigating risks related to IS models.

T6:

- ❖ Advancing knowledge on how consumers value furniture from IS.
- ❖ Developing policy guidelines to improve consumers' awareness on sustainable products from IS.
- ❖ Developing managerial guidelines for the marketing of products from IS.

2.4 Methodologies

For each macro-task, the first research step involved an in-depth literature review with the aim to identify the state of the art and the key issues to address on the following main topics: IS in the Made in Italy industries; the use of textile waste as secondary raw materials for products with good acoustic performance; main business models that adopt sustainable principles, highlighting the economic, social, and environmental benefits resulting from the implementation of IS; main risks associated to CE and related mitigation strategies, with stakeholders engaged in the risk treatment; consumer behavior in the furniture industry.
Once key issues specific to each macro-task have been identified, several different methodologies have been employed to address macro-task related objectives, detailed as follows:

T1. Case studies and analytical models using queueing modelling: the relevant case studies regarding IS in companies related to Made in Italy industries have been identified using scientific literature and technical reports. The analysis of these case studies has been performed through the documents available on their website. The case studies have been considered because of the heterogeneity of the literature regarding these industries, and of the need to jointly examine the technical, organizational, and legal aspects of the IS initiatives. The development of analytical models has been approached using queueing modelling to represent the flow of waste from producers to users. This approach is effective to understand the role of inventory and the coordination of flows among producers and users of waste.
T2: Through interactions with two important furniture companies specialized in designing sofas/armchairs, an armchair prototype which uses textile waste as raw materials for producing panels that replaced conventional upholstery has been designed. Then, the sound absorption ability of the new armchairs is measured and their acoustic performance is evaluated through comparison with the product already on the market. The idea is to offer "sustainable" and "circular" products that might also be supported by an extensive technical characterization and acoustical certification. Furthermore, the LCA will be carried out to evaluate the environmental impacts of the production process. In this sense, the transport could play an important role because all industrial clusters able to form batting from fabrics are currently located only in the north part of Italy.

T3. The Systemic Design (SD) methodology has been used. It involves a triangulation of quantitative and qualitative data from both desk and field research, performing a holistic analysis of the territory and productive flows, and visualizing the results through "gigamaps". The formalized steps of the SD methodology, as detailed by [7], include:
1. Holistic Diagnosis: A systemic analysis that scopes the action context at multiple levels, integrating contextual data with company's data.
2. Challenges and Opportunities Identification: Pinpoints issues and prospects for the company and the territory.
3. Local Opportunities Selection: The best opportunities that enhance territorial assets are chosen.
4. Systemic Maps: Combine different stakeholders and productive chains with an input-output logic.
5. Roadmap and Qualitative Assessment: Short, medium, and long-term actions are outlined, and the social, economic, and environmental impacts are assessed.

T4. Case studies, as concrete examples of implementation of IS and related business models have been analyzed, including those of districts such as Kalundborg; Kwinana, which is an example of successful industrial collaboration in Australia; Dunkerque, a French case; and companies such as ArcelorMittal. From these cases some synergies among companies are analyzed with the aim of identifying strategic objectives, critical issues, and benefits deriving from the collaboration and the business model used.

T5. Starting from the literature analysis, the risk management framework that analyzes and captures the complex interdependencies among CE practices, risks related to CE adoption and risk mitigation strategies, is being developed. The Interpretive Structural Modeling (ISM) approach to construct hierarchical network of relationships through experts' opinions is being used. In particular, two case studies of firms operating in the furniture sector are considered to show how to use qualitative inputs from real cases to construct a causal network between CE practices, risks related to CE adoption and risk mitigation strategies. Then, a quantitative analysis of the impact of risks deriving from CE practices in the Italian furniture sector has been performed through the Bayesian Network.

T6. In order to investigate consumers' perception and behavioral intentions toward a sofa deriving from IS practices between the textile and the furniture industries, a questionnaire with closed-ended questions based on Likert scales was developed. This questionnaire was used to collect primary data through an online survey conducted among Italian consumers. Instant messaging clients and social networks were used to distribute the questionnaire, as common in consumer behavior research.

3. Results

T1. The first macro-task identified the industries related to the so-called Made in Italy, namely Furniture, Textile and Clothing, Agrifood, Automotive/Automation.
Extant studies on IS in the Made in Italy industries were analyzed based on industries (belonging or not belonging to Made in Italy) from where the waste is produced and the industry (belonging or not to Made in Italy) where the primary input is substituted with the waste, making a distinction by type of waste. Finally, 16 relevant case studies have been identified and analyzed. Regarding the analytical models, the IS has been represented using queueing models in the condition of maximum level of uncertainty. This choice has permitted us to adopt well-established models available in the literature as well as to easily evaluate performance. The optimal location and size of the inventory have been identified for a simple network of IS. For complex networks, at present, only performance measures can be evaluated.

T2. In light of the growing interest in ensuring acoustic comfort and in light of the scientific literature and market analysis carried out during the first step of the research project, which outlined the importance of reusing textile waste to ensure environmental protection, IS actions aimed at creating synergistic relationships between the Apparel & Textile industry and the Furniture and Furnishing sector have been considered. In particular, the implementation of IS action is being mostly aimed at creating sofas/armchairs with acoustic vocation. The search for new materials and innovative shapes could offer the possibility of designing seating solutions able to ensure acoustic privacy of microenvironment appropriately integrated in open spaces where the seat can contribute to control the noise reverberation.
In the designed armchair prototype, the textile waste is used as raw material for producing panels that replaced conventional upholstery. The panels were obtained following the air-laying industrial process: the textile waste (previously converted in batting) was mixed with bicomponent fibers which acted as binder. Due to ergonomic reasons, it seems unlikely that such materials might be used to replace the load-bearing parts that, to offer maximum comfort, are made using polyurethane foams.

T*3. IS o*pportunities have been identified through design-driven approaches. Gigamaps are instrumental to this scope, functioning as comprehensive visualization tools for synthesizing complex information. They facilitate critical reflection among stakeholders by transforming extensive data into accessible diagrams, schemas, and scenarios, fostering a shared understanding and dialogue.
A preliminary desk analysis of the Murgia District led to the initial draft of gigamaps, which were refined through field visits to Natuzzi's headquarters and iterative feedback with production managers. Additionally, a stakeholder map was created to ensure the feasibility and continuity of designed solutions. Finally, five gigamaps were developed:
G1. Holistic Diagnosis of the Upholstered Furniture District in the Murgia region
G2. Holistic Diagnosis of Natuzzi
G3. Challenges and Opportunities for Both the Context and Company
G4. Stakeholders Matrix
G5. Symbiotic Connections among Different Local Productive Chains
These gigamaps collectively provide a detailed and accessible visualization of the project's findings, supporting collaboration and strategic planning among academic and industrial partners. To better appreciate the gigamaps in their full size, all the images used are available at the following link: *https://www.dropbox.com/scl/fo/8anbgrb6lp161odri2dji/AHpXenHH-FocVEaHDfXiX59A?rlkey=abu53mm242kk9uv7pjszl7hah&st=veir8wf3&dl=0*

T4. Through the literature review, five business models associated with IS have been identified, two for companies that produce waste and three for those that use it, which will be used to build the guidelines for companies.
The criteria for choosing the different business models were then outlined, based on the objectives, benefits, and critical issues identified by the analysis of the real case studies above. We developed score evaluation scales that allow assigning a numerical value to each criterion, ranging from 0 to 4, reflecting a clear and gradual framework to evaluate the available options, where the extremes represent, in the case of a waste producing company, 0 = external exchange; 4 = internal exchange, while in the case of a waste-using company with a solid core business, 0 = input substitution; 4 = generations of co-products.
The analysis allowed us to formulate guidelines capable of providing a clear and practical framework for companies wishing to approach IS, highlighting when and why each business model can be advantageous.

T5. Through a literature review, a list of factors related to CE practices, risks and mitigation strategies has been identified.
Following the ISM procedure, the ISM digraph showing the key relationships between CE practices, risks and strategies has been obtained.
Then, the MICMAC analysis was performed, in order to identify the key variables, grouped in four categories, i.e., autonomous, dependent, linkage and independent (driver). Based on the ISM digraph and MICMAC matrix, it is possible to see that *Technological tools and digitalization* represents the **key strategy** driving CE application and implementation and mitigating operational risks. *Difficulty in the selection of Experts who provide Circular Services* and *Poor-Relationships between Supply Chain Partners Risk* are the **key risks** driving CE application and implementation. *Recycling consumer waste products* and *Investment Cost for Skill Development Risk and high upfront Costs Risk* are the **linkage elements** for CE practices implementation.
The results of the BN analysis showed the probability that each element (CE practices, risk and strategies) happens or does not happen. In particular, the results highlight that the probability of risk *Difficulty in the selection of Experts who provide Circular Services* occurring is major than the probability of *Poor-Relationships between Supply Chain Partners Risk*, or that

Multiple sourcing strategy is more likely to be implemented than Collaboration and information sharing with stakeholders.
As for the practices, *Designing products that can be easily repaired/refurbished and/or easily disassembled and recycled* is the one CE practice that will be adopted with a higher probability.

T6. Preliminary results of the survey on Italian consumers' perception and behavioral intentions toward a sofa deriving from IS practices between the textile and the furniture industries show that: the performances of an IS sofa are perceived as about the same or slightly lower compared to those of a traditional sofa; consumers perceived this product as useful to solve environmental problems; most consumers have a positive attitude towards this product; most consumers would pay more for this product, but the amount of the premium greatly varies. Further, there are several aspects that would increase the purchase intention of an IS sofa, such as the possibility to return the product, an extended warranty, and eco-labels.

3. Conclusion

This research project aims to contribute to solving relevant environmental problems: the management of huge amounts of textile waste and the reduction of virgin raw materials to produce furniture. Several macro-tasks are involved in the project, with complementary activities and methodologies that shed light on different aspects of transforming textile waste into resources, through IS practices, considering the whole production and consumption system (encompassing the territory and other companies, business models, production processes, and consumers). Hopefully, these project results will contribute to the achievement of UN SDG goal n. 12 "Ensure sustainable consumption and production patterns".

Acknowledgements

The project has been partially funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4 Component 2 Investment 1.3 – Call for tender No. 341 of 15/03/2022 of Italian Ministry of University and Research funded by the European Union – NextGenerationEU. Award Number: PE00000004, Concession Decree No. 1551 of 11/10/2022 adopted by the Italian Ministry of University and Research, CUP D93C22000920001, MICS (Made in Italy – Circular and Sustainable).

References

[1] Intesa San Paolo. (2023). Le prospettive per l'industria italiana del mobile. https://group.intesasanpaolo.com/content/dam/portalgroup/repositorydocumenti/newsroom/news/2023/Il%20settore%20del%20Mobile%20Aprile%202023.pdf
[2] EURATEX (2022) "Facts And Key Figures 2022 of the European Textile and Clothing Industry".
[3] European Environment Agency. (2023). The role of bio-based textile fibres in a circular and sustainable textiles system. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2023-5-the-role-of-bio-based-textile-fibres-in-a-circular-and-sustainable-textiles-system.
[4] McKinsey & Company (2022). Scaling textile recycling in Europe—turning waste into value. https://vb.nweurope.eu/media/19019/2207-scaling-textile-recycling-in-europe-turning-waste-into-value.pdf
[5] Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resources, conservation and recycling*, 141, 76-98. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.016
[6] Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefining industrial symbiosis: Crossing academic–practitioner boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, *16*(1), 28-37. https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x
[7] Battistoni, C., Giraldo Nohra, C., & Barbero, S. (2019). A systemic design method to approach future complex scenarios and research towards sustainability: A holistic diagnosis tool. *Sustainability*, *11*(16), 4458.

Trasformazione del paesaggio industriale: revisione della letteratura sulle NBS in Europa e Italia

Maria Elena Bini mariaelena.bini2@unibo.it, Sara Pennellini, Alessandra Fiorucci, Alessandra Bonoli
DICAM – Università di Bologna, Bologna

Riassunto
Le Nature-Based Solutions (NBS), o soluzioni basate sulla natura, sono ampiamente definite come interventi ispirati e sostenuti dai processi naturali che affrontano i problemi della società in modo efficace e flessibile, offrendo benefici ambientali, sociali ed economici attraverso l'uso sostenibile dei servizi ecosistemici. Questo riflette il crescente riconoscimento del valore intrinseco e dei benefici pratici dello sfruttamento dei sistemi naturali anche per la trasformazione del paesaggio industriale.
Questo studio intende analizzare lo stato dell'arte attraverso una revisione della letteratura sull'implementazione e l'impatto delle NBS per la rigenerazione delle aree ex-industriali in Europa, con un focus specifico sull'Italia. Diversi sono i casi di successo di aree industriali dismesse e rigenerate tramite l'implementazione di Nature-Based Solutions che hanno permesso la realizzazione di spazi ricreativi, migliorando la resilienza climatica urbana e supportando la biodiversità locale.

Summary
Nature-Based Solutions (NBS) are widely defined as interventions inspired and supported by natural processes that effectively address societal problems, providing environmental, social and economic benefits through the sustainable use of ecosystem services. This reflects the growing acknowledgement of the intrinsic value and practical benefits of exploiting natural systems even for industrial landscape transformation. This study aims to analyze the state of the art through a review of the literature on the implementation and impact of NBS for the regeneration of former industrial areas in Europe, with a specific focus on Italy. Numerous success stories of brownfields regenerated through the implementation of Nature-Based Solutions are reported in scientific literature. Such green interventions enabled the realization of recreational spaces, improving urban climate resilience and supporting local biodiversity.

1. Introduzione
Le attuali condizioni climatiche testimoniano una sostanziale perturbazione degli equilibri ecologici indotti dalla sempre crescente urbanizzazione [1]. Sostenere una pianificazione urbana sostenibile è una prerogativa della transizione verso città più resilienti a garanzia della salute e del benessere umano, animale e ambientale [2]. Integrare le soluzioni basate sulla natura o Nature-Based Solutions (NBS) in questo percorso trasformativo per la sostenibilità urbana fornisce benefici ecologici, economici e sociali in risposta alle esigenze delle

popolazioni [3]. In particolare, grazie ad alcuni studi condotti in città europee, è possibile affermare che le aree industriali periferiche risultano più propense all'implementazione di NBS, sia per la tipologia di strutture edificate, sia per la disponibilità di ampi spazi [4–6]. Il settore industriale rappresenta oltre il 20% dell'economia dell'Unione Europea [7], in Italia, secondo dati Istat, i distretti industriali costituiscono circa un quarto del sistema produttivo del Paese [8], registrando un aumento in termini di unità dal 2011 al 2024 [9]. Persa la funzione originaria, edifici e aree industriali dismesse costituiscono un fattore strategico nei processi di pianificazione urbana territoriale, rispondendo alla sempre più ingente domanda di nuovi spazi [10]. La rigenerazione di tali aree attraverso l'uso di NBS alleggerirebbe la pressione dell'espansione urbanistica su territori naturali favorendo la preservazione della biodiversità locale e mettendo a disposizione dei cittadini nuovi spazi ad uso collettivo e ricreativo [11]. Questo articolo riporta un'analisi dello stato dell'arte attraverso una revisione della letteratura sull'implementazione e l'impatto delle NBS per la rigenerazione delle aree ex-industriali in Europa, con un focus specifico sul territorio nazionale italiano.

2. Relazione

2.1 Ricerca bibliografica

La revisione di letteratura è stata effettuata utilizzando il database Scopus (www.scopus.com). Non è stata posta alcuna restrizione sulla data di pubblicazione, mentre è stato utilizzato un filtro di ricerca "All Open Access" per garantire l'accessibilità dei documenti selezionati. Per identificare le pubblicazioni rilevanti allo studio, sono state utilizzate diverse combinazioni delle seguenti parole chiave:

– Industrial areas
– Regeneration
– Italy
– Europe
– Nature-Based Solutions
– Brownfield

I risultati della ricerca hanno raggruppato un totale di 465 produzioni scientifiche. In una prima fase, il processo di selezione ha incluso lo screening del titolo e dell'abstract, successivamente, prima dello studio completo del testo di interesse, sono stati rimossi eventuali duplicati e si è verificata l'effettiva accessibilità al contenuto individuato. L'ultima fase di scrematura ha portato alla selezione di 36 lavori, considerati idonei in base all'accettazione di almeno uno dei seguenti criteri:

– Riferimento ad aree ex-industriali
– Collocamento di tali aree in Italia o in Europa
– Presentazione di progetti di pianificazione territoriale
– Modellazione scientifica rappresentativa di Nature-Based Solutions

L'attività di ricerca su Scopus è stata ulteriormente supportata dalla letteratura grigia attraverso la consultazione di pubblicazioni non scientifiche accessibili online quali comunicazioni ufficiali da enti statali, istituzionali e professionali.

2.2 Analisi dati raccolti

Al fine di semplificare l'analisi dei dati raccolti, i 36 documenti selezionati sono stati suddivisi in due categorie principali in base alla tipologia di argomento trattato. Una prima categoria denominata "Pianificazione" ha raggruppato 17 lavori riguardanti la progettazione di

interventi di rigenerazione di aree ex-industriali, mentre la seconda chiamata "Casi studio" considera 19 tra articoli ed estratti di libri riguardanti la reale esistenza di opere di rigenerazione di aree industriali dismesse, con o senza l'integrazione di Nature-Based Solutions. Categorizzati come interventi di pianificazione anche simulazioni di modellazione 3D e rendering di paesaggi rigenerati, estratti dai documenti analizzati. In Figura 1 è rappresentata la distribuzione geografica di tutti 120 i siti di interesse estratti durante la ricerca. La discrepanza con il numero finale di documenti selezionati è giustificata dalla consultazione di pubblicazioni anche non scientifiche e dal fatto che diversi articoli presentano più di una località utile ai fini dello studio. I siti sono distribuiti uniformemente in tutta Europa, nel caso specifico dell'Italia si nota come vi sia una maggiore concentrazione nelle regioni del nord, con circa il 56,6% del totale.

2.2.1 Pianificare per rigenerare

Tutti i documenti consultati e raggruppati nella categoria "Pianificazione" sottolineano l'importanza della fase di progettazione territoriale durante la pianificazione di interventi di rigenerazione di aree ex-industriali. In particolare, si enfatizza come strutture architettoniche e paesaggi ibridi basati su nuovi principi di pianificazione urbana sostenibile possano contribuire alla rinaturalizzazione dell'ambiente costruito [12]. A tal fine, diversi lavori propongono piani d'azione e modelli di business per la realizzazione di progetti di ripristino (retrofit projects) di aree industriali dismesse attuando un approccio olistico già a partire dalla fase iniziale di progettazione [13–19]. In questo contesto, le NBS sono essenziali affinché le opere di riqualificazione generino una ampia gamma di servizi ecosistemici in grado di apportare benefici sia all'ambiente che alla popolazione [20]. Sebbene sia stato riconosciuto il potenziale delle NBS come strumento efficace dal punto di vista dei costi per la sostenibilità urbana, la loro implementazione incontra numerosi ostacoli, tra cui l'effettiva valutazione dei benefici apportati [20]. Per contribuire a colmare questa lacuna, diversi lavori tra quelli analizzati hanno realizzato, tramite software di modellazione, diversi scenari di intervento basati sulle NBS, per la riqualificazione di aree industriali dismesse in Italia e all'estero [21–23]. In alcuni casi, scendendo anche nel dettaglio di una specifica Nature-Based Solution (es. tetti verdi), se ne analizzano i benefici e le potenziali applicazioni [24–26]. Infine, il ruolo dei cittadini è sembrato fondamentale per sviluppare piani e azioni socio-ecologiche sostenibili a lungo termine, favoreggiando quindi un approccio bottom-up [27,28].

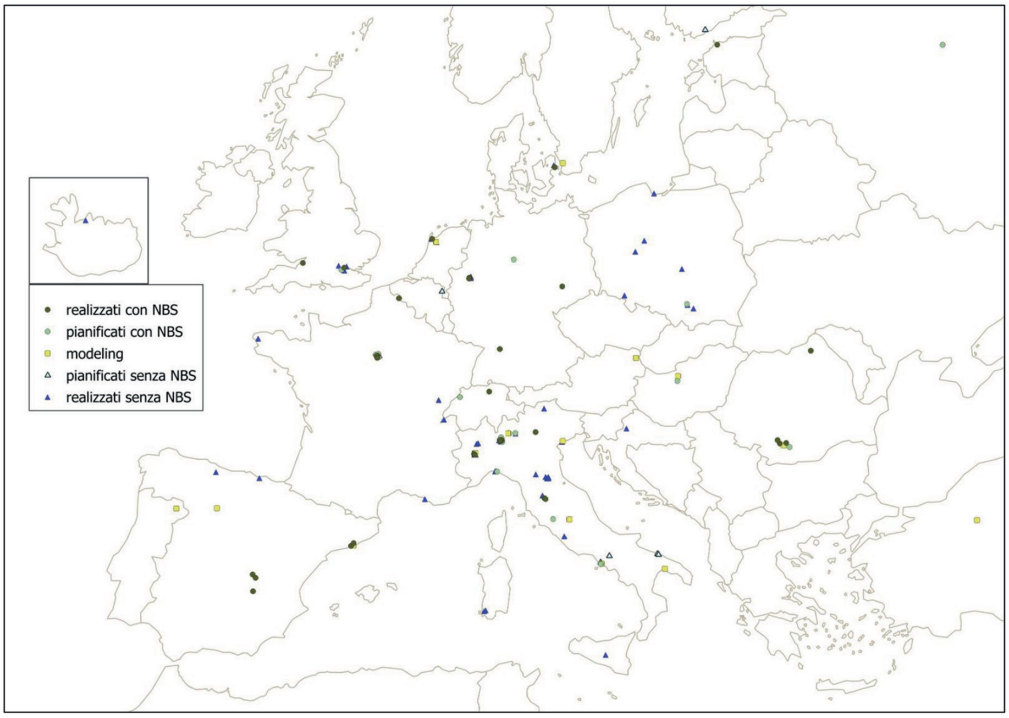


Fig. 1 – *Distribuzione geografica dei siti di interesse estratti dalla ricerca. La rappresentazione non è in scala. Fonte: prodotto dagli autori su © EuroGeographics for the administrative boundaries*

2.2.2 I casi studio

I numerosi siti di interesse individuati sono stati analizzati in dettaglio al fine di estrarre informazioni utili all'identificazione di Nature-Based Solutions implementate nella rigenerazione del territorio industriale. La ricerca è stata portata avanti considerando il termine NBS in senso lato e quindi non soffermandosi su una tipologia in particolare. I risultati sono riassunti nei grafici in Figura 2. Il totale si divide in 54 siti ex-industriali rigenerati senza l'implementazione di NBS o la cui progettazione non prevede l'inserimento di tali soluzioni, e ospitanti principalmente musei, teatri e centri ricreativi (vedi Figura 2.a). Le restanti 66 aree considerate sono invece oggetto di pianificazione territoriale inclusiva di NBS, simulazioni e modellazione 3D integrate a progetti di ricerca scientifica o interventi conclusi caratterizzati dalla presenza di una o più soluzioni NBS (vedi Figura 2.a). Considerando gli ampi spazi a disposizione delle aree industriali e la particolare configurazione degli edifici, le tipologie più comunemente realizzate sono il parco pubblico e i tetti verdi, seguiti da orti urbani comunitari e piantumazione di alberi, in aree ex-industriali meno periferiche. (vedi Figura 2.b).

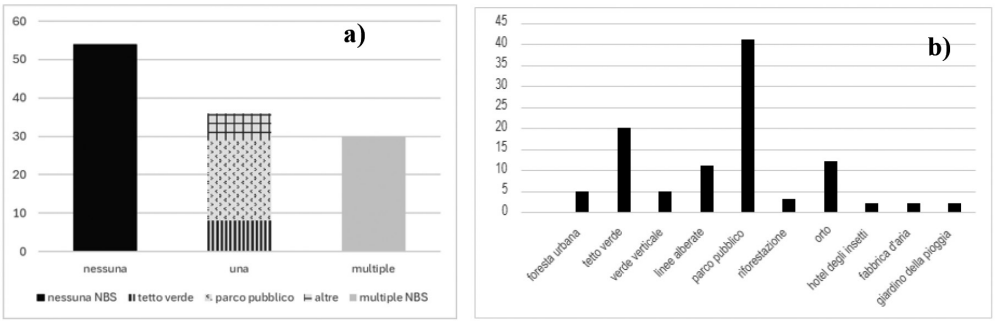


Fig. 2 – **a)** *Numero di installazioni di NBS per sito di interesse.* **b)** *Tipologie di NBS per sito di interesse. Fonte: prodotto dagli autori.*

2.3 Discussione

I numerosi risultati raccolti hanno mostrato una più alta concentrazione di interventi rigenerativi in paesi europei e regioni italiane maggiormente industrializzati, prediligendo un approccio improntato verso un'ottimizzazione dello schema spaziale urbano e atto a creare benefici ambientali, economici e sociali grazie all'utilizzo di diversi tipi di NBS [21]. Tra le criticità incontrate vi è la presenza di un divario tra modellazione o pianificazione e realizzazione degli interventi di rigenerazione. Una delle motivazioni nel panorama italiano è sicuramente la necessità di stanziare ingenti somme di denaro per questa tipologia di interventi, in aggiunta a complicate procedure burocratiche che portano ad un dilungamento delle tempistiche di realizzazione. Per quanto riguarda i progetti attuati e conclusi, un'altra criticità riscontrata è la mancanza di informazioni dettagliate sugli interventi effettuati, in particolar modo, sulle NBS installate. Questo aspetto in alcuni casi ha portato ad una parziale valutazione delle caratteristiche del sito di interesse e conseguentemente alla svalutazione dell'installazione ai fini del presente studio.

3. Conclusioni

In questo lavoro si riportano brevemente i risultati di una revisione della letteratura mirata ad individuare esempi virtuosi dell'implementazione di Nature-Based Solutions nella rigenerazione di aree industriali dismesse in Europa e in Italia, e a fornire spunti di riflessione per futuri processi decisionali e di pianificazione urbana. Tanti sono i piani e i modelli proposti per l'implementazione di NBS e per l'attuazione di operazioni di recupero di aree industriali dismesse, ma in numero inferiore si presentano i reali casi studio in cui si trova il progetto effettivamente realizzato. Le organizzazioni pubbliche e i privati che scelgono di intraprendere o che hanno già attuato un percorso di rigenerazione sostenibile dovrebbero esaltare queste scelte sottolineando il loro impegno e il loro contributo alla transizione verso spazi urbani resilienti. In Italia, per esempio, ogni regione deve attuare un Piano Regolatore Generale (PRG), ovvero uno strumento di pianificazione territoriale che regola l'attività edificatoria nonché gli spazi verdi che caratterizzano l'area urbana. Integrare al PRG il concetto di NBS faciliterebbe la comprensione e l'accettazione di questo tipo di soluzioni a favore di una maggiore trasparenza e chiarezza dei dati pubblici a disposizione degli utenti. Infine, vengono messi in discussione gli strumenti urbanistici tradizionali, criticando i limiti dei processi top-down e valorizzando la partecipazione attiva dei cittadini [17]. A sostegno di progetti futuri di simbiosi industriale, oltre al recupero e ripristino di aree industriali dismesse già esistenti, è quindi necessario utilizzare un approccio olistico fin dalle prime fasi della pianificazione, e trovare un giusto equilibrio tra tecnocrazia e inclusività sociale.

Bibliografia

[1] A.P. García-Nieto, I.R. Geijzendorffer, F. Baró, P.K. Roche, A. Bondeau, W. Cramer, Impacts of urbanization around Mediterranean cities: Changes in ecosystem service supply, Ecol Indic 91 (2018) 589–606. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.082.
[2] T. Yigitcanlar, S. Teriman, Rethinking sustainable urban development: towards an integrated planning and development process, International Journal of Environmental Science and Technology 12 (2015) 341–352. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0491-x.
[3] A. Alves, C. van Opstal, N. Keijzer, N. Sutton, W.S. Chen, Planning the multifunctionality of nature-based solutions in urban spaces, Cities 146 (2024).
https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104751.
[4] M. Žuvela-Aloise, K. Andre, H. Schwaiger, D.N. Bird, H. Gallaun, Modelling reduction of urban heat load in Vienna by modifying surface properties of roofs, Theor Appl Climatol 131 (2018) 1005–1018. https://doi.org/10.1007/s00704-016-2024-2.
[5] C. Cortinovis, P. Olsson, N. Boke-Olén, K. Hedlund, Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities, Urban For Urban Green 67 (2022). https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127450.
[6] J. Langemeyer, D. Wedgwood, T. McPhearson, F. Baró, A.L. Madsen, D.N. Barton, Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona, Science of the Total Environment 707 (2020). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135487.
[7] Consiglio dell'Unione Europea, "Politica Industriale dell'UE," (2024). https://www.consilium.europa.eu/it/policies/eu-industrial-policy/#:~:text=L'industria%20dell'UE%20%C3%A8,milioni%20di%20posti%20di%20lavoro (accessed September 5, 2024).
[8] Istat, "I distretti industriali," 2015.
[9] Direzione Studi e Ricerche – Intesa Sanpaolo, "Economia e finanza dei distretti industriali" – Rapporto annuale n. 16, 2024.
[10] Ispra, Patrimonio Industriale – Rivista AIPAI, 2017.
[11] E. Dogan, F. Cuomo, L. Battisti, Reviving Urban Greening in Post-Industrial Landscapes: The Case of Turin, Sustainability (Switzerland) 15 (2023). https://doi.org/10.3390/su151712760.
[12] E.Y. Zaykova, Zaryadye park as the new hybrid landscape and town-planning model in moscow's historic center, in: Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering, Global Science and Technology Forum, 2018. https://doi.org/10.5176/2301-394X_ACE18.459.
[13] C. Vizzarri, V. Sangiorgio, F. Fatiguso, A. Calderazzi, A holistic approach for the adaptive reuse project selection: The case of the former Enel power station in Bari, Land Use Policy 111 (2021). https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105709.
[14] R. Ingaramo, I.M. Lami, M. Robiglio, How to Activate the Value in Existing Stocks through Adaptive Reuse: An Incremental Architecture Strategy, Sustainability (Switzerland) 14 (2022). https://doi.org/10.3390/su14095514.
[15] C. Becchio, D.G. Ferrando, E. Fregonara, N. Milani, C. Quercia, V. Serra, The cost-optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in Northern Italy, Energy Build 127 (2016) 590–602. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.093.
[16] A. Villacampa, Y. Villacampa, Re-use of the industrial heritage of Bovisa: A model for urban and cultural regeneration, WIT Transactions on Ecology and the Environment 155 (2011) 869–880. https://doi.org/10.2495/SC120732.
[17] O. Gervasi, B. Murgante, A.M.A.C. Rocha, C. Garau, F. Scorza, Y. Karaca, C.M. Torre, eds., Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37117-2.
[18] L. Amenta, M. Russo, A. Van Timmeren Editors, Regenerative Territories, n.d. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78536-9.
[19] V. Battaglia, N. Massarotti, L. Vanoli, Urban regeneration plans: Bridging the gap between planning and design energy districts, Energy 254 (2022).
https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124239.

[20] M. Masiero, A. Biasin, G. Amato, F. Malaggi, D. Pettenella, P. Nastasio, S. Anelli, Urban Forests and Green Areas as Nature-Based Solutions for Brownfield Redevelopment: A Case Study from Brescia Municipal Area (Italy), Forests 13 (2022).
https://doi.org/10.3390/f13030444.
[21] K. Tu, Y. Niu, A. Reith, Regeneration design of mining brownfield based on nature-based solutions, Pollack Periodica (2024). https://doi.org/10.1556/606.2024.01089.
[22] F.M. Alves, A. Gonçalves, M.R.D.C. Enjuto, The Use of Envi-Met for the Assessment of Nature-Based Solutions' Potential Benefits in Industrial Parks—A Case Study of Argales Industrial Park (Valladolid, Spain), Infrastructures (Basel) 7 (2022).
https://doi.org/10.3390/infrastructures7060085.
[23] B. Rugani, B. Pölling, M. Della Casa, G. Guidolotti, C. Baldacchini, A. Timpe, C. Calfapietra, Coupled life cycle assessment and business modelling to estimate the sustainability of using regenerated soils in urban forestry as nature-based solutions, Urban For Urban Green 95 (2024). https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128327.
[24] C. Ciacci, N. Banti, V. Di Naso, F. Bazzocchi, Green strategies for improving urban microclimate and air quality: A case study of an Italian industrial district and facility, Build Environ 244 (2023). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110762.
[25] F. Silva, C.S.C. Calheiros, A. Albuquerque, J.P. Lopes, A.M. Antão-Geraldes, Technical and Financial Feasibility Analysis of Rainwater Harvesting Using Conventional or Green Roofs in an Industrial Building, Sustainability (Switzerland) 15 (2023).
https://doi.org/10.3390/su151612430.
[26] M.C. Catalbas, B. Kocak, B. Yenipınar, Analysis of photovoltaic-green roofs in OSTIM industrial zone, Int J Hydrogen Energy 46 (2021) 14844–14856.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.205.
[27] M. Bottero, M. Bravi, C. Caprioli, F. Dell'Anna, Combining Revealed and Stated Preferences to design a new urban park in a metropolitan area of North-Western Italy, Ecol Modell 483 (2023). https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110436.
[28] G. Trentanovi, T. Campagnaro, I. Kowarik, M. Munafò, P. Semenzato, T. Sitzia, Integrating spontaneous urban woodlands into the green infrastructure: Unexploited opportunities for urban regeneration, Land Use Policy 102 (2021).
https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105221.

BeeGreen: Sostenibilità e Innovazione Energetica

Dott. Giosef Perricci
Upnova Group S.r.l., Noci (Ba)

Riassunto
BeeGreen è un modulo innovativo sviluppato a partire dall'esperienza sul campo con BeeProd, una suite gestionale per l'ottimizzazione dei processi produttivi. Durante i test con le aziende di produzione, è emersa l'esigenza di uno strumento avanzato per monitorare e gestire i consumi energetici. Così, i nostri ingegneri hanno progettato i data logger, dispositivi fondamentali per raccogliere dati dettagliati su elettricità, gas, acqua ed emissioni di CO_2, permettendo un monitoraggio continuo e preciso. I vantaggi per le aziende sono significativi: riduzione del consumo energetico a partire dal 18%, riduzione delle emissioni di CO_2 fino al 25% in media, e risparmi annuali sui costi operativi che raggiungono circa il 30%. Questo percorso di innovazione, in linea con i principi dell'Industria 5.0 [1], è stato reso possibile grazie alla continua collaborazione con le aziende e la sperimentazione diretta sul campo.

Summary
BeeGreen is an innovative module developed from field experience with BeeProd, a management suite designed to optimize production processes. During tests with manufacturing companies, the need for an advanced tool to monitor and manage energy consumption emerged. As a result, our engineers developed data loggers, essential devices that collect detailed data on electricity, gas, water, and CO_2 emissions, enabling continuous and precise monitoring. The benefits for companies are significant: reductions in energy consumption reductions starting at 18%, CO_2 emissions reductions of up to 25% and annual savings on operational costs of around 30%. This innovation path, aligned with the principles of Industry 5.0 [1], has been made possible through close collaboration with companies and direct field testing.

1. Introduzione

L'evoluzione di BeeGreen nasce da una profonda esperienza maturata attraverso la sperimentazione e la collaborazione con aziende che puntano alla sostenibilità. Il viaggio ha inizio con BeeProd, una suite di gestione operativa che, fin dalle prime fasi, si è dimostrata uno strumento essenziale per ottimizzare i processi produttivi e ridurre gli sprechi. L'interazione costante con le aziende ci ha permesso di comprendere meglio le loro esigenze in termini di monitoraggio dei consumi e di controllo dell'impatto ambientale, in un contesto sempre più orientato ai principi dell'Industria 5.0 [1], dove l'efficienza tecnologica e la sostenibilità vanno di pari passo con il benessere umano e l'integrazione di processi avanzati.

BeeGreen si inserisce perfettamente nel quadro del Green Deal Europeo [2], che pone al centro la transizione verso un'economia a zero emissioni di carbonio, l'efficientamento

delle risorse e la chiusura dei cicli produttivi. La capacità di monitorare in tempo reale i consumi energetici e le emissioni di gas serra consente alle aziende di adottare un approccio proattivo verso la riduzione degli sprechi e l'ottimizzazione delle risorse, supportando così una gestione circolare dei materiali. BeeGreen contribuisce a migliorare la sostenibilità delle imprese, non solo in termini di conformità normativa, ma anche favorendo l'adozione di modelli di produzione più responsabili e in linea con le nuove direttive ambientali e di economia circolare.

2. Dalla nascita di BeeProd all'evoluzione di BeeGreen

BeeProd è nato come una piattaforma gestionale pensata per migliorare la produttività, ma presto ci siamo resi conto che le aziende richiedevano un supporto più mirato per affrontare le sfide energetiche e ambientali. Durante la nostra esperienza sul campo, abbiamo osservato l'urgenza di una soluzione capace di monitorare non solo i processi operativi, ma anche il consumo energetico e le emissioni. Le aziende, infatti, chiedevano strumenti che non solo ottimizzassero la produzione, ma che fossero in grado di supportarle nella transizione verso pratiche più sostenibili, coerenti con i principi di un'economia circolare e dell'Industria 5.0 [1], dove l'innovazione tecnologica sostiene la sostenibilità ambientale.

Con queste premesse è nato BeeGreen, un modulo integrato in BeeProd, sviluppato proprio per rispondere a queste nuove esigenze. BeeGreen non è solo il risultato di uno sviluppo tecnologico, ma anche della sperimentazione diretta con le aziende che ci hanno permesso di testare e migliorare progressivamente il sistema.

3. L'Innovazione dei Data Logger: la chiave per un monitoraggio efficace

Uno dei passaggi cruciali nel processo di evoluzione verso BeeGreen è stata l'introduzione dei data logger, dispositivi progettati internamente dai nostri ingegneri grazie ai numerosi test sul campo effettuati in collaborazione con le aziende che utilizzano BeeProd. Questi dispositivi sono stati sviluppati per rispondere alle esigenze reali riscontrate nelle strutture produttive e garantire un monitoraggio energetico capillare e costante.

I data logger (Fig. 1) rappresentano il cuore del sistema BeeGreen e sono stati ottimizzati per raccogliere dati estremamente dettagliati sui consumi energetici di elettricità, acqua, gas e sulle emissioni di CO_2. Sono stati testati in condizioni operative reali, spesso complesse, per assicurare che potessero funzionare efficacemente anche in ambienti industriali difficili, un elemento fondamentale in ottica Industria 5.0 [1], dove la resilienza dei sistemi tecnologici gioca un ruolo chiave. Grazie alla loro robustezza e capacità di adattamento, questi dispositivi sono in grado di garantire una raccolta di dati affidabile e continua, anche quando ci sono interruzioni della connessione.

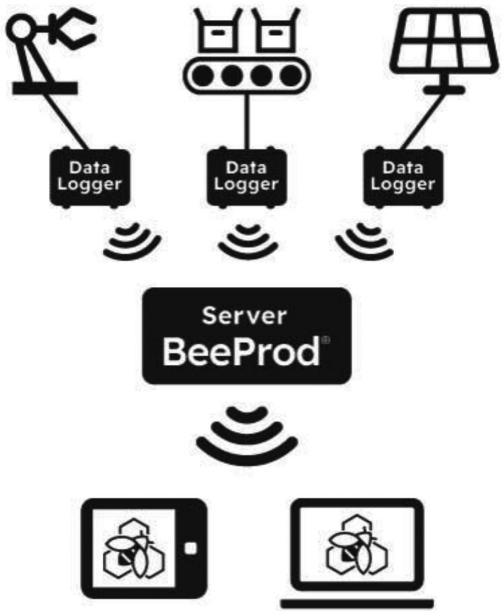


Fig. 1 – *Esempio di una rete di Data Logger*

La progettazione dei data logger è stata un processo iterativo, basato su feedback reali raccolti dalle aziende. Durante la fase di testing, i nostri ingegneri hanno lavorato a stretto contatto con i team operativi delle aziende di produzione, adattando i dispositivi per monitorare con precisione i consumi energetici nei vari punti strategici degli impianti, come le linee di produzione e i macchinari. Questo ha permesso di sviluppare data logger capaci di rilevare anomalie, inefficienze e variazioni improvvise nei consumi, offrendo così alle aziende uno strumento potente per l'ottimizzazione energetica.

4. I Report di Sostenibilità Certificati

Uno degli aspetti distintivi di BeeGreen è la sua capacità di generare report di sostenibilità certificati, basati su una raccolta dati automatizzata e precisa. Grazie ai data logger, i parametri relativi ai consumi energetici, alle emissioni di CO_2 e all'uso delle risorse vengono monitorati in tempo reale, consentendo una valutazione continua delle performance ambientali. I dati vengono elaborati attraverso algoritmi che garantiscono l'accuratezza delle analisi, generando report conformi agli standard internazionali di sostenibilità.

Questi report forniscono informazioni dettagliate e certificate sulle emissioni e l'efficienza energetica, e rappresentano uno strumento scientifico per supportare le decisioni aziendali in ambito ambientale. La certificazione garantisce la validità dei dati raccolti, facilitando il rispetto delle normative e l'adesione a protocolli ambientali rigorosi. Inoltre, i report consentono di identificare tendenze e aree di miglioramento, contribuendo a un processo decisionale basato su evidenze e dati verificabili.

L'automazione della generazione dei report riduce il margine d'errore umano e assicura continuità nel monitoraggio, fornendo un quadro chiaro e scientificamente validato dell'impatto ambientale dell'azienda. Questi strumenti sono essenziali per le imprese che, in linea con i principi dell'Industria 5.0 [1], cercano di migliorare la loro impronta ecologica in modo trasparente e misurabile.

5. I Risultati della Sperimentazione: Dati Concreti sui Vantaggi di BeeGreen

I risultati delle aziende che hanno implementato BeeGreen parlano chiaro: grazie ai nostri data logger e al monitoraggio continuo fornito dal sistema, le imprese hanno ottenuto vantaggi significativi sia in termini di efficienza energetica che di riduzione dell'impatto ambientale. Di seguito, alcuni dati basati sulla sperimentazione sul campo:

- Riduzione del consumo energetico: Le aziende che utilizzano BeeGreen hanno registrato una riduzione media dei consumi energetici a partire dal 18% nei primi 12 mesi di utilizzo. Questo è stato possibile grazie alla capacità del sistema di individuare inefficienze e anomalie nei consumi, fornendo indicazioni per interventi mirati di ottimizzazione.
- Riduzione delle emissioni di CO_2: Grazie al monitoraggio e alla gestione migliorata dei consumi, le emissioni di CO_2 sono state ridotte in media del 22%. In alcune aziende del settore manifatturiero, si sono osservati picchi di riduzione delle emissioni fino al 25%, migliorando così la conformità alle normative ambientali.
- Risparmio sui costi operativi: Il sistema BeeGreen ha permesso alle aziende di risparmiare circa il 30% all'anno sui costi energetici, con un ritorno sull'investimento (ROI) medio entro 18 mesi dall'implementazione del modulo.
- Efficienza migliorata del 30%: I nostri data logger, posizionati strategicamente in punti chiave delle linee produttive, hanno permesso un miglioramento dell'efficienza energetica del 30% in molte aziende. Questo ha portato non solo a un abbassamento dei costi, ma anche a una maggiore stabilità operativa e a una riduzione dei tempi di fermo macchina.
- Conformità normativa: Il 100% delle aziende che ha adottato BeeGreen è riuscito a raggiungere o mantenere la conformità con le normative ambientali vigenti, evitando potenziali multe e accedendo a incentivi governativi legati alla sostenibilità. Inoltre, le aziende sono in linea con gli obiettivi del Green Deal Europeo [2] per il 2030 e con le nuove tendenze dell'Industria 5.0 [1], che puntano a una gestione responsabile delle risorse.

6. Un Processo Iterativo: Sperimentazione e Risultati Tangibili

Il processo di sperimentazione è stato fondamentale per perfezionare BeeGreen. Ogni azienda con cui abbiamo collaborato ci ha fornito feedback preziosi che ci hanno permesso di affinare continuamente la nostra tecnologia. I primi test sul campo hanno rivelato l'importanza di avere una piattaforma in grado di adattarsi a contesti produttivi molto diversi tra loro, offrendo sempre un monitoraggio preciso e personalizzato.

In particolare, la raccolta di dati attraverso i data logger ha aperto nuove possibilità: abbiamo potuto rilevare inefficienze che altrimenti sarebbero rimaste nascoste, identificare anomalie nei consumi energetici e proporre soluzioni per ridurre gli sprechi. Questo approccio ha permesso alle aziende non solo di migliorare le loro performance ambientali, ma anche di ridurre significativamente i costi operativi.

7. Conclusioni

BeeGreen rappresenta il culmine di un percorso di sperimentazione e innovazione che ha avuto origine con BeeProd e si è sviluppato grazie alla stretta collaborazione con le aziende di produzione. I nostri data logger, progettati e perfezionati attraverso test sul campo, offrono alle imprese uno strumento potente per monitorare e ottimizzare i consumi energetici, ridurre le emissioni e garantire la conformità alle normative ambientali. I risultati parlano chiaro: riduzione dei costi energetici, miglioramento dell'efficienza e diminuzione significativa delle emissioni di CO_2. Grazie a BeeGreen, la sostenibilità non è più solo un obiettivo da perseguire, ma una realtà concreta e vantaggiosa che porta benefici tangibili, sia economici che ambientali, alle aziende che scelgono di adottarlo. Questo è un passo fondamentale verso l'Industria 5.0 [1], dove tecnologia, sostenibilità e benessere aziendale convergono.

Bibliografia

[1] **Nahavandi, S. (2019)**. Industry 5.0: Una Soluzione Centrata sull'Uomo. Sustainability, 11(16), 4371. Disponibile su: https://doi.org/10.3390/su11164371.

Commissione Europea (2021). Industria 5.0: Verso un'industria europea sostenibile, centrata sull'uomo e resiliente. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione Europea. DOI: https://doi.org/10.2777/308407.

[2] **Commissione Europea (2020)**. Il Green Deal Europeo: L'obiettivo di diventare il primo continente a impatto climatico zero. Sito ufficiale dell'Unione Europea. Disponibile su: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_19_6691.

CIRCULAR AND REGENERATIVE BIOECONOMY

BIOWASTE: XXVI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA. SESSIONE TECNICA

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & CIC**

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.

Presidenti di sessione:
Massimo Centemero, CIC
Alberto Confalonieri, Comitato Tecnico CIC

Studio della variabilità chimico-fisica del rifiuto organico per la produzione di biometano

Mariangela Soldano m.soldano@crpa.it, Chiara Noto, Mirco Garuti
Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia – Reggio Emilia

Riassunto
CRPA ha analizzato tra il 2014 e il 2024 circa 150 campioni di rifiuto organico tra FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani), rifiuto verde e miscele tra essi, provenienti da impianti di trattamento localizzati su tutto il territorio italiano. Lo studio fornisce un'analisi statistica relativa alle caratteristiche chimico-fisiche (solidi totali, solidi volatili) e alla produzione specifica di biometano dei rifiuti organici.

Summary
CRPA analyzed between 2014 and 2024 about 150 samples of biowaste among OFMSW (Organic Fraction of Municipal Solid Waste), green waste and mixture of thereof from treatment in Italy. The study provides a statistical analysis of chemical-physical characteristics (total solids, volatile solids) and specific biomethane productions (BMP) of the biowaste.

1. Introduzione

In Italia il sistema industriale del riciclo organico, con la produzione congiunta di compost e biometano, si conferma quale settore chiave per l'economia circolare [1]. Secondo ISPRA, nel 2022 sono state raccolte circa 7,25 milioni di tonnellate di rifiuti organici, ovvero più del 40% di tutta la raccolta differenziata, potenzialmente recuperabile ai fine energetici e per la produzione di compost. Il 70,5% della frazione organica è costituito dalla frazione umida da cucine e mense, il 24,7% dai rifiuti biodegradabili provenienti dalla manutenzione di giardini e parchi, il 4,2% dai rifiuti avviati al compostaggio domestico e lo 0,7% dai rifiuti dei mercati [2]. Il trattamento della frazione organica dei rifiuti mediante digestione anaerobica, consente di abbinare il recupero di materia al recupero di energia. Negli ultimi anni, dall'entrata in vigore del sistema di incentivazione del biometano (nel 2018) si è osservato un aumento degli impianti di digestione anaerobica, soprattutto integrati con una fase di compostaggio del digestato. Questi impianti hanno, normalmente, un fabbisogno di rifiuto verde inferiore a quelli di solo compostaggio [1] e ciò spiega l'uso del verde in miscela con il rifiuto organico al carico nel digestore anaerobico. La natura eterogenea con una mescolanza complessa di queste frazioni organiche, rende solitamente difficili le stime o le misure della loro composizione. La FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani) è un substrato prevalentemente solido costituito da materiale di dimensioni relativamente grandi. La produzione e la composizione variano in base alla regione geografica, al numero di abitanti, alle attività economiche predominanti, alle abitudini alimentari regionali, alla stagione e al sistema di raccolta [3]. Il rifiuto verde (potature, ramaglie e sfalci d'erba), ha una struttura complessa costituita da cellulosa, emicellulosa e lignina, che la rende resistente all'idrolisi nel processo di digestione anaerobica [4]; il rifiuto verde viene spesso utilizzato triturato con la funzione di strutturante del rifiuto organico in ingresso agli impianti. La degradabilità anaerobica di tali rifiuti organici, quindi, dipende sia dalla composizione e dalla natura della matrice organica sia dalla frequenza di

raccolta e/o eventuali ritardi nel trasferimento all'impianto che contribuiscono a ridurne la fermentescibilità [5].
CRPA ha analizzato tra il 2014 e il 2024 circa 150 campioni di rifiuto organico tra FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani), rifiuto verde e miscele tra essi, provenienti da impianti di trattamento localizzati su tutto il territorio italiano. Lo studio fornisce un'analisi statistica relativa alle caratteristiche chimico-fisiche e alla produzione specifica di biometano dei rifiuti organici clusterizzati per periodo di raccolta. I risultati contribuiscono a comprenderne la variabilità nella composizione e possono essere di supporto al settore del trattamento dei rifiuti quando integrati con le informazioni dei vari schemi di raccolta dei rifiuti organici. Inoltre, viene approfondito il contributo del rifiuto verde nella realizzazione di tabelle di alimentazioni per impianti di digestione anaerobica mediante modelli predittivi.

2. Relazione

I dati riportati nel presente studio sono relativi a campioni prelevati dal 2014 al 2024, provenienti da diverse tipologie di impianti di trattamento del rifiuto localizzati su tutto il territorio nazionale (prevalentemente Nord Italia ed Emilia-Romagna); nelle elaborazioni viene fornito un quadro complessivo della caratterizzazione chimico-analitica delle matrici attraverso la misurazione di solidi totali (ST), solidi volatili (SV) e la valutazione della produzione specifica di biometano (BMP) misurata con il test del potenziale metanigeno eseguito in conformità con la norma UNI EN ISO 11734:2004.
La rappresentazione grafica della variabilità della distribuzione dei valori di solidi totali, solidi volatili, percentuale di metano nel biogas e valori di BMP di campioni di FORSU e rifiuto verde è mostrata in Fig. 1.

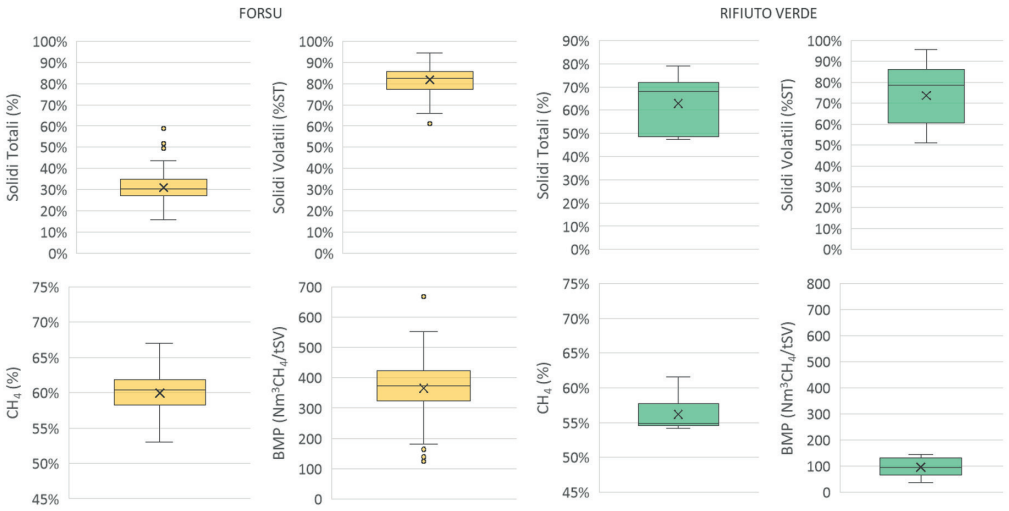


Fig. 1 – *Box-plot del contenuto in solidi totali e solidi volatili e del BMP e della percentuale di CH_4 della FORSU (129 campioni) e del rifiuto verde (11 campioni) collezionati tra il 2014 e il 2024 su territorio italiano.*

Il valore medio di solidi totali dei campioni analizzati è 31± 6,9 % e il potenziale metanigeno è pari a 365 ± 90 Nm^3CH_4/tSV ovvero 90 ± 22 Nm^3CH_4/t. Tale dato è in linea con quello medio (95 Nm^3CH_4/t) ottenuto da uno studio del 2016 che ha raccolto valori di letteratura di campioni simili provenienti da 22 diversi paesi Europei e extraeuropei [3] e con un precedente studio di CRPA [5]. La variabilità nel contenuto di solidi totali e nella produzione specifica

di metano nella FORSU può essere ricondotta alle già citate condizioni che caratterizzano l'efficienza della raccolta differenziata a cui si aggiunge anche la diversità della tecnologia di pretrattamento del singolo impianto nelle operazioni di lacerazione dei sacchi, rimozione dei metalli e separazione di plastiche ed inerti. Per il rifiuto verde, la variabilità è maggiormente evidente nel contenuto di solidi volatili per la diversificata presenza di terra e sassi raccolta negli sfalci che quindi influenzano il contenuto di ceneri.
Al fine di investigare le possibili influenze derivanti dalla stagionalità del rifiuto organico sono state elaborate la media e la deviazione standard per tutti i campioni di FORSU analizzati (129 campioni, dal 2014 al 2024) sulla base del mese di campionamento (Tab.1).

	n° Campioni*	**Solidi Totali (%)**			**Solidi Volatili (% ST)**			**BMP (Nm^3CH_4/tSV)**		
Gennaio	4	30,7%	±	6,1%	79,4%	±	3,0%	318	±	39
Febbraio	11	32,2%	±	5,1%	76,6%	±	4,9%	350	±	59
Marzo	31	30,6%	±	7,2%	83,9%	±	6,6%	374	±	99
Maggio	8	32,8%	±	4,4%	78,6%	±	8,8%	394	±	113
Giugno	24	34,2%	±	8,5%	84,1%	±	7,0%	321	±	104
Luglio	14	26,0%	±	3,0%	82,6%	±	5,0%	381	±	86
Agosto	10	27,4%	±	5,4%	81,8%	±	5,7%	397	±	78
Settembre	7	32,5%	±	5,1%	78,2%	±	3,5%	402	±	77
Ottobre	7	30,1%	±	8,2%	85,6%	±	6,5%	359	±	27
Novembre	6	34,9%	±	9,1%	82,4%	±	3,7%	363	±	80
Dicembre	7	30,6%	±	5,5%	77,2%	±	7,8%	390	±	81
Totale	**129**	**31,1%**	**±**	**6,9%**	**81,9%**	**±**	**6,6%**	**365**	**±**	**90**

Tab. 1– *Caratteristiche chimico-fisiche e potenziale metanigeno della FORSU campionata in diversi periodi dell'anno: campioni analizzati da CRPA tra il 2014 e il 2024 (valori medi e deviazioni standard).*
* nel data-set non sono presenti campioni riferiti al mese di Aprile

A partire dal data-set analizzato, non si notano significative differenze né su base mensile né su base stagionale (autunno-invernale, primaverile-estiva). Tuttavia, nel periodo primaverile-estivo è possibile notare una tendenza ad avere una FORSU con un contenuto di solidi totali inferiore (30,7 ± 7,2%) rispetto al periodo autunno-invernale (31,9 ± 6,3%), probabilmente riconducibile anche alla quota vegetale di frutta e verdura maggiormente consumata e che apporta una componente organica prevalentemente zuccherina, molto fermentescibile ma con un contenuto di umidità elevato.
La FORSU e il rifiuto verde possono essere miscelati assieme per ottenere una miscela da utilizzare in digestione anaerobica. La composizione della miscela può contenere percentuali variabili di frazione verde a seconda della tecnologia di impianto di digestione anaerobica (*semi-dry o dry*) e delle esigenze operative dello stesso. A partire dal data-set del presente studio è stato elaborato un un modello predittivo per stimare le caratteristiche della miscela al carico ottenuta in termini di solidi totali e produzione specifica di biometano (Fig. 2). Il modello predittivo per il BMP è stato validato con il confronto di 11 campioni di miscele tra rifiuto verde e FORSU caratterizzati sperimentalmente (R^2=0,4224; cvRMSD=0,79). Il modello può essere utilizzato per stimare la produzione di biometano della miscela ottenuta usando come dato di partenza la proporzione tra rifiuto verde e FORSU e risulta utile quando la caratte-

rizzazione dei rifiuti in ingresso non è possibile, anche se inevitabilmente influenzato dalla variabilità degli stessi.

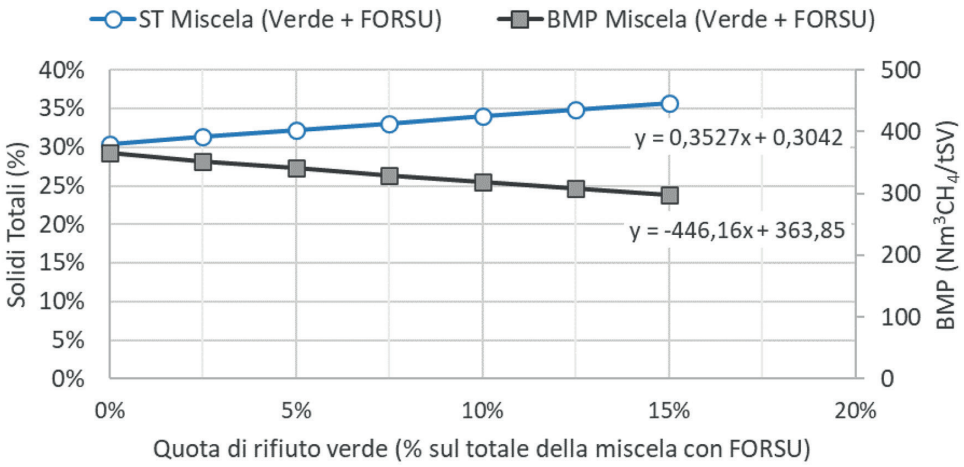


Fig. 2 – *Caratteristiche della miscela di FORSU e rifiuto verde al variare della quota di quest'ultimo (sinistra); applicazione del modello predittivo della produzione specifica di metano (destra).*

La componente predominante lignocellulosica del rifiuto verde contribuisce ad una bassa degradabilità anaerobica: maggiore è la quota di rifiuto verde nella miscela e inferiore sarà la produzione di biometano. Tuttavia, sono in via di sviluppo studi e nuove strategie finalizzate ad aumentare la degradabilità della componente lignocellulosica tramite pretrattamenti di tipo biologico, chimico-fisico e meccanico [4, 6].

3. Conclusioni

Lo studio ha valutato le caratteristiche analitiche di campioni di frazioni di rifiuto organico (FORSU e rifiuto verde) provenienti da tutto il territorio nazionale, con prevalenza dall'Emilia-Romagna. L'analisi dei dati su base stagionale non ha mostrato significative differenze nelle caratteristiche chimico-fisiche della FORSU, probabilmente perché le fonti di variabilità citate nel presente articolo su questa matrice influiscono maggiormente rispetto al periodo di campionamento. In futuro, potrà risultare interessante verificare come cambiano le caratteristiche della FORSU durante l'annualità su campioni clusterizzati per territori geografici molto ristretti (livello provinciale o livello comunale). Nel caso in cui le caratteristiche dei rifiuti non siano disponibili è possibile utilizzare delle stime sulle rese produttive in metano di FORSU e rifiuto verde usati in miscela negli impianti di digestione anaerobica ma la conoscenza della producibilità in biometano di rifiuti organici, anche in miscela, è fondamentale per ottimizzarne la gestione impianti di trattamento del rifiuto integrati di digestione anaerobica e compostaggio e la verifica della produzione di metano mediante analisi di laboratorio rimane una metodologia adeguata per comprendere l'efficienza del processo.

Bibliografia

[1] La filiera del biowaste per lo sviluppo sostenibile. Edizioni Ambiente Organic Biorecycling, 2023 Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2023 ISPRA Rapporti 393/2023 ISBN: 978-88-448-1200-3
[2] **Campuzano R., Martínez S.G.** Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review, Waste Management, Volume 54, 2016, Pages 3-12, ISSN 0956-053.

[3] **Semeraro, B.; Summa, D.; Costa, S.; Zappaterra, F.; Tamburini, E.** Bio-Delignification of Green Waste (GW) in Co-Digestion with the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW) to Enhance Biogas Production. Appl. Sci. 2021, 11, 6061.
[4] **Soldano M., Labartino N. e Piccinini S.** Il potenziale metanigeno (BMP) della FORSU. Atti di ECOMONDO 2014, pubblicato da Maggioli, 282-286
[5] **Longo S., Garuti M., Soldano M., Noto C, Nascetti D., Piraccini E**. Steam explotion of green waste for biomethane production. Poster Conference BIORESTEC 2023

Esiti della campagna di analisi su coltivazioni biologiche di aziende agricole che impiegano l'ammendante compostato misto "Amelia"

Marco Roselli roselli.marco@aisaimpianti.it – Ufficio agronomico Aisa Impianti SpA – Arezzo

Riassunto
Produrre e distribuire ammendante compostato misto da biomasse di scarto della società è molto complesso. All'inizio della filiera è necessario un importante lavoro di educazione alla corretta raccolta differenziata mentre a valle del processo risulta cruciale un altrettanto massiccio lavoro divulgativo affinché le imprese agricole possano trovare nell'impiego del compost una valida alternativa all'uso dei concimi chimici. Il presente lavoro di indagine ha inteso mettere in luce i vantaggi dell'impiego dell'ammendante Amelia attraverso una campagna di analisi dei terreni. Un focus è stato redatto a proposito degli aspetti logistici della distribuzione in relazione alle attrezzature disponibili.

Summary
Producing and distributing mixed compost soil improver from company waste biomass is very complex. At the beginning of the supply chain, important education work on correct separate waste collection is necessary, while further down the process an equally massive dissemination work is crucial so that agricultural businesses can find the use of compost as a valid alternative to the use of chemical fertilizers. This investigation work aimed to highlight the advantages of using the Amelia soil improver through a soil analysis campaign. A focus was drawn up regarding the logistical aspects of distribution in relation to the available equipment.

1. Introduzione

In un mondo che cambia molto velocemente diventa sempre più pressante l'esigenza di lasciare alle nuove generazioni un pianeta migliore di quello che hanno abitato le precedenti. Si tratta di una sfida molto difficile perché le pressioni che l'ambiente ha subito, soprattutto dal secondo dopoguerra in avanti, sono davvero importanti. A questo proposito basti pensare all'impiego di combustibili fossili per arrivare alla vertiginosa diffusione della plastica come imballaggio, materiale non sempre correttamente smaltito. In questo contesto si inseriscono anche altre problematiche di tipo ambientale come quella legata, ad esempio, all'impiego dei concimi chimici per la nutrizione delle colture. Annualmente, a livello mondiale, si producono 100 milioni di tonnellate di azoto per fertilizzanti chimici (il prodotto di base è l'ammoniaca che si ottiene con la sintesi tra l'azoto atmosferico e l'idrogeno). Il processo industriale richiede, per ogni 1 kg di azoto sintetizzato dall'atmosfera, 2 kg di petrolio. I conti in termini inquinanti sono presto fatti perché le 200 milioni di tonnellate di petrolio necessarie alla produzione del concime, comportano l'emissione in atmosfera di 400 milioni di tonnellate di CO_2.

Per desertificazione si intende la progressiva perdita di sostanza organica dei terreni, ma è importante prendere coscienza che se non si inverte la rotta le conseguenze potrebbero diventare drammatiche. Ai primi del novecento si stimava che la sostanza organica media nei terreni italiani fosse intorno al 4%.
Attualmente, con la forte contrazione degli allevamenti e quindi con la carenza di letame, spesso non raggiungiamo il valore dell'1%. Questa carenza costituisce un grave problema perché senza sostanza organica non si ha attività microbiologica, la crescita delle piante è scarsa o comunque non adeguata alle proprie potenzialità genetiche. Tuttavia, anche in presenza di uno sviluppo e di una produzione – senza un equilibrato livello di tutti gli elementi necessari alla vita delle piante – non si producono alimenti di qualità (scadente valore biologico dell'alimento). Le coltivazioni risultano maggiormente vulnerabili alle avversità e i produttori devono ricorrere a un maggior impiego di fitofarmaci e concimi di sintesi. Deve essere tenuto presente che la FAO ritiene che il processo di desertificazione interessi tutti quei suoli con un contenuto in carbonio organico inferiore all'1%.

2. Relazione
Nell'agricoltura "moderna", a livello globale, gran parte degli elementi assorbiti dalle piante non ritornano al terreno in quanto, gli alimenti che ne derivano, sono consumati lontano dai luoghi di produzione. Partendo da queste osservazioni si sottolinea come il riutilizzo agronomico di biomasse di scarto rappresenti il miglior strumento per apportare le quantità di carbonio organico necessarie a ripristinare la fertilità del suolo. In altre parole, potremmo dire che l'uso del compost per la fertilizzazione risponde ai principi basilari dell'ecologia. In provincia di Arezzo, avere un termovalorizzatore che produce compost di qualità a partire dai materiali organici, rappresenta una risorsa strategica per fronteggiare la perdita di carbonio organico dei terreni, contrastare i cambiamenti climatici e sostenere il sistema agricolo.

3. Amelia – Il compost prodotto da Aisa Impianti Spa
Nel proprio ciclo di trattamento dei rifiuti Aisa Impianti produce "Amelia", un ammendante compostato misto, così come definito dalla normativa nazionale (D. Lgs 75/2010). Si tratta di un fertilizzante organico di qualità, in quanto, non solo rispetta rigorosamente i parametri previsti dalla normativa, ma possiede anche tutte le caratteristiche per essere ammesso nell'ambito del metodo produttivo "biologico" (Reg. Ce 848/2018). Di seguito, in tabella 1, sono riportate le caratteristiche dell'ammendante compostato misto Amelia prodotto da Aisa Impianti SpA – Arezzo reperibili sul sito del Sistema Informativo Agricolo Nazionale (Sian) dove, appunto, è registrato il marchio "Amelia". Amelia è anche registrato come nome commerciale dell'ammendante prodotto da Aisa Impianti presso gli Enti competenti ed è inserito come ammendante di qualità all'interno del sistema CIC (Consorzio Italiano Compostatori).

Nome commerciale/Denom. Tipo: amelia/All. 13 IT All. 2.2.5. – Ammendante compostato misto
Numero di registro : 0013260/15
Fabbricante: AISA IMPIANTI S.P.A. – 014000/13

DETERMINAZIONE	VALORI	Note e U.M.
Azoto organico	83	Almeno 80% N tot – (N.org/N tot)/% Sostanza Secca
Azoto organico sul secco	2,3	N organico Sostanza Secca

Segue

DETERMINAZIONE	VALORI	Note e U.M.
Carbonio organico – C org % S.S.	26,0	C organico % – Sostanza Secca
Carbonio umico e fulvico	7,5	C (HA-FA) % – Sostanza Secca
Carbonio/Azoto – C/N	11,0	C/N
Salinità	46,3	dS/cm
Umidità	39,0	%
pH	7,0	Tra 6 e 8,8

Tab. 1 – *Caratteristiche dell'ammendante compostato misto Amelia prodotto da Aisa Impianti SpA – Arezzo*

3.1 Compost ed energia
Da luglio 2023 Aisa Impianti ha deciso di restituire alla collettività un ulteriore beneficio andando a produrre metano a partire dal materiale umido. Per ottenere questo risultato, l'azienda ha costruito un digestore anaerobico per la frazione organica da raccolta differenziata. Nel digestore avviene un processo di degradazione anaerobica durante il quale si sviluppa bio metano che viene ceduto alla rete di distribuzione. Il risultato è eclatante in quanto, con 35.000 tonnellate annue di rifiuti organici da raccolta differenziata, si produce metano per alimentare 100.000 pieni di un'auto di piccola cilindrata. Dopo il prelievo del prezioso gas, il materiale organico viene quindi trasferito nella linea di compostaggio in cui avviene il processo aerobico di trasformazione nel fertilizzante Amelia.

4. Campagna di monitoraggio dei terreni fertilizzati con Amelia
Nell'anno 2023 Aisa Impianti Spa ha promosso un progetto triennale denominato "Studio dell'efficienza fertilizzante dell'Ammendante Compostato Misto "Amelia" in prove di campo di medio periodo". Detta indagine è condotta in partenariato con Coldiretti Impresa Verde Arezzo srl, che ha fornito la consulenza tecnica e Tenute di Fraternita S.R.L., azienda agraria di proprietà della fondazione Fraternita dei Laici di Arezzo, che ha messo a disposizione il proprio piano colturale oltre ai propri agronomi. Scopo del progetto è quello di valutare l'ammendante "Amelia" in alcune delle colture più rappresentative della provincia di Arezzo attraverso la misurazione dei parametri produttivi, qualitativi ed economici su superfici significative. Tenute di Fraternita S.R.L. gestisce con il metodo biologico 23,5 ettari di oliveto; 45 ettari di vignato; 3,6 ettari di melo e 1 ettaro di orticole da pieno campo.
Nello specifico, le attività del progetto di ricerca sono rivolte a:
– Valutare gli effetti dell'impiego del compost Amelia sulla sostanza organica dei terreni oggetto di indagine;
– Effettuare una comparazione quantitativa (produzioni unitarie) e qualitativa (parametri organolettici) delle colture interessate dall'ammendante;
– Valutare i costi/benefici dell'impiego del compost rispetto all'impiego di mezzi tecnici analoghi.

5. Materiali e metodi del progetto

5.1 Analisi dei suoli aziendali prima e dopo la distribuzione di compost "Amelia"
Per lo svolgimento delle attività si è reso necessario partire dalla "fotografia" dello stato di fatto in cui i terreni aziendali si trovavano dal punto di vista chimico-fisico. In altre parole si sono effettuate analisi su terreno non fertilizzato con ammendante Amelia e analisi su terreni in cui l'ammendante era stato distribuito andando a rilevare i seguenti parametri:

– Tessitura; ph; calcare totale; calcare attivo; sostanza organica; azoto totale; fosforo assimilabile; potassio scambiabile; capacità di scambio cationico; sodio totale; conducibilità elettrica; metalli pesanti.
Per stabilire il numero di campioni da inserire nel progetto si è tenuto conto dei parametri definiti dalle misure agroambientali del PSR della Regione Toscana, tuttavia, secondo le Buone Pratiche Agronomiche definite dallo stesso PSR si è ritenuto opportuno procedere secondo "aree omogenee" ugualmente rappresentative.

5.2 Distribuzione di Amelia
Amelia è stato distribuito con spandi compost auto caricante ad azione pneumatica, andando a formare andane omogenee a monte dei filari olivati in quanto trattasi di appezzamenti collinari.

5.3 Assistenza e rilievi di campagna
Durante la stagione primaverile – estiva, a cura di Coldiretti – Impresa Verde Arezzo e Tenute di Fraternita S.R.L., sono stati effettuati rilievi di campagna al fine di registrare i parametri vegeto-produttivi utili a valutare gli effetti della somministrazione dell'ammendante. In tabella 2 sono riportati i valori di sostanza organica, carbonio umico e fulvico emersi nel primo ciclo di indagini analitiche a seguito dell'impiego dell'ammendante compostato misto Amelia.
Riportiamo di seguito i dati salienti delle indagini analitiche.

PARAMETRO	CAMPIONE	RISULTATI	DIFFERENZA
Sostanza organica Sostanza organica	**Con compost** Senza compost	**38.75 g/kg (3,87 %)** 15.04 g/kg (1,54 %)	**+157,64%** **+ 23,71 g/kg**
Carbonio organico Carbonio organico	**Con compost** Senza compost	**22.48 g/kg** 8.73 g/kg	**+157,50%** **+13,75 g/kg**
Carbonio umico Carbonio umico	**Con compost** Senza compost	**30.9 g/kg** 23.9 g/kg	**+29,28%** **+7 g/kg**
Carbonio fulvico Carbonio fulvico	**Con compost** Senza compost	**36.8 g/kg** 19.7 g/kg	+86,80% +17,10 g/kg
Azoto totale Azoto totale	**Con compost** Senza compost	**2.54 g/kg** 1.22 g/kg	**+108,19%** **+1,32 g/kg**

Tab. 2 – *Valori di sostanza organica, carbonio umico e fulvico emersi nel primo ciclo di indagini analitiche a seguito dell'impiego dell'ammendante compostato misto Amelia*

Dall'esame dei referti analitici si apprezza **un notevole incremento della sostanza organica nei terreni interessati dal compost rispetto ai testimoni non concimati**. Valori elevati si sono registrati anche nel caso del carbonio umico e fulvico e quindi per i relativi acidi organici i quali, come noto, sono importantissimi per le azioni di chelazione dei nutrienti e per il turn over della sostanza organica. I metalli pesanti hanno riportato valori trascurabili.

5.4 Produzione
Nell'anno 2023 non è stato possibile valutare produzioni significative a causa delle avversità meteoriche. Le piogge persistenti durate fino al mese di giugno hanno compromesso la produzione dell'olivo (dilavamento del polline) e gli attacchi peronosporici hanno determinato ingentissimi danni alla produzione dell'uva, tanto che a livello governativo sono stati predisposti dei ristori alle imprese. Nel corso del 2024 auspichiamo di poter effettuare tutte le valutazioni enunciate dal protocollo di cui al progetto. Un progetto analogo è in fase di studio con l'Isis – Indirizzo agrario – "Angiolo Vegni" di Cortona.

6. Conclusioni

Una delle problematiche che Aisa Impianti sta affrontando è quella della distribuzione del compost. La provincia di Arezzo è caratterizzata dalla presenza di quasi tutte le colture: da quelle arboree – compresi i frutteti specializzati – a quelle orticole ma soprattutto è caratterizzata dalla presenza di vigneti, oliveti e colture di pieno campo quali i cereali e le oleaginose. Vigneti e oliveti abitano non solo la medio bassa collina, ma si arrampicano anche in terrazzamenti sostenuti da muri a secco (colline di Cortona, Castiglion Fiorentino e del Valdarno Aretino). È chiaro che in dette condizioni disporre di soluzioni agevoli per una rapida distribuzione del compost risulti cruciale per una diffusione del prodotto a livello territoriale. Per rispondere a questo problema Aisa Impianti ha recentemente acquisito due distributori a meccanismo rotativo pneumatico, auto caricanti, analoghi a quello gestito da Tenute di Fraternita S.R.L, anche questo fornito da Aisa Impianti.

Questo tipo di mezzi "portati" sono dotati di una coclea della capacità di circa 2 mc e provvisti di un piatto andanatore, ideale per distribuire il compost sfuso lungo la fila delle colture arboree.

6.1 Vantaggi e criticità dell'impiego dello spandi compost a distribuzione pneumatica

– Possibilità di azione con un solo operatore – trattorista
– Azione auto caricante – la coclea si apre e raccoglie il compost direttamente dal cumulo
– Uniformità distributiva lungo la fila in funzione della velocità di lavoro della trattrice
– Possibilità di distribuire il compost in appezzamenti a forte pendenza (terrazzamenti) altrimenti difficilmente raggiungibili

Nonostante un volume di carico pari a 2 metri cubi che può risultare limitante per grandi superfici colturali la tipologia di spandi compost scelta da Aisa Impianti Spa risulta adeguata alle caratteristiche di tutte le situazioni operative sia per ciò che concerne le colture arboree (sopra citati casi degli oliveti e dei vigneti) che per le colture estensive dove risulta sufficiente organizzare gli scarichi del compost in prossimità degli appezzamenti interessati.

Bibliografia

[1] **Re soil foundation** – Rapporto suolo 2023 – Atti del convegno – Torino.
[2] **Pietro Violante** – Chimica e fertilità del suolo – pag. 63 – 92
[3] **Marino Perelli** – Trattato di scienza dei fertilizzanti – pag. 123 – 130

Esperienza di gestione di impianti di biostabilizzazione del sottovaglio da trattamento meccanico di rifiuti solidi urbani

Luca Tassini l.tassini@secitimpianti.it, Andrea Eleuteri, Damiano Riccioni
Secit Impianti Srl, Perugia
Alessio Lutazi, Massimo Pera
Gesenu SpA, Perugia
Francesco Lombardi
Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Roma

Riassunto
L'osservanza dei limiti stabiliti dalla vigente normativa per l'IRDP, affinché le FOS in uscita dagli impianti di stabilizzazione aerobica di rifiuti possano essere utilizzate nelle discariche in sostituzione delle terre naturali per l'operazione di ricopertura giornaliera, non consente in realtà di valutare le effettive condizioni ottimali di gestione per assicurare l'efficienza e l'efficacia del trattamento. In questo lavoro viene presentato, pertanto, il programma di rilievo e controllo dei principali parametri di processo, su opportuni punti rappresentativi individuati nel sistema, per consentire il continuo e razionale adeguamento del settaggio impiantistico per l'appropriata conduzione dello stabilimento di biostabilizzazione aerobica di Pietramelina (Perugia). Per l'anno di gestione 2023, ciò ha permesso di garantire il costante rispetto dei requisiti ambientali di questa matrice e il rispetto dei parametri emissivi dell'impianto di trattamento.

Summary
Compliance with the limits established by current legislation for IRDP enables FOS exiting from aerobic waste stabilization plants to be used in landfills as a substitute for natural soil in daily cover operations. However, this does not adequately evaluate the optimal management conditions necessary to ensure the treatment's efficiency and effectiveness. This work presents a program designed to survey and control the main process parameters. These parameters are monitored at specific representative points identified within the system. This approach allows for the constant adjustment of the plant setting to optimize the management of the aerobic biostabilization plant in Pietramelina (Perugia). For the 2023 management year, this method has ensured consistent compliance with environmental requirements related to this matrix and with the emission parameters of the treatment plant.

1. Introduzione

Nell'ambito dei processi di trattamento del Biowaste [1], in particolare di quelli operanti mediante stabilizzazione aerobica dei rifiuti, nonostante il principale interesse sia rivolto al riciclo delle frazioni organiche presenti, nel centro e sud Italia rivestono ancora un ruolo strategico ed importante gli impianti di trattamento meccanico biologico che attuano anche la

stabilizzazione aerobica delle matrici biodegradabili presenti nel rifiuto residuale da raccolta differenziata [2] [3]. Anche per queste frazioni, la finalità è quella di ottenere dei rifiuti finali che possano essere sostituiti alle terre naturali per la ricopertura delle discariche [3]. Perché ciò avvenga, è necessario che le matrici in uscita da questi processi rispettino alcuni requisiti essenziali, individuati principalmente dal valore dell'indice respirometrico dinamico potenziale (IRDP). Per garantire l'osservanza dei limiti stabiliti per questo parametro dalla vigente normativa, è essenziale che anche per questi impianti, come anche per quelli di compostaggio e digestione anaerobica, si raggiungano efficienze di trattamento adeguate [2]. Infatti, la sola analisi dell'IRDP non consente di valutare le effettive condizioni ottimali di gestione; è necessario, quindi, definire ed attuare un opportuno programma di rilievo e controllo dei principali parametri di processo quali quantità e modalità di erogazione di aria fornita, valori di temperatura, umidità e pH sui punti rappresentativi del sistema impiantistico. Nel presente lavoro si descrivono le modalità operative approntate sull'impianto di biostabilizzazione aerobica del sottovaglio da rifiuti residuali da raccolta differenziata di Pietramelina (Perugia) gestito dalla società Gesenu SpA e condotto dalla società Secit Impianti Srl, attuate a partire dall'anno 2022. In particolare, è esplicitato il programma di rilievo e controllo dei principali parametri di processo nonché i valori acquisiti nell'anno 2023, grazie anche all'apporto consulenziale dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata; sono, inoltre, discussi i dati e gli accorgimenti gestionali adottati per garantire ottimali efficienze di processo ed il costante rispetto del valore limite individuato per l'IRDP.

2. Descrizione dell'impianto di biostabilizzazione di Pietramelina (PG)

Il polo impiantistico di Pietramelina (Figura 1) è un sito storico del Comune di Perugia deputato alle attività di trattamento, smaltimento e recupero di rifiuti. Tra queste attività è presente anche l'impianto di biostabilizzazione (TB) della frazione organica ottenuta dalla selezione dei rifiuti solidi urbani residuali da raccolta differenziata. L'impianto TB, in conformità alle vigenti BAT di settore, è costituito da un'unica linea di trattamento del rifiuto con una potenzialità complessiva pari a 35.000 Mg/anno. Lo stabilimento si compone delle seguenti sezioni impiantistiche (Figura 1): sezione di ricezione e caricamento linea (AREA A); sezione di biostabilizzazione in bacino dinamico (AREA B); sezione di scarico del bacino ed eventuale stoccaggio FOS (AREA C); sezione dei presidi ambientali (AREA D).

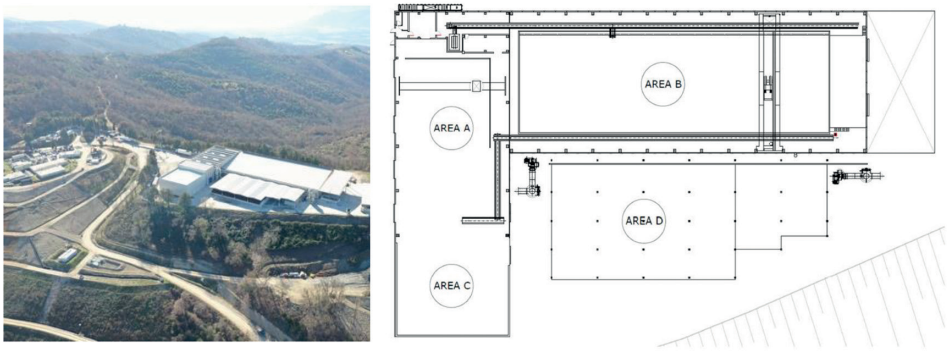


Fig. 1 – *Foto aerea dell'impianto di biostabilizzazione di Pietramelina (PG) e planimetria delle aree funzionali*

L'area di ricezione (AREA A) si trova all'interno di un prefabbricato, chiuso e mantenuto in depressione, dove sono garantiti continui ricambi d'aria captati mediante un sistema di condotti a soffitto e ventilatore di aspirazione; questi flussi sono successivamente convogliati

nell'edificio del bacino di biostabilizzazione (AREA B). Il sottovaglio organico da trattamento meccanico di RSU ricevuto viene trasportato e avviato in processo mediante un sistema combinato di carroponte con benna e tramoggia dosatrice, la quale alimenta il nastro lanciatore predisposto per la distribuzione del rifiuto all'ingresso del bacino di biostabilizzazione. Questo bacino, di tipo dinamico, ha dimensioni pari a 22 x 70 metri e posto all'interno di un edificio chiuso e confinato. Il rifiuto viene sottoposto ad una serie di rivoltamenti tramite l'azione di un organo di movimentazione costituito da quattro coclee (due superiori e due inferiori) e trasportato da un carroponte che, contestualmente, provvede anche alla bagnatura dell'ammasso. Il sistema di rivoltamento e movimentazione della biomassa effettua passaggi giornalieri su tutto il bacino assicurando un tempo di permanenza del rifiuto in trattamento di 28 giorni. Durante questo periodo avviene la fase termofila per la biostabilizzazione, ovvero la igienizzazione e la biossidazione aerobica della frazione putrescibile presente. Oltre che dal continuo rivoltamento meccanico fornito, le condizioni aerobiche del processo sono assicurate da un impianto di insufflazione forzata di aria proveniente dal fondo poroso del bacino. Il pavimento di insufflazione è suddiviso idealmente in sei zone, ciascuna servita da un ventilatore che permette di regolare in maniera differenziale l'aria immessa. L'ambiente chiuso del bacino di biostabilizzazione è dotato di un sistema di estrazione dell'aria, dimensionato per garantire un numero di ricambi di aria/ora almeno pari a tre, che convoglia i flussi aspirati al sistema dei presidi ambientali costituito da due torri di lavaggio a corpi di riempimento e biofiltro (AREA D). Il rifiuto trattato in uscita dal bacino di biostabilizzazione (FOS – Frazione Organica Stabilizzata) viene scaricato, in attesa di successivo caricamento e trasporto in discarica, in una dedicata area di stoccaggio (AREA C), separata e ben delimitata, ricadente all'interno dello stesso prefabbricato in cui avviene la ricezione del rifiuto da trattare.

3. Rilievo dati e controllo del processo di biostabilizzazione attuato nella gestione dell'impianto

Per la supervisione e gestione del processo di stabilizzazione aerobica presso l'impianto TB di Pietramelina, il bacino di biostabilizzazione ed i punti di controllo sono schematizzati come riportato in Figura 2.

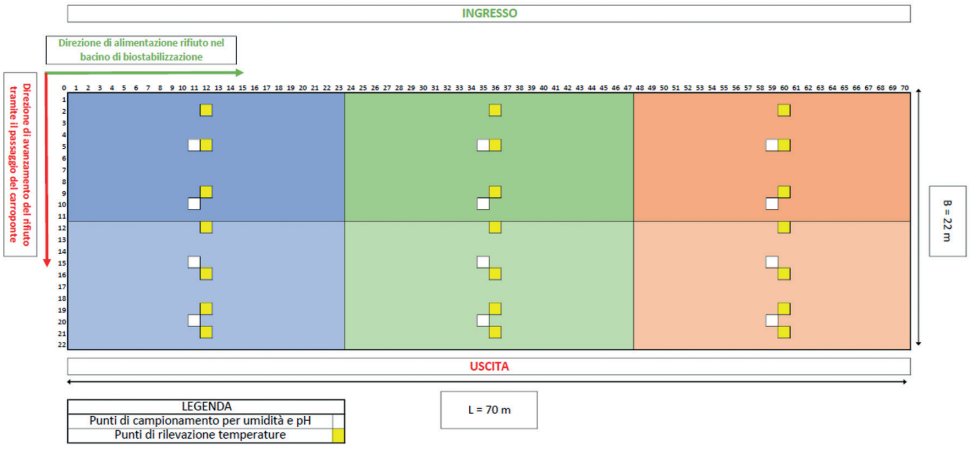


Fig. 2 – *Schematizzazione bacino di biostabilizzazione e punti di controllo del processo*

Il bacino di biostabilizzazione aerobica è stato virtualmente suddiviso in sei settori, ciascuno dei quali è servito da un proprio ventilatore di insufflazione; questo permette di regolare i quantitativi e i dosaggi temporali di aria necessaria al processo in maniera indipendente per

ogni settore. Il rifiuto da trattare viene alimentato nel bacino mediante il nastro lanciatore (tripper) in corrispondenza dell'ideale riga a zero metri rispetto all'avanzamento della frazione in processamento. Il ponte che lavora la biomassa all'interno del bacino di biostabilizzazione provvede giornalmente al rivoltamento del rifiuto ed eventualmente alla sua bagnatura, facendolo lentamente avanzare, per strisce parallele alla larghezza "B" del bacino (ovvero da 0 a 22 m), fino allo scarico (uscita) su nastro. Il nastro provvede, successivamente, a trasportare il materiale trattato nell'area di deposito e caricamento della FOS.
Per ottimizzare il processo di biostabilizzazione aerobica presso l'impianto in questione, è stato implementato un piano di campionamento necessario ad ottenere le informazioni, valutate indispensabili, per poter attuare le opportune azioni di miglioramento in modo da massimizzare la resa del trattamento.
Il piano di campionamento prevede la rilevazione:
– dei bilanci di massa su base mensile ed annuale (flussi di rifiuti in ingresso ed in uscita) relativi al bacino di biostabilizzazione;
– dei parametri del processo di biostabilizzazione, quali:
- temperatura del rifiuto in trattamento, con cadenza giornaliera (punti di rilevamento in giallo evidenziati in Figura 2);
- umidità e pH all'interno del bacino di biostabilizzazione, con cadenza di due volte a settimana (punti di rilevamento in bianco evidenziati in Figura 2);
- durata complessiva giornaliera (minuti/giorno) dell'aria insufflata nel bacino di biostabilizzazione e portata, con cadenza giornaliera;
- portata di acqua aggiunta in biostabilizzazione tramite carroponte, con cadenza giornaliera.
– dei risultati delle analisi chimiche di IRDP, SV, e DOC eseguite sul flusso in uscita dalla biostabilizzazione, con cadenza settimanale.
La temperatura all'interno del bacino di biostabilizzazione, in relazione anche allo spessore del letto del materiale in trattamento, è rilevata attraverso apposita strumentazione portatile (termometro ad infissione, Hanna Instruments mod HI-935005) che penetra ad una profondità di 1 m dalla superfice del bacino. Per la determinazione dei parametri umidità e pH, invece, si provvede ad effettuare un prelievo di circa 1 kg di rifiuto, per ogni punto di campionamento su esposto, e successive analisi. Di seguito sono esplicitati e discussi i risultati dei rilievi sopra elencati ed effettuati nel corso dell'anno di gestione 2023.

3.1 Bilancio di massa. In base ai dati acquisiti, le quantità di sottovaglio organico da trattamento meccanico di RSU trattate annualmente sono risultate pari a 22.301 Mg, con un'umidità media in ingresso pari al 39,3%; le quantità di FOS avviate in discarica sono risultate pari a 14.335 Mg, con un'umidità media in uscita pari al 20,2%. Le perdite di processo complessive sono risultate quindi pari a 7.966 Mg, corrispondenti al 35,7% sul tal quale e al 15,5% su base secca.

3.2 Temperatura nell'ammasso di processo. In Figura 3a è riportato l'andamento medio su base annuale e l'intervallo di variabilità (+/- deviazione standard) dei valori di temperatura misurati per fasce parallele alla lunghezza "L" del bacino, come rappresentato in Figura 2, per ciascuno dei tre punti presenti per fascia (le fasce si trovano a 1,5 m, 5 m, 8,5 m, 12 m, 15,5 m, 19 m, 21 m rispetto alla direzione di traslazione del materiale in trattamento nel bacino). L'andamento è tipico di quello riscontrabile nella letteratura di settore [1]. Si nota come il processo abbia sempre operato a temperature medie superiori ai 30°C, riscontrabili nell'ultima riga di rilevamento in corrispondenza dell'uscita del biostabilizzato. Inoltre, si osserva sempre un picco di temperatura superiore ai 55°C, in corrispondenza dei 5 metri dall'alimentazione del sottovaglio organico da trattamento meccanico di RSU, raggiunto dopo circa 6 giorni dall'im-

missione in bacino del rifiuto. Il perdurare del valore medio di temperatura superiore ai 55°C (fase di igienizzazione) è risultato mediamente pari a 5,7 giorni. Il processo si è mantenuto, in generale, in condizioni termofile (superiore ai 35°C) per circa 24 giorni rispetto ai 28 totali di trattamento previsti. In Figura 3b, con andamento dei profili di temperatura riferiti ad ogni mese dell'anno e tra loro comparabili, si può riscontrare come le condizioni climatiche, tipiche di ciascun periodo stagionale, comportino la presenza di temperature di processo maggiori nel periodo estivo e minori nel periodo invernale; queste variazioni generano la necessità, di volta in volta, di dover adottare repentini e opportuni accorgimenti finalizzati alla regolazione dei quantitativi di aria da fornire e di acqua da reintegrare nel bacino (maggiori nei periodi caldi - Figura 6 e Figura 7).

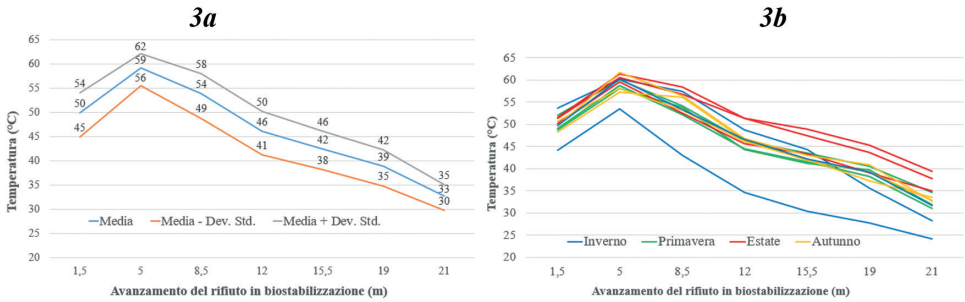


Fig. 3 – *Andamento medio annuale (3a) e andamento medio mensile (3b) della temperatura di processo nell'anno 2023*

3.3 Umidità nell'ammasso di processo. In Figura 4a è riportato l'andamento medio su base annuale e relativo intervallo di variabilità (+/- deviazione standard) dei valori di umidità determinati sugli individuati punti di campionamento ed espressi quale media dei punti ricadenti sulla stessa fascia rispetto all'avanzamento del materiale all'interno del bacino di biostabilizzazione. Si può riscontrare come il processo abbia sempre operato per lo più a valori di umidità superiori al 19%, con un trend crescente dall'uscita all'ingresso del bacino, grazie anche al costante apporto di acqua effettuato mediante il passaggio giornaliero del carroponte. In Figura 4b è riportato, invece, l'andamento medio su base mensile dell'umidità, espresso quale media dei valori sui punti di campionamento sempre ricadenti sulla stessa fascia rispetto all'avanzamento del materiale all'interno del bacino di biostabilizzazione. Si può riscontrare come le condizioni climatiche, tipiche di ciascun periodo stagionale, determinino, sia nel rifiuto in ingresso che in quello processato, maggiori valori di umidità nei periodi più freddi e minori in quelli più caldi; anche in questo caso, come già visto precedentemente per la temperatura, si devono adottare di volta in volta repentini e opportuni accorgimenti finalizzati alla adeguata variazione dei quantitativi di aria da fornire e di acqua da reintegrare nel bacino (maggiori nei periodi caldi - Figura 6 e Figura 7).

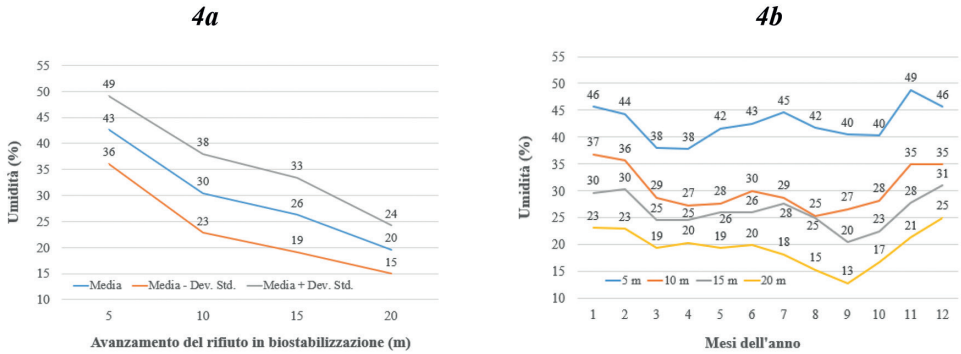


Fig. 4 – *Andamento medio annuale (4a) e andamento medio mensile (4b) dell'umidità di processo nell'anno 2023*

3.4 pH nell'ammasso di processo. In Figura 5a è riportato l'andamento medio su base annuale dei valori di pH determinati sugli individuati punti di campionamento ed espressi quale media dei punti di campionamento ricadenti sulla stessa fascia rispetto all'avanzamento del materiale all'interno del bacino di biostabilizzazione. Si può osservare come l'andamento sia tipico di quello riscontrabile nella letteratura di settore [1], con trend crescente e valori al di sopra di quelli di neutralità in corrispondenza dell'uscita della massa dal processo. In Figura 5b è riportato, invece, l'andamento medio su base mensile del pH, espresso quale media dei valori sui punti di campionamento ricadenti sulla stessa fascia rispetto all'avanzamento del materiale all'interno del bacino di biostabilizzazione.

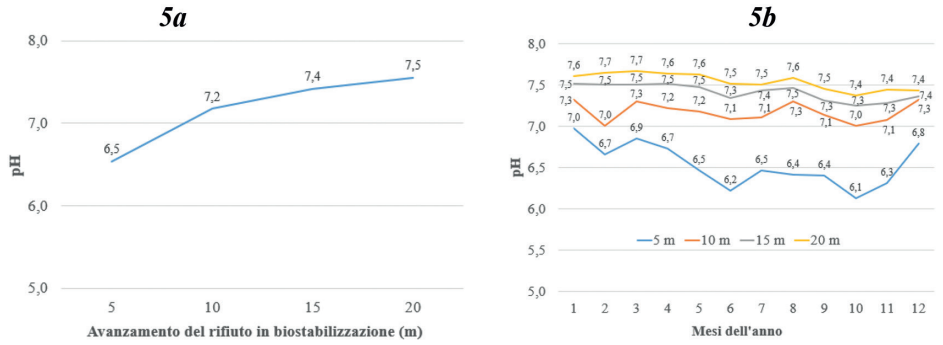


Fig. 5 – *Andamento medio annuale (5a) e andamento medio mensile (5b) del pH di processo nell'anno 2023*

3.5 Insufflaggio di aria e acqua aggiunta in biostabilizzazione. La necessità di adeguare repentinamente e opportunamente i quantitativi di aria da fornire e di acqua da reintegrare al processo per garantirne sempre una resa ottimale ha comportato, come già evidenziato in precedenza, la rilevazione e la valutazione giornaliera dei principali parametri di controllo quali temperatura, umidità e pH del rifiuto nel bacino di biostabilizzazione. In Figura 6 è riportato l'andamento medio, su base mensile, dei quantitativi di aria insufflata giornalmente alla massa in trattamento e il relativo intervallo di variabilità (+/- deviazione standard). I picchi di portata d'aria fornita si riscontrano nei mesi estivi.

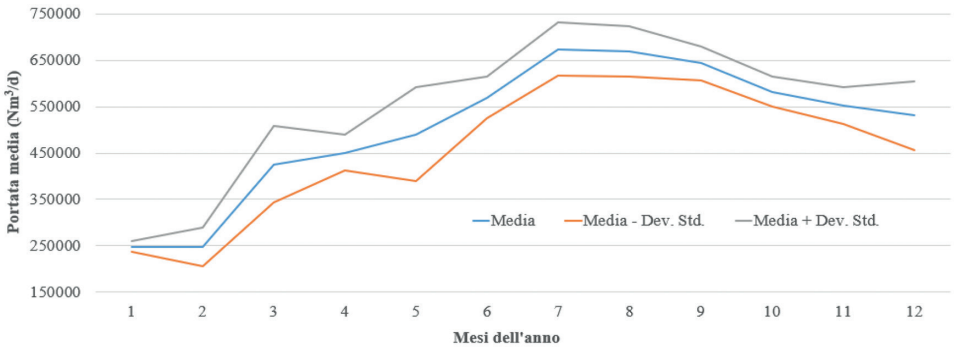


Fig. 6 – *Andamento medio mensile delle portate insufflate giornalmente nel bacino di biostabilizzazione nell'anno 2023*

In Figura 7 è riportato, invece, l'andamento su base mensile della quantità di acqua reintegrata al rifiuto in trattamento nel bacino di biostabilizzazione (anche qui maggiore nella stagione calda).

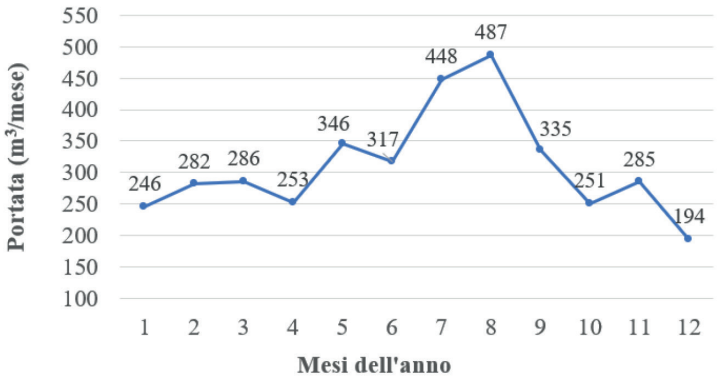


Fig. 7 – *Quantità di acqua reintegrata mensilmente nel processo nell'anno 2023*

3.6 Analisi di IRDP, SV, e DOC. I valori dei principali parametri chimici analizzati sul flusso in uscita dalla biostabilizzazione, con cadenza settimanale, sono riportati ed elaborati in Figura 8. In particolare, nel grafico superiore sono restituiti gli andamenti di IRDP, SV e ossigeno consumato (IRDP*SV), mentre nel grafico inferiore è riportato l'andamento del parametro DOC, il cui valore è stato utilizzato per avere maggior contezza dell'effettivo stato di efficacia del processo degradativo [3]. In generale, per tutto l'anno 2023, i rilievi settimanali hanno sempre evidenziato il rispetto del limite normativo imposto dell'IRDP; tuttavia, questi dati hanno anche sottolineato come il valore dell'effettiva determinazione del solo IRDP non può assumersi come semplice indicatore in grado di valutare il migliore o peggiore funzionamento del processo. Ciò è dovuto anche all'effettiva rappresentatività del campione su cui si effettua l'analisi di tutta la FOS in uscita dal bacino, sia per quanto riguarda il paramento IRDP che per il parametro SV. Se prendiamo a confronto settimane contigue, si può osservare come la variabilità dell'IRDP sia da ricondurre più alla variabilità di contenuto di SV riscontrati nel campione analizzato piuttosto che al valore effettivo di ossigeno consumato nella prova di determinazione dell'IRDP. Il valore invece del DOC, soprattutto per tenori inferiori a 1.500 mg/L, risulta un miglior indicatore sullo stato effettivo dell'evoluzione del processo. Queste

considerazioni avvalorano il convincimento di studiosi ed operatori del settore che la sola analisi dell'IRDP non consente di valutare criticamente le effettive condizioni ottimali di gestione e che tale disamina deve essere attuata solo attraverso un congiunto rilievo e controllo dei principali parametri di processo.

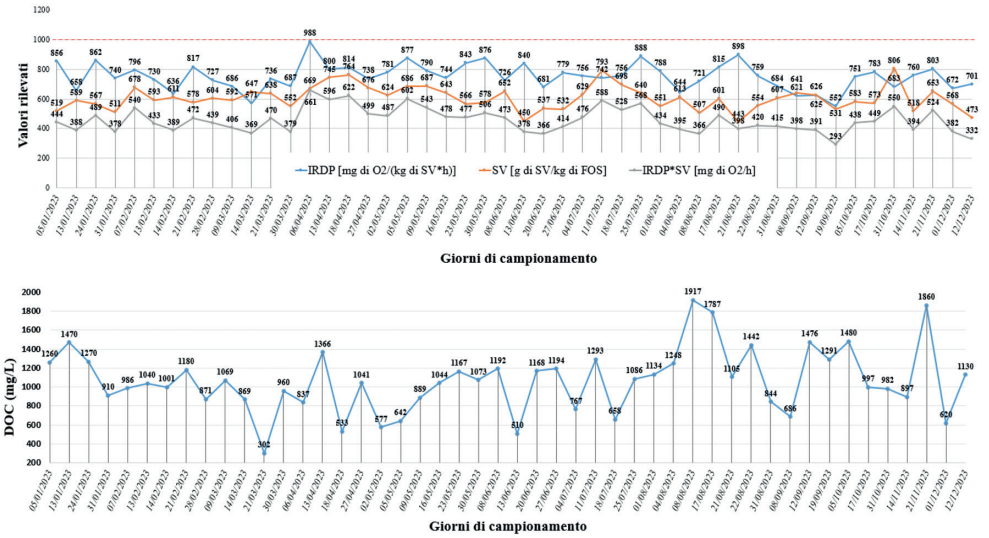


Fig. 8 – *Analisi di IRDP, SV, ossigeno consumato (IRDP*SV) e DOC nell'anno 2023*

4. Conclusioni

I dati e le discussioni esplicitati nel precedente paragrafo hanno mostrato come, attraverso un meticoloso e puntuale rilievo dei principali parametri di processo quali temperatura, umidità e pH, eseguiti sui punti rappresentativi del sistema impiantistico, ed il controllo dei principali parametri operativi quali quantità e modalità di erogazione di aria fornita e acqua reintegrata in bacino, sia possibile assicurare e garantire un'adeguata efficacia ed efficienza di trattamento per gli impianti di biostabilizzazione del sottovaglio organico da trattamento meccanico di RSU. Infatti, la sola analisi dell'IRDP non consente di apportare tempestive e consapevoli variazioni gestionali per l'ottimizzazione del processo in corso, anche a seguito di possibili brusche variazioni delle condizioni al contorno (condizioni climatiche). È necessario, quindi, che ogni gestore definisca ed attui un opportuno programma di rilievo e controllo dei principali parametri in gioco per poter impostare, coscientemente, il corretto settaggio impiantistico e massimizzare le potenzialità di biodigestione della frazione putrescibile del rifiuto, ottenendo così una massa in uscita sempre idonea e che rispetti i limiti normativi imposti.

Bibliografia

[1] P. Sirini, G. Tchobanouglous, R.C. Noto La Diega: "Ingegneria dei Rifiuti Solidi", MC Graw Hill Companies Srl, 2010;

[2] Lombardi F., Zingaretti D., Verginelli I., Costa G.: "Optimization of the Biostabilization Process of an Italian Mechanical–Biological Treatment Plant to Account for Changes in Waste Composition", Waste and Biomass Valorization (Volume 13, pp. 3757-3800), doi: http://dx.doi.org/10.1007/s12649-022-01788-9, 2022;

[3] Di Lonardo M.C., Lombardi F., Gavasci R.: "Quality evaluation and improvement of mechanically–biologically treated municipal solid waste in view of a possible recovery", International Journal of Environmental Science and Technology, ISSN 1735-1472, doi http://dx.doi.org/10.1007/s13762-014-0735-4 (Volume 12, Issue 10, pp. 3243-3254), Oct 2015.

Da scarti di mela ad ammendanti: il progetto “SMS-Green”

Sara Bertolini sara.bertolini@fmach.it, Daniela Bona, Luca Grandi, Andrea Cristoforetti, Luca Tomasi, Silvia Silvestri
Fondazione Edmund Mach, San Michele all’Adige (TN)

Riassunto
Vengono illustrati i principali risultati di prove sperimentali di digestione anaerobica e compostaggio delle biomasse di scarto generate dall’industria di trasformazione della mela. Le attività svolte si pongono il duplice scopo di valutare da un lato l’opportunità di sfruttare energeticamente tali sottoprodotti, in co-digestione con gli effluenti zootecnici disponibili nello stesso contesto territoriale, dall’altro di contribuire al reperimento di prodotti di qualità per la restituzione al suolo di nutrienti e, in termini più generali, per la gestione della fertilità dei terreni agrari, in linea con i principi della bioeconomia circolare e con le strategie europee più recenti.

Summary
The main results of experimental tests of anaerobic digestion and composting to valorize bio-residues from the apple processing industry, are exposed. The activities carried out have the aims of exploiting energetically these residues in co-digestion with the livestock effluents available in the same territorial context, and at the same time, of responding to the agronomic needs of finding quality products for the management of soil fertility. The results of the project could be useful to evaluate the best solution in terms of nutrients-returning to the soil after the valorization of biomass, in line with the principles of the circular bioeconomy and the most recent European strategies.

1. Introduzione

Il Trentino è una delle più importanti regioni europee per la produzione di mele di qualità. La produzione annuale si attesta attorno alle 486000 tonnellate, corrispondenti al 20% della produzione totale italiana [1], di cui 25000 tonnellate destinate alla produzione di succhi, puree e snack a base di mela. Dalla trasformazione di questo frutto, l’industria agroalimentare si trova a gestire un residuo lignocellulosico corrispondente al 25-30% del peso fresco iniziale, chiamato marcomele (in inglese *apple pomace*, AP).
Il progetto “SMS Green-Bioeconomia circolare: sostenibilità melo-suolo” (in sigla “SMS Green”), applicando i principi della bioeconomia, ha la finalità di chiudere il cerchio della filiera frutticola trentina relativa alla coltivazione, produzione e trasformazione della mela, attraverso l’introduzione di processi tecnologici e gestionali che consentano il recupero e la valorizzazione del marcomele per la produzione di energia e di ammendanti.
Parallelamente alle attività di produzione, caratterizzazione e studio degli effetti al suolo degli ammendanti, **è stato** svolto un monitoraggio del grado di fertilità di cento suoli frutticoli trentini che consentirà di individuare la destinazione migliore dei prodotti ottenuti, ai fini di un miglioramento della fertilità, in termini di apporto e stoccaggio a medio e lungo termine di carbonio organico e di nutrienti.

Il progetto, iniziato a settembre 2022 e attualmente in corso, **è** cofinanziato dal Piano Sviluppo Rurale della Provincia Autonoma di Trento e dal FEASR 2014-2020 nell'ambito della Operazione 16.1.1. (Partenariati europei per l'innovazione). Il coordinamento è affidato a Co.Di.Pr.A. (Consorzio Difesa Produttori Agricoli); i partner sono il Consorzio Melinda Snc, Agriduemila Srl e la Fondazione Edmund Mach (FEM) come referente tecnico-scientifico.

2. Relazione

Nell'ambito del progetto "SMS Green" il marcomele è stato testato in vario modo allo scopo di ottenere fertilizzanti organici di qualità. A fianco del compostaggio, processo ampiamente conosciuto e collaudato per la produzione di ammendanti, il progetto ha considerato l'opportunità di trattare il marcomele in co-digestione con gli scarti animali disponibili sul territorio. Infatti, in Provincia di Trento sono già operativi alcuni impianti di digestione anaerobica alimentati ad effluenti zootecnici, che potrebbero impiegare tale co-fermentante per la produzione di biogas. La frazione solida del digestato ottenuto potrebbe poi essere impiegata in frutticoltura.

Nell'ambito del progetto, un altro processo testato dal Consorzio Melinda Snc con il supporto scientifico del Dipartimento DICAM dell'Università di Trento (UniTN), è la carbonizzazione idrotermica (HTC) che consente di ottenere l'hydrochar, un prodotto ad elevato contenuto di carbonio. L'hydrochar è stato oggetto di recenti sperimentazioni [2] per un suo impiego come ammendante ed il suo co-compostaggio si è dimostrato particolarmente promettente per ottenere un buon prodotto con caratteristiche compatibili per l'utilizzo in agricoltura.

Dato che il marcomele rappresenta una preziosa bio-risorsa adatta ad essere processata, trasformata e riutilizzata in altri comparti anche settorialmente distanti da quello che l'ha generata, il Consorzio Melinda ha in essere ulteriori attività sperimentali inerenti all'estrazione di composti per la produzione di bioplastiche (zuccheri di seconda e terza generazione) e di composti bioattivi come per esempio pectine e polifenoli.

Nel presente lavoro vengono riportati i principali risultati ottenuti dai processi di digestione anaerobica e compostaggio condotti da FEM testando il marcomele tal quale, AP.

2.1 Caratterizzazione del marcomele.

Il marcomele AP è stato caratterizzato dal punto di vista chimico-fisico e agronomico, determinando il contenuto di solidi totali (ST), sostanza volatile (SV), pH, conducibilità elettrica specifica (CES), azoto totale, carbonio organico, fosforo e potassio. Per completare la caratterizzazione, sono stati inoltre quantificati i principali micronutrienti come Cu e Zn e i metalli pesanti ai sensi della L.75/2010 per gli ammendanti compostati (Tabella 1).

PARAMETRO		AP
Umidità	%tq	72.26 ± 0.08
Solidi volatili (SV)	%ST	98.37±0.26
pH	-	4.56
CES	µs/cm	36100
NTK	%ST	1.04 ± 0.03
TOC	%ST	67.2 ± 1.6
C/N	-	64.6
P	mg/kg ST	980.4 ± 109.5

Segue

PARAMETRO		AP
K	mg/kg ST	5239.8 ± 289
Cadmio	mg/kgST	< 0.04
Cromo tot	mg/kgST	0.04 ± 0.01
Mercurio	mg/kgST	< 0.01
Nichel	mg/kgST	0.05 ± 0.01
Piombo	mg/kgST	< 0.04
Rame	mg/kgST	3 ± 0.24
Zinco	mg/kgST	3.9 ± 0.26
Cromo VI	mg/kgST	< 0.2

Tab. 1 – *AP: caratterizzazione chimica, contenuto in micronutrienti e metalli pesanti*

Infine è stata caratterizzata, sia in termini quantitativi che qualitativi, la frazione lignocellulosica, in quanto componente principale del marcomele (AP) (Figura 1). Complessivamente la fibra lignocellulosica rappresenta il 33.9% della sostanza secca della biomassa con una prevalenza di lignina (17.9%ST) rispetto al contenuto di cellulosa (10%ST) ed emicellulosa (6%ST).

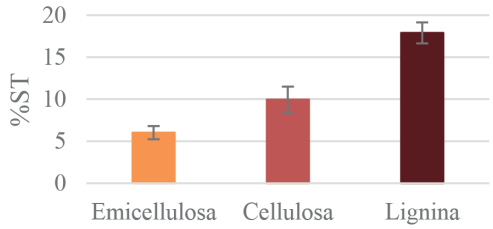


Fig. 1 – *AP: composizione della frazione lignocellulosica*

Come si può osservare dalle caratteristiche chimico-fisiche, la matrice testata è di notevole interesse per l'invio a compostaggio e digestione anaerobica perché ricca di sostanza organica (contenuto di C >67%ST). Oltre il 98% dei solidi totali sono rappresentati da solidi volatili. Un fattore da tenere in considerazione è il tenore di umidità che potrebbe rendere difficile la gestione per una eventuale conservazione e/o stoccaggio.
Ai fini di una possibile valorizzazione energetica del marcomele, è stata misurata la potenzialità di produzione di biometano (BMP, BioMethane Potential). Il risultato della prova di BMP è di seguito riportato (Figura 2).

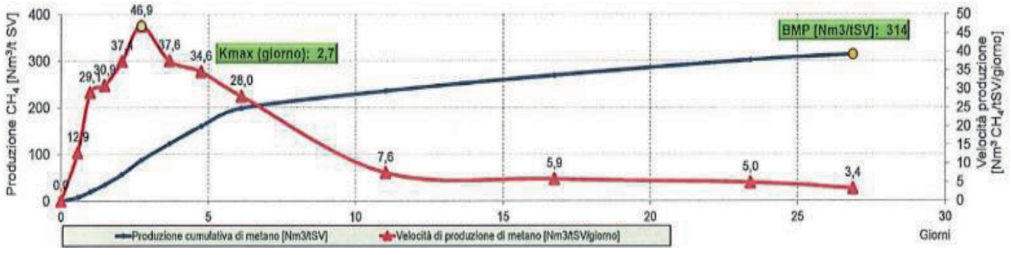


Fig. 2 – *AP: andamento curve test BMP test*

La produzione di metano mostra un picco di produzione (46.9 NL/kgSV) al secondo giorno di test e prosegue con produzioni via via inferiori fino al ventisettesimo giorno. L'attività enzimatica idrolitica determina la velocità complessiva del processo. Dall'andamento della produzione cumulativa di metano si osserva, nella prima parte della curva, una crescita più lenta dovuta al contenuto di una frazione fibrosa difficilmente attaccabile dalla flora microbica. La produzione specifica di metano è interessante e pari a 314 Nm^3CH_4/tSV collocandosi nel mezzo di una forbice di valori compresa tra 250-400 Nm^3CH_4/tSV di BMP di scarti vegetali di prodotti agricoli [3].

2.2 Digestione anaerobica

Il test di digestione anaerobica è stato condotto presso l'impianto pilota della FEM utilizzando il reattore di 1.8 m^3 di volume utile realizzato in AISI 304. All'interno è presente un mixer che garantisce il continuo rimescolamento della biomassa e una sonda che comunica in continuo il valore della temperatura al PLC (*Programmable Logic Controller*). Il condizionamento della temperatura è garantito da uno scambiatore di calore che scalda l'acqua di una serpentina di condizionamento della temperatura alloggiata nell'intercapedine dell'involucro esterno a sua volta coibentato. Lo spazio di testa libero all'interno del reattore è funzionale all'accumulo del biogas e permette il controllo visivo del pelo libero all'interno del digestore tramite un oblò. L'alimentazione del reattore avviene attraverso una pompa esterna immersa in una vasca di miscelazione nella quale viene preparata la miscela di carico del reattore. La misura della produzione di biogas avviene in continuo mediante un misuratore di portata collegato al PLC. Il marcomele AP è stato co-digerito in modalità semi-continua con reflui zootecnici (liquame bovino) in modalità "wet" ed in mesofilia a 42°C. Durante i 65 giorni effettivi di prova, sono state testate diverse condizioni operative in merito ai seguenti parametri:

– carico organico giornaliero (ORL): (a) 1.2 $gSVL^{-1}d^{-1}$, (b) 2 $gSVL^{-1}d^{-1}$, (c) 3.5 $gSVL^{-1}d^{-1}$;

– tempi di ritenzione (HRT) passando da 76 a 51 giorni, fino ad arrivare ad un HRT di 30 giorni;

– percentuali in peso crescenti di AP, fino ad un quantitativo massimo non superiore al 30% di co-fermentanti e 70% di reflui zootecnici ai sensi dell'articolo 114 della Legge Provinciale per il governo del territorio del 2015 per gli impianti di biogas in aree agricole.

Questo è servito per adattare l'inoculo all'aggiunta del co-fermentante ed ha inoltre permesso di valutare l'effetto di co-digestione del marcomele in particolare in termini di accumulo di acidi grassi volatili ed inibizione del processo.

Le misure giornaliere effettuate con l'analizzatore portatile OPTIMA7 BIOGAS hanno mostrato una buona % di CH_4 nel biogas, risultando mediamente pari a 55.8 ± 0.97 % CH4.

L'andamento del pH del digestato in uscita dal reattore si è mantenuto pressoché costante durante la prova, con un valore medio di 8,4 ad indicare che non ci sono stati fenomeni di accumulo di acidi nel reattore (Figura 3).

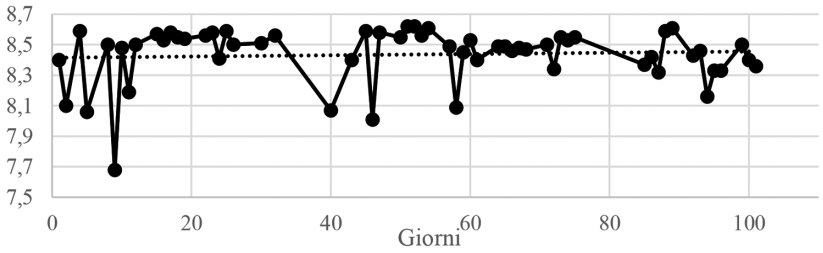


Fig. 3 – *Andamento pH test digestione anaerobica*

Parametro fondamentale per la verifica della stabilità del processo è la misura del FOS/TAC del digestato in uscita dal reattore che rappresenta il rapporto tra l'acidità e l'alcalinità totale. I valori si sono mantenuti inferiori a 0.4 durante tutto il periodo di prova, registrando un innalzamento all'incrementare del quantitativo di marcomele aggiunto nella miscela iniziale, ma comunque mantenendosi sempre nel range 0.23-0.35 (Figura 4).

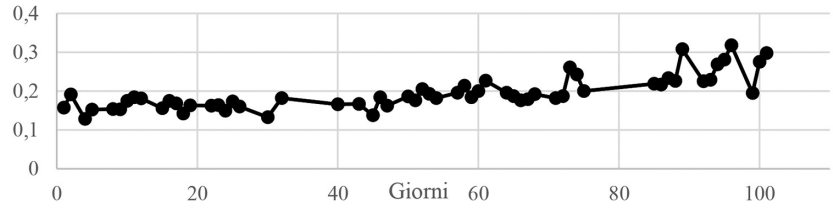


Fig. 4 – *Andamento FOS/TAC test digestione anaerobica*

Dalle caratterizzazioni dei mix in ingresso e del digestato in uscita è stato possibile monitorare la dinamica di rimozione della sostanza organica, che dà anche essa una misura dell'efficienza del processo biologico. Nell'ipotesi di carico di AP più elevata testata (30%), si raggiungono valori del 62% di rimozione di SV alla quale corrisponde una produzione specifica giornaliera di biometano pari a 0.14 $NLCH_4gSV^{-1}d^{-1}$. Come riportato in letteratura, nella co-digestione, il processo di digestione anaerobica è influenzato dal rapporto in miscela del substrato in ingresso e dalle sue caratteristiche [4]. Migliori performances potrebbero essere ottenute testando percentuali di addizione di AP più elevate. In questo caso, come già esposto in precedenza, la scelta è stata dettata dalla volontà di non eccedere le condizioni consentite dalla normativa provinciale in vigore, nell'ipotesi di un reale trattamento presso gli impianti di biogas agricoli presenti localmente.
Al termine del processo la frazione solida del digestato in uscita è stata caratterizzata per determinare contenuto di azoto, carbonio, fosforo e acidi umici e fulvici (Tabella 2). I risultati mostrano un buon contenuto di nutrienti paragonabile a quelli di digestati solidi campionati presso impianti che trattano reflui bovini (dati FEM).

ST (%tq)	**NTK (%ST)**	**TOC (%ST)**	**C/N**	**P_{tot} (%ST)**	**HA+FA (%ST)**
16.32	2.5	48.12	19.46	1.03	15.8

Tab. 2 – *Caratterizzazione digestato solido*

2.2 Compostaggio
Il marcomele AP è stato aerobicamente testato presso l'impianto pilota della FEM. È stata preparata una miscela omogeneizzando il sottoprodotto AP con materiale strutturante lignocellulosico e letame in modo da avere densità apparente, contenuto di sostanza secca (solidi totali, ST) e rapporto tra carbonio e azoto (C/N) tali da garantire condizioni adeguate all'attività microbica. Il letame è stato aggiunto per aumentare la percentuale di N per ricondurre il rapporto C/N su valori attorno a 40, dato che sia il marcomele che il materiale lignocellulosico hanno elevati valori di C e bassi di N. Per la preparazione delle miscele è stato utilizzato un miscelatore a coclee alimentato con pala meccanica in modo da ottenere un mix il più possibile omogeneo. Un cumulo di circa $4m^3$ così ottenuto, è stato disposto in platea, aerato durante la fase iniziale intensiva mediante insufflazione forzata dal basso, in modo da fornire quantità

stechiometriche di ossigeno per sostenere l'attività biologica, e protetto dalle precipitazioni mediante telo di geotessile.
La fase intensiva ha avuto una durata di 24 giorni, al termine della quale il cumulo è stato riallestito a tronco di cono per la fase di maturazione. Durante questo periodo il processo biologico è stato sostenuto mediante rivoltamenti periodici (3 in totale) a mezzo di macchina rivoltatrice a rotore orizzontale a palette a tempi precisi. Al fine di compensare le perdite idriche per evaporazione, il cumulo è stato irrigato in occasione dei rivoltamenti. Anche durante la maturazione il cumulo è stato protetto dalle precipitazioni mediante l'impiego di telo in geotessile per evitare umidificazioni eccessive e non controllate. La fase di maturazione ha avuto una durata di 65 giorni al termine della quale il compost grezzo è stato raffinato in vaglio rotante con luce passante di 10 mm.
Il processo è stato monitorato in ordine a diversi parametri, in particolare temperatura, umidità, sostanza volatile, pH e conducibilità. Inoltre, è stato determinato l'indice respirometrico dinamico (misurazione della velocità di consumo dell'ossigeno) per valutare l'evoluzione del processo di degradazione e la stabilità biologica del compost ottenuto. L'indice di respirazione dinamica (IR24, $mgO_2kgVS^{-1}h^{-1}$) è stato determinato con un respirometro dinamico AIR-NL.
Il monitoraggio dell'andamento termico (Figura 5) ha mostrato alternanza di cali e rialzi di temperatura delle biomasse in trasformazione.

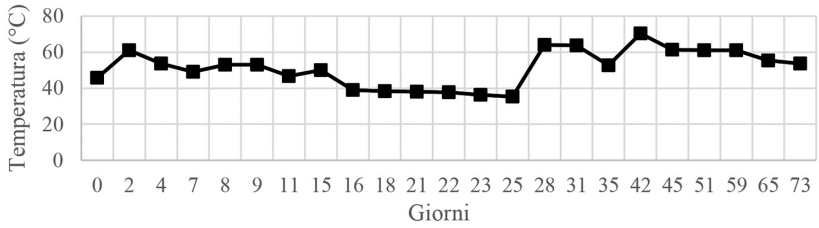


Fig. 5 – *Andamento temperatura compostaggio*

Inizialmente avviene la destrutturazione della frazione organica più facilmente degradabile (carboidrati ed emicellulose: zuccheri, acidi organici, amminoacidi) ad opera dei microrganismi aerobici, con consumo di ossigeno e liberazione di biossido di carbonio e calore. La temperatura dei cumuli, grazie all'energia generata dalle reazioni di ossidazione catalizzate dai microrganismi, aumenta progressivamente fino al raggiungimento del regime termofilo. Il più rapido incremento della temperatura, fino a 60 °C, si è ravvisato nelle 24-48 ore successive all'allestimento dei cumuli.
La buona porosità, il contenuto di azoto e la presenza di una matrice facilmente degradabile come l'AP, hanno facilitato un intenso processo bio-ossidativo, soprattutto durante la fase intensiva. Pertanto, è stato necessario apportare acqua per mantenere valori di umidità compresi tra il 40 – 60%, indispensabili per garantire l'attività microbica. Durante il processo il pH si è mantenuto costante tra 8 e 9.
I valori di DRI misurati sulla matrice di partenza (T0), alla fine della fase intensiva (T30) e sul compost finito (T90) mostrano che il processo di degradazione si esaurisce quasi completamente entro 30 giorni dall'allestimento dei cumuli raggiungendo condizioni stabili: IR_{T0}= 2185 $mgO_2kg_{VS}^{-1}h^{-1}$, IR_{T30}=332 $mgO_2kg_{VS}^{-1}h^{-1}$, IR_{T90}=310 $mgO_2kg_{VS}^{-1}h^{-1}$.
Alla fine del processo il compost finito è stato caratterizzato per determinare contenuto di azoto, carbonio, fosforo e acidi umici e fulvici al fine di essere impiegato come ammendante (Tabella 3).

ST (%tq)	NTK (%ST)	TOC (%ST)	C/N	P_{tot} (%ST)	HA+FA (%ST)
58.93	2.3	30.01	13.03	0.38	14.59

Tab. 3 – *Caratterizzazione compost*

4. Conclusioni

La valorizzazione del marcomele attraverso la produzione di digestato e compost da utilizzare come ammendanti in frutticoltura potrebbe rappresentare una buona strategia per ridurre i notevoli volumi di questo sottoprodotto difficile da gestire per il settore di trasformazione della mela, date le sue caratteristiche di elevata fermentescibilità. Non meno importante è la valorizzazione a livello territoriale di questa risorsa, che attualmente viene de-localizzata fuori Provincia, attraverso la co-digestione con i reflui zootecnici negli impianti a biogas agricoli presenti sul territorio. I risultati ottenuti mostrano che sia il digestato solido che il compost hanno un rapporto C/N bilanciato generalmente molto vicino a quello che di norma si riscontra nel suolo fertile (da 8 a 14). Il digestato solido, ricco di lignina, si può considerare un ammendante equivalente al compost, ma rispetto a quest'ultimo apporta più N e P. Inoltre, il ritorno al suolo di un questo materiale, che contiene carbonio piuttosto recalcitrante alla degradazione e azoto in una proporzione simile a quella che si riscontra nella sostanza organica del suolo favorisce la formazione di carbonio molto meno "labile" di quello di altri substrati organici; questo aspetto si traduce in un indice di umificazione più elevato rispetto ad altre matrici.

Le sperimentazioni attualmente in corso riguardano lo studio degli effetti degli ammendanti prodotti sulle comunità microbiche del suolo e sulla dinamica dei nutrienti, per comprendere meglio quali sono i benefici dei fertilizzanti di recupero, che si propongono come validi sostituti dei fertilizzanti di sintesi.

Bibliografia

[1] **ISTAT 2023**, *Censimento agricoltura dati 2023*, http://dati.istat.it/

[2] **Bona D., Bertoldi D., Borgonovo G., Mazzini S., Ravasi S., Silvestri S., Zaccone C., Giannetta B., Tambone F**., *Evaluating the potential of hydrochar as a soil amendment*, Waste management (2023) 75-83.

[3] **Soldano M., Garuti M., Fabbri C.,** *Verso il biometano avanzato: biomasse e potenzialità, BIOGAS INFORMA – N.26/2018.*

[4] **Kafle G.K., Kim S.H.,** *Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production: atch and continuous operation,* Applied Energy (2013) 61-72.

Tecnologie e metodi per il monitoraggio delle emissioni fuggitive di biometano da impianti di digestione anaerobica

Stefano Trotta s.trotta@crpa.it [1], Ivan Kostadinov [2], Enrico Cozzani [2], Mariangela Soldano [1], Mirco Garuti [1]
[1] Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA), Viale Timavo 43/2, Reggio Emilia, Italy
[2] Proambiente S.c.r.l., c/o CNR Research Area, Bologna, Italy

Riassunto
Gli impianti di digestione anaerobica possono far registrare emissioni fuggitive di metano che, se non prontamente identificate, possono determinare una perdita economica per gli impianti e un impatto ambientale. Da qui l'importanza di individuare soluzioni in grado di identificare in tempo reale le perdite fuggitive di biometano, così da ottimizzare il processo e garantire un minore impatto sull'ambiente. A questo proposito, è stata condotta un'indagine dello stato dell'arte volto a definire il livello tecnologico raggiunto relativo alle strumentazioni e alle metodologie impiegate per l'individuazione delle emissioni fuggitive di biometano. Lo studio ha messo in luce una grande variabilità dei risultati ottenuti e, nonostante le diverse attività di ricerca svolte in merito, si evidenziano ancora delle carenze in merito alle metodologie di monitoraggio degli impianti.

Summary
Anaerobic digestion plants could show fugitive methane emissions, which can result in economic loss and environmental issue. Hence, the importance of finding suitable solutions able to identify fugitive biomethane leakages in real time to optimize the process and ensure a lower impact on the environment. In this regard, the present work was carried out to define the state-of-art of the technological level achieved in terms of instrumentation and methodologies used for identification of fugitive biomethane leakages. The study revealed great variability in the results and despite several monitored case studies, there are still shortcomings regarding methodologies aimed to monitoring biomethane emissions leakages of anaerobic digestion plants.

1. Introduzione

La digestione anaerobica è un processo di tipo microbiologico che consiste nella degradazione della sostanza organica delle biomasse (i.e., effluenti zootecnici, residui colturali, sottoprodotti agro-industriali, frazione organica dei rifiuti solidi urbani – FORSU). Il processo di digestione anaerobica converte le complesse molecole organiche in biogas, ovvero una miscela gassosa contenente principalmente metano (CH_4) al 50-70%, anidride carbonica (CO_2) al 30-50% e altri gas in tracce.
Gli impianti di digestione anaerobica producono energia rinnovabile (elettricità, calore, biocarburante) ottenuta a partire dal biogas e puntano a recuperare i nutrienti attraverso la valorizzazione del digestato che risulta dal processo, incrementando la sostenibilità ambientale del sistema. Tuttavia, in alcuni casi si possono riscontrare emissioni fuggitive di CH_4 dagli

impianti. In particolare, tra le sorgenti di CH_4 fuggitivo si possono annoverare: la vasca di stoccaggio del digestato (qualora non fosse coperta e non vi sia un opportuno sistema di raccolta del biogas prodotto), i fumi incombusti del cogeneratore, l'*off-gas* proveniente dall'unità di upgrading, le cupole gasometriche, le valvole di sicurezza, etc. [1,2,3]. Se non prontamente identificate, queste perdite di CH_4 potrebbero raggiungere complessivamente anche il 10% dell'intera capacità produttiva dell'impianto [4]. Pertanto, se si considera che il CH_4 possiede un potere climalterante di circa 28 volte più elevato rispetto alla CO_2 [5] e che si prevede un incremento del numero di impianti di digestione anaerobica, risulta di fondamentale importanza individuare metodologie idonee per l'individuazione e la quantificazione delle emissioni fuggitive di CH_4. In questo modo, si potranno quindi attuare le giuste contromisure atte a mitigare le emissioni fuggitive e quindi migliorare ulteriormente l'impatto positivo sull'ambiente. Gli impianti di digestione anaerobica potranno inoltre beneficiare di questo intervento valorizzando una quota di CH_4 che altrimenti verrebbe dispersa in atmosfera.
Lo scopo del presente lavoro è di analizzare lo stato dell'arte inerente alla strumentazione e alle metodologie più innovative per l'identificazione e la quantificazione delle emissioni fuggitive di CH_4 dagli impianti di digestione anaerobica. Questo consentirà di avere una base scientifica per ulteriori indagini sulla tematica.

2. Risultati

2.1 Sorgenti emissive

Comprendere quali possono essere le eventuali sorgenti emissive di CH_4 presenti su un impianto è la base per poter intervenire in maniera tempestiva con le giuste contromisure al fine di ottimizzare il processo di digestione anaerobica, valorizzando il CH_4 prodotto, e di ridurne le emissioni in atmosfera.
Le sorgenti emissive non sono tutte uguali e richiedono delle metodologie appropriate per la loro individuazione. In particolare, si possono distinguere due tipologie di sorgenti emissive sulla base delle loro dimensioni: fonti canalizzabili e aree di emissione.
Le sorgenti canalizzabili sono delle fonti di emissione con area delimitata, per cui hanno una zona di emissione limitata nello spazio. Questo aspetto permette una determinazione più facile e completa della concentrazione di CH_4, così come la misurazione della portata del flusso di gas in uscita. Un esempio di sorgenti canalizzabili sono i fumi del cogeneratore, l'*off-gas* del sistema di *upgrading*, e il flusso d'aria in uscita tra i due teli nelle cupole a doppia membrana. In questi casi, il contenuto di CH_4 emesso da una singola sorgente sarà calcolato sulla base dei parametri di portata del flusso di gas in uscita e della concentrazione di CH_4. La determinazione della portata può essere condotta in maniera diretta mediante misurazione od ottenuti indirettamente dalle specifiche schede tecniche.
Le aree emissive, invece, rappresentano uno spazio troppo grande da essere completamente analizzato con una singola misurazione. Un esempio di area emissiva può essere una vasca di stoccaggio del digestato. In questo caso il metodo di analisi prevede una o più letture che rappresenteranno l'emissione complessiva della sorgente emissiva. In genere, queste misurazioni vengono condotte rendendo le aree emissive delle sorgenti canalizzabili. A questo scopo si utilizzano sistemi a camera aperta o chiusa, così da poter raccogliere le emissioni e determinare la concentrazione di CH_4 e la portata del flusso gassoso. La misurazione delle emissioni di un'areale presuppone che le emissioni siano uniformemente distribuite, ma in alcuni casi ciò non è sempre possibile. Ad esempio, la vasca di stoccaggio del digestato solitamente non è miscelata, la temperatura non è costante del tempo ed è condizionata dalla temperatura dell'aria esterna; per questo motivo si possono utilizzare i dati ottenuti per implementare modelli matematici per la stima del CH_4 emesso.

I risultati delle misurazioni serviranno, poi, a definire il fattore di emissione di CH_4 che rappresenta un valore percentuale del CH_4 complessivamente emesso rispetto alla produzione totale dell'impianto.

2.2 Tecniche di monitoraggio

L'identificazione e la quantificazione delle emissioni fuggitive di CH_4 possono essere condotte in maniera puntuale, considerando la singola sorgente emissiva, e/o in maniera olistica, considerando quindi le emissioni complessive dell'intero impianto. A questo proposito, in letteratura si identificano due differenti approcci: *in-situ* e *remote sensing*.

L'approccio di monitoraggio delle emissioni *in-situ* è comunemente impiegato per l'identificazione e la quantificazione delle singole fonti emissive presenti in impianto. Per esempio, si possono citare: la vasca di stoccaggio del digestato, il cogeneratore, il sistema di *upgrading* del biogas o il telo del gasometro.

Il secondo approccio, cioè *remote sensing* (o telerilevamento), si focalizza, invece, sul monitoraggio delle emissioni su scala impianto. I due approcci sono complementari, per cui uno non esclude l'altro. Implementare i due approcci permetterebbe di arricchire le informazioni relative allo stato operativo dell'impianto.

In Tabella 1 vengono riportati i vantaggi e i limiti che possono presentarsi per le due modalità di monitoraggio, finalizzate all'individuazione e alla quantificazione delle emissioni fuggitive di CH_4 da impianti di digestione anaerobica.

	In-situ	***Remote sensing* (Telerilevamento)**
Vantaggi	– Individuazione specifica delle singole sorgenti di CH_4 fuggitivo – Possibilità di adottare contromisure contenitive sulle specifiche componenti di impianto a seguito del monitoraggio – Limitata influenza delle condizioni meteo	– Determinazione del tasso di emissione globale dell'intero impianto – Limitata influenza della tipologia di impianto, in termini di *design* e di operatività
Svantaggi	– Il monitoraggio della singola sorgente di emissione fuggitiva non è continuativa nel tempo – Non tutte le sorgenti emissive sono facili da raggiungere dall'operatore o dalla strumentazione – Richiesti tempi prolungati per il monitoraggio complessivo da parte dell'operatore di tutte le sorgenti emissive presenti sull'impianto – Precipitazioni e basse temperature possono ostacolare il monitoraggio da parte dell'operatore	– Forte dipendenza dalle condizioni meteo (e.g., velocità e direzione del vento, pioggia) – Disturbo durante il monitoraggio indotto da ostacoli presenti in impianto (e.g., strutture, alberi)

Tab. 1 – *Vantaggi e svantaggi dei due approcci di monitoraggio delle emissioni fuggitive di CH_4. [6]*

2.2.1 Approccio in-situ

Il monitoraggio *in-situ* consiste nell'identificare e quantificare le singole sorgenti di emissione di CH_4 dagli impianti di digestione anaerobica. Questo approccio presuppone una prima fase di inventario in cui si riportano tutte le eventuali sorgenti di CH_4 note e nella successiva

identificazione delle fonti non note dell'impianto. La seconda fase, invece, consiste nella determinazione della quantità di CH_4 emessa da ogni singola sorgente. Generalmente, l'identificazione delle sorgenti emissive di CH_4 viene condotta con apparecchiatura specifica, di cui si riportano qui di seguito alcuni esempi.
Il laser infrarosso (IR) per il metano rileva ad una lunghezza d'onda ben definita (1653 nm) e risultante dalla riflessione della molecola di CH_4. Il funzionamento di base di questo strumento consiste nell'emissione di una luce ad una lunghezza d'onda ricadente nello spettro dell'IR e nella successiva determinazione della concentrazione di CH_4 sulla base della differenza tra la luce emessa e quella che ritorna allo strumento. Il dispositivo permette di ben localizzare il punto della perdita, ma non sempre può essere utilizzato a causa della mancata accessibilità di alcune zone da parte dell'operatore. Inoltre, lo strumento è fortemente influenzato dalla distanza di misurazione, poiché l'intensità della luce riflessa diminuisce esponenzialmente all'aumentare della distanza tra lo strumento laser e la sorgente di emissioni.
Lo *sniffer* è un dispositivo che permette di determinare la presenza di CH_4 attraverso un apposito sensore a semiconduttore. In particolare, analizza l'aria circostante e restituendo il dato di concentrazione in termini di parti per milioni (ppm). Lo strumento è di facile applicazione, ma non fornisce un risultato preciso sull'entità della perdita. Può essere, però, impiegato come analisi preliminare per individuare possibili emissioni su impianto per poi approfondire con strumentazioni più adatte. L'analizzatore biogas è uno strumento portatile in grado di misurare la composizione, in termini qualitativi (% o ppm), del gas analizzato. Come per lo *sniffer,* l'analizzatore permette di individuare possibili sorgenti emissive ma non sempre può trovare impiego per via della sensibilità dello strumento e della difficoltà per l'operatore di raggiungere alcuni punti.
Altre importanti strumentazioni per identificare e quantificare le emissioni fuggitive di CH_4 sono le camere di lettura dinamiche e statiche che vengono adoperate, in particolare, con aree di emissione. La misurazione consiste nel collocare la camera sulla superficie dell'area emissiva e misurare l'aumento della concentrazione di CH_4 che si sviluppa nel volume della camera stessa. In genere, i campioni di gas sono prelevati ad intervalli di tempo ben specifici e analizzati in un secondo momento in laboratorio per una maggiore robustezza dei dati raccolti. Poiché le camere hanno solitamente una superficie ridotta rispetto all'area sottoposta ad analisi, è necessaria una calibrazione preliminare con flussaggio di un gas a concentrazione nota, al fine di garantire risultati coerenti e limitare la variabilità, assicurando maggiore consistenza dei dati. Le camere di lettura si distinguono in due tipologie: aperte (o dinamiche) e chiuse (o statiche), se funzionano rispettivamente con un sistema di ventilazione di aria (o di un gas *carrier*) o senza. In particolare, la camera di lettura aperta è dotata di tubi di ingresso e di uscita, nonché di un ventilatore collegato per produrre un flusso di aria costante all'interno della camera. In questo modo, il biogas (contenente CH_4) proveniente dalla sorgente di emissione e l'aria fresca si miscelano all'interno del volume della camera stessa. La determinazione della concentrazione di CH_4 fuggitivo viene misurato dalla differenza tra l'aria miscelata in ingresso e in uscita dalla camera. Per esempio, la sperimentazione condotta da Liebetrau et al. [1] prevedeva l'incapsulamento dell'area emissiva con una camera e l'analisi in laboratorio, per mezzo di un gas cromatografo, del flusso di gas in ingresso e in uscita dalla camera. Un'alternativa a questa è la possibilità di misurare la concentrazione del CH_4 con un analizzatore biogas.

2.2.2 Approccio remote sensing
Il metodo di monitoraggio con telerilevamento è del tutto differente rispetto al precedente. Quest'ultimo, infatti, consiste nel determinare le perdite di CH_4 fuggitivo globali dell'intero impianto di digestione anaerobica. Questo tipo di strumentazione è in grado di misurare anche a diversi metri (> 100 m) di distanza dall'impianto, rendendo non più necessario eseguire

un campionamento del gas oppure collocarsi in prossimità dalla sorgente emissiva. Tra le strumentazioni impiegate per il telerilevamento vi sono la telecamera a rilevazione ottica di gas (*Optical Gas Imaging*, OGI) e telecamere a rilevamento e telemetria con immagini laser (*Laser Imaging Detection and Ranging*, LIDAR).
La telecamera OGI è una particolare strumentazione in grado di individuare le emissioni fuggitive di CH_4 non visibili ad occhio nudo. Si tratta di una telecamera che opera nelle onde medie (3-5 μm) e lunghe (7-14 μm) dell'IR, sviluppate in modo da rilevare le emissioni fuggitive sulla base della differenza di temperature tra il flusso gassoso emesso e l'aria circostante. In altre parole, la camera IR rileva la zona più calda o più fredda individuando l'emissione. La telecamera IR seppur non in grado di fornire un valore preciso relativo alle perdite di CH_4, risulta comunque un utile strumento per avere una stima preliminare del tasso di emissione di una sorgente puntuale. Tuttavia, va anche detto che questa telecamera da sola potrebbe non essere sufficientemente adatta in determinate condizioni meteorologiche. Pertanto, le concentrazioni di CH_4 effettivamente emesse devono essere confermate con l'impiego di altri dispositivi, poiché le condizioni meteo e la temperatura del gas sono parametri che potrebbero influenzare la visibilità delle emissioni. Il vantaggio di questa tecnologia è la possibilità di visualizzare le perdite globali di CH_4 su un impianto.
Il LIDAR permette di monitorare le emissioni fuggitive di CH_4 attraverso l'analisi della radiazione retrodiffusa emessa dallo strumento. Il funzionamento di base consiste nell'emissione di una luce laser con una lunghezza d'onda ricadente nello spettro di assorbimento del CH_4 e nella successiva lettura della lunghezza d'onda riflessa. In questo modo, è possibile determinare la presenza della molecola di CH_4 in base alla differenza della luce che ritorna allo strumento.
L'approccio da remoto per l'individuazione delle emissioni fuggitive di CH_4 può avvenire con diverse tecniche di misurazione: *i)* metodo di dispersione di gas traccianti (*tracer dispersion method*, TDM), *ii)* modello di dispersione inversa (*inverse dispersion modelling*, IDM), *iii)* rilevamento e misurazione della luce ad assorbimento differenziale (*differential absorption lidar*, DIAL). Il TDM è una metodica che permette di misurare le emissioni fuggitive di CH_4 attraverso la lettura combinata di un gas tracciante, tipicamente acetilene (C_2H_2), che viene rilasciato a concentrazioni note nell'area in cui è situato l'impianto. Il gas tracciante tenderà a spostarsi nell'aria simulando lo spostamento del CH_4 fuggitivo dall'impianto di biogas. A questo punto viene eseguita la misurazione della concentrazione del gas a concentrazione nota e del CH_4 attraverso strumenti analitici ad alta risoluzione. La concentrazione di CH_4 misurata è poi corretta per un fattore di correzione determinato dalla differenza della concentrazione del gas tracciante effettivamente rilasciato in atmosfera rispetto al valore misurato. La metodica IDM consiste nel determinare il tasso di emissione del CH_4 sulla base della misurazione sopravento e sottovento della molecola, abbinata a modelli di dispersione atmosferica.
Il metodo DIAL, invece, si basa sulla lettura di due differenti lunghezze d'onda, una delle quali coincide con lo spettro di assorbimento del CH_4. La differenza di assorbimento delle due lunghezze d'onda da parte della molecola di CH_4 misurate con lo strumento forniscono informazioni sulla distribuzione del CH_4 lungo il cammino ottico del fascio laser.

2.3 Casi studio
L'analisi dello stato dell'arte ha riguardato anche l'individuazione di casi studio, descritti in letteratura scientifica e report tecnici (pubblicati tra il 2011 e il 2023), condotti su impianti di digestione anaerobica (agro-zootecnici e a rifiuti) con l'obiettivo di individuare le principali sorgenti emissive di CH_4 fuggitivo. L'analisi statistica dei dati pubblicati ha evidenziato una grande variabilità nei risultati sia per quanto riguarda le emissioni di CH_4 fuggitivo delle singole sorgenti sia quando calcolate complessivamente sull'intero impianto. In dettaglio, lo

stoccaggio del digestato rappresenta l'elemento che maggiormente può incidere sulle perdite di CH_4 globali di un impianto. Le vasche di stoccaggio del digestato senza copertura e captazione del biogas residuo prodotto (stoccaggio aperto) hanno mostrato perdite di CH_4 in media del 4,7% sul totale prodotto, mentre le perdite registrate dagli stoccaggi del digestato con coperture per la captazione del biogas residuo prodotto risultano decisamente più limitate (< 0,5%). Questo sottolinea la grande importanza di dotare l'impianto di digestione anaerobica con coperture per il recupero del biogas prodotto nella fase di stoccaggio, almeno per i primi 30 giorni. Altri elementi di impianto che sono stati identificati come sorgenti di emissioni fuggitive di CH_4 sono le valvole idrauliche di sovrapressione delle vasche di fermentazione (2,2%); una più efficiente gestione dell'impianto di digestione anaerobica può abbassare in modo significativo poiché si tratta di emissioni fuggitive identificabili quando il biogas non è totalmente valorizzato. Emissioni fuggitive di CH_4 (Fig. 1) sono state anche identificate per il cogeneratore (2,1%) con emissione in atmosfera di CH_4 incombusto e per i sistemi di *upgrading* (1,4%) che determinano emissione di CH_4 nell'*off-gas* risultante dalla separazione della CO_2. Tra i sistemi di *upgrading* la tecnologia di *scrubbing* ad acqua risulta a più bassa efficienza (in media perdite di CH_4 del 2,5% sul totale), mentre i sistemi a membrane e lo *scrubbing* chimico con ammine mostrano perdite inferiori (< 0,5%). Altre sorgenti emissive a più limitato impatto (< 0,5%) sono i sistemi di stoccaggio delle biomasse, i sistemi di alimentazione degli impianti e la pre-vasca di miscelazione delle matrici.

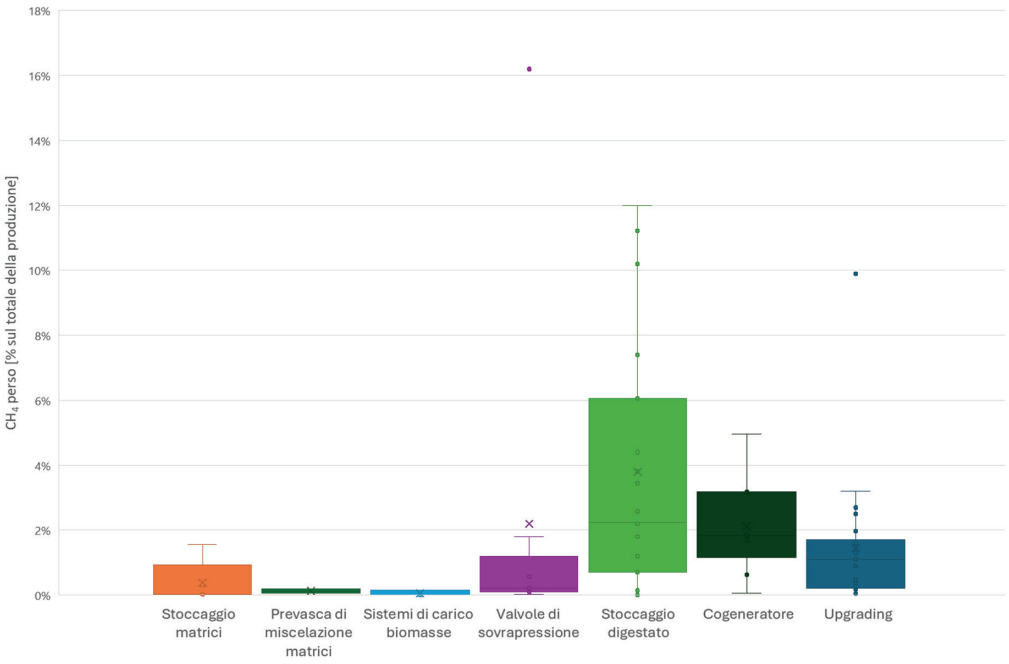


Fig. 1 – *Emissioni di CH_4 fuggitivo medie per ciascun elemento presente su un impianto di digestione anaerobica. (Elaborazione dati di letteratura).*

2.4 Approccio integrato

Le informazioni raccolte con la ricerca bibliografica rappresentano la base per lo sviluppo di una nuova ricerca (progetto BioMethane Tracer) finalizzata all'identificazione e alla quantificazione delle emissioni di CH_4 fuggitivo attraverso un approccio integrato. In particolare, si

prevede di condurre un monitoraggio delle emissioni di CH_4 fuggitivo su quattro impianti di digestione anaerobica che si diversificano per tecnologia impiantistica (due impianti di tipo *wet*, un impianto *semi-dry* e un impianto *dry*), biomasse utilizzate (due impianti agro-zootecnici e due impianti alimentati a FORSU) e valorizzazione del biogas (tre impianti che valorizzano il biogas mediante cogenerazione e un impianto a biometano).
La metodologia riguarderà:
• l'identificazione qualitativa delle potenziali sorgenti di CH_4 fuggitivo mediante fotocamera IR e sniffer, con successiva quantificazione di quelle maggiormente significative;
• l'analisi della produzione residua di biogas attraverso test di RBP (*Residual Biogas Potential*), i cui risultati ottenuti sono poi elaborati per il calcolo delle emissioni di CH_4 secondo i modelli matematici che tengono conto delle temperature, del volume e del tempo di stoccaggio;
• il telerilevamento in continuo per mezzo di tecnologia innovativa del Single Photon Lidar Gas Imager, per realizzare ricostruzioni 3D utili alla localizzazione e alla quantificazione delle emissioni di CH_4 fuggitivo su tutta l'area occupata da ciascun impianto di digestione anaerobica.
Le attività di monitoraggio saranno condotte in tre campagne svolte in stagioni diverse durante i tre anni di attività. L'obiettivo finale è la definizione di contromisure per limitare le perdite di CH_4 fuggitivo dagli impianti di digestione anaerobica monitorati.

3. Conclusioni
L'analisi della bibliografia ha permesso di identificare le tecniche di monitoraggio utili a identificare e quantificare il CH_4 fuggitivo da impianti di digestione anaerobica. L'approccio di monitoraggio delle emissioni *in-situ* è comunemente impiegato per l'identificazione e la quantificazione delle singole fonti emissive presenti in impianto. Il secondo approccio, cioè *remote sensing* (o telerilevamento), si focalizza, invece, nel determinare le perdite di CH_4 fuggitivo globali dell'intero impianto di digestione anaerobica.
Inoltre, sono stati analizzati casi studio offrendo un'elaborazione statistica delle emissioni registrate su diversi impianti di digestione anaerobica presi in considerazione nell'indagine bibliografica e identificando le sorgenti emissive. Lo stoccaggio non coperto del digestato rappresenta la sorgente emissiva preponderante di CH_4 su un impianto di digestione anaerobica quando non dotata di captazione del biogas residuo prodotto.
Queste informazioni rappresentano la base per lo sviluppo di nuove ricerche finalizzate all'identificazione e alla quantificazione delle emissioni di CH_4 fuggitivo attraverso approcci innovativi.
La presente attività si inserisce all'interno del progetto "*BioMethane Tracer – Linee guida per l'individuazione delle emissioni fuggitive di biometano negli impianti di digestione anaerobica*", finanziato da PR-FESR EMILIA ROMAGNA 2021-2027 – Priorità 1: Ricerca, innovazione e competitività; Obiettivo specifico 1.1; Azione 1.1.2.

Bibliografia
[1] Liebetrau, J., Reinelt, T., Clemens, J., Hafermann, C., Friehe, J., Weiland, P., 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. Water Sci. Technol. 67, 1370–1379. https://doi.org/10.2166/wst.2013.005
[2] Reinelt, T., Delre, A., Westerkamp, T., Holmgren, M.A., Liebetrau, J., Scheutz, C., 2017. Comparative use of different emission measurement approaches to determine methane emissions from a biogas plant. Waste Manage. 68, 173–185. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.053
[3] Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., Kougias, P.G., 2018. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnol. Adv. 36, 452–466. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011
[4] Wechselberger, V., Reinelt, T., Yngvesson, J., Scharfy, D., Scheutz, C., Huber-Humer, M., & Hrad,

M. (2023). Methane losses from different biogas plant technologies. Waste Management, 157, 110-120. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.012
[5] Myhre, G., Shindell, D., Br´eon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J. F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., Zhang, H., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, in: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M.M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Climate change 2013. The physical science basis; Working Group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge Univ. Press, New York NY, pp. 659–740.
[6] Clauß, T.; Reinelt, T.; Liebetrau, J.; Vesenmaier, A.; Reiser, M.; Flandorfer, C.; Stenzel, S.; Piringer, M.; Fredenslund, A. M.; Scheutz, C.; Hrad, M.; Ottner, R.; Huber-Humer, M.; Innocenti, F.; Holmgren, M. A.; Yngvesson, J. (2019). Recommendations for reliable methane emission rate quantification at biogas plants. [online]. (DBFZ-Report, 33). Leipzig: DBFZ. XII, 103 S. ISBN: 978-3-946629-43-6.

LEGNO E BIOMATERIALI PER L'EDILIZIA: UN PERCORSO DI DECARBONIZZAZIONE E DI ECONOMIA CIRCOLARE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Confagricoltura, Fondazione AlberItalia, Cluster Italia Foresta Legno**

Il legname ed i biomateriali sono una risorsa sempre più strategica per la bioedilizia e per il contrasto al cambiamento climatico grazie alla capacità cha hanno di sostituzione di prodotti da fonti fossili, di recupero di materiali di biologici di scarto, di migliori prestazioni energetiche degli ambienti realizzati, e soprattutto di stoccaggio di carbonio nel tempo. Nonostante da diversi anni si discuta delle prospettive del settore, la diffusione di tali edifici è ancora molto limitata, se non in alcuni specifici contesti, e ciò anche in relazione alla mancanza di politiche e misure specifiche per il settore della bioedilizia.Situazione che potrebbe vedere una evoluzione anche grazie alla definizione del sistema di certificazione del carbon farming nei prodotti legnosi; tenendo anche conto della sensibilità dei cittadini sui temi della sostenibilità e della salute legato ai biomateriali nell'edilizia. Partendo da questi elementi, l'obiettivo del convegno è quello di analizzare con rappresentanti del mondo della ricerca, delle associazioni, di professionisti, amministratori locali, ecc, i punti di forza e di debolezza del settore, a livello nazionale, per una riflessione su quali siano le leve da attivare per diffondere un modello di abitazioni e costruzioni a minore impatto, maggiore efficienza, e maggiormente legati alle risorse del nostro territorio, a costi competitivi. Ciò con riferimento ai diversi biomateriali e anche sfatando qualche mito circa la sicurezza degli edifici realizzati con biomateriali.

Presidenti di sessione:
Marco Marchetti, Fondazione Alberitalia
Roberta Papili, Confagricoltura
Silvia Piconcelli, Confagricoltura

Costruire l'edilizia del futuro

Federica Romano federica.romano@randstad.it, Giovanni Armillotta, Maria Berardi, Martina Gnudi, Francesca Lettieri – Randstad Research, Milano

Riassunto
L'edilizia rappresenta un settore chiave dell'economia italiana, trainante, anche grazie ai generosi incentivi fiscali ricevuti e alla spinta portata dal PNRR. Si trova oggi a fare i conti con due importanti criticità: da un lato, la bassa produttività che lo caratterizza storicamente e, dall'altro, la forte emorragia di professionisti dovuta alla crisi degli anni passati, che, in un settore fortemente caratterizzato dal training on the job mette a rischio la quantità e qualità di competenze a disposizione. Alla luce dello scenario attuale, questo paper, estratto dalla ricerca sul tema, individua i possibili scenari futuri del settore, sulla base delle innovazioni disponibili e dei trend che stanno impattando sul mercato del lavoro, ma anche sulla base dei mutamenti che stanno plasmando le professioni attuali e creando quelle del futuro.

Summary
Construction represents a key sector of the Italian economy, a driving force, also thanks to the generous tax incentives received and the boost brought by the PNRR. Today it finds itself having to deal with two important critical issues: on the one hand, the low productivity that characterizes it historically and, on the other, the strong outflow of professionals due to the crisis of the past years, which, in a sector strongly characterized by training on the job jeopardizes the quantity and quality of skills available. In light of the current scenario, this paper, extracted from research on the topic, identifies possible future scenarios of the sector, based on the innovations available and the trends that are impacting the labour market, but also on the basis of the factors that are shaping the current occupations and shaping those of the future.

1. Introduzione

L'edilizia copre, ad oggi, circa il 6% del Pil, con una filiera che arriva al 20%. Il settore è altamente concorrenziale e genera, annualmente, 220 milioni di investimenti fissi, di cui circa il 50% nel comparto residenziale. Gli occupati nel settore edile sono 1,7 milioni, per un terzo indipendenti, con basso livello di istruzione (5% di laureati) e per la quasi totalità di genere maschile (92%). La produttività del settore edile è storicamente stagnante, influenzata da tempistiche incerte, bassa attrattività per il capitale umano, catene del valore frammentate, estesi subappalti. Le sfide che il settore vede davanti a sé sono notevoli e richiedono di allineare il settore alle dinamiche degli altri settori economici, superando atteggiamenti e stili lavorativi del passato. In particolare, i 3 passaggi preliminari individuati [1] per effettuare tale transizione prevedono:
1. creare una filiera che sappia sfruttare differenze, punti di forza, know how dei territori;
2. mettere in comunicazione le diverse fasi del processo produttivo in ottica di trasparenza, resa e legalità;
3. ripensare l'organico delle imprese in maniera più strutturata e capace di coprire tutti gli aspetti del business.

La messa a frutto degli ingenti investimenti provenienti dal PNRR congiuntamente allo sviluppo delle innovazioni già a disposizione quali robot, esoscheletri, stampanti 3D, nuovi ma-

teriali, permettono di impattare positivamente sulla produttività e sulle caratteristiche dei lavori esistenti. Tutto ciò, congiuntamente con l'impatto dei megatrend principali quali digitalizzazione, richiesta di sostenibilità, ma anche cambiamenti demografici, apre le porte alla mutazione di alcune professioni preesistenti e alla creazione di nuove professioni.

2. I nuovi lavori nelle costruzioni

Il settore delle costruzioni rappresenta tra il 5 e il 6% del Pil e dà lavoro a più di 1,7 milioni di persone, pari a circa il 6,6% del totale dell'occupazione. Dal punto di vista degli investimenti la spesa per le costruzioni rappresenta circa la metà degli investimenti fissi lordi nel nostro Paese, per l'anno 2022, a fronte di 427 milioni di euro di investimenti, 220 sono stati effettuati nel settore delle costruzioni, di cui circa la metà in ambito residenziale (126 milioni). Il dato è certamente influenzato dai forti incentivi fiscali introdotti dal Governo per gli interventi di ristrutturazione ed efficientamento energetico, che hanno determinato una spesa complessiva superiore ai 100 miliardi di euro. Considerando gli effetti di spillover del settore edile con i diversi settori economici si attiva una filiera che coinvolge il 90% dei settori, ragione per cui l'edilizia genera l'effetto propulsivo più elevato sull'economia tra tutti i comparti di attività industriale.

Il settore edile è storicamente caratterizzato a livello internazionale da numerose inefficienze. La scarsa produttività che lo contraddistingue è motivabile con varie ragioni:

– La gestione incerta delle tempistiche, con circa l'80% dei progetti non consegnato nei tempi e costi previsti–

La gestione del capitale umano unita ad una scarsa attrattività motivata da rischi e fatica, che generano un circolo vizioso tra scarsa disponibilità di talenti e bassa possibilità delle imprese di offrire congrue remunerazioni

– Scarso impiego di nuove tecnologie, legata alla ridotta disponibilità di talenti, che limita l'innovazione

– Catene del valore frammentate, con diversi attori coinvolti che collaborano in maniera poco efficiente, generando tempi morti ed inefficienza

– Estesi subappalti in una governance spesso poco efficace.

2.1 imprese

Il settore delle costruzioni vede poco più di 520mila imprese all'attivo nel 2021, di cui il 95% con meno di 10 dipendenti. Il valore dell'indice HHI (3,269) è in linea con quello del settore dei servizi (3,119) e denota un settore fortemente concorrenziale. A conferma di ciò, il peso in termini di ricavi delle prime 10 aziende del settore è pari al 4,04% e non ha mai superato il 6%. Le grandi imprese del settore edile, concentrate nel settore dell'ingegneria civile, sono caratterizzate da un valore di efficienza superiore a quello delle piccole e medie imprese, ma inferiore a quello registrato dalle microimprese, concentrate nel settore della costruzione degli edifici. Il valore elevato dell'efficienza delle microimprese è motivato da un maggiore contenimento del costo del lavoro.

2.2 occupazione

Per tutti gli anni '90 gli occupati nel settore dell'edilizia hanno mantenuto un valore oscillante tra 1,4 e 1,5 milioni di addetti. A seguito dell'ingresso nell'Euro e dell'adozione dei primi incentivi fiscali (detrazione del 36%) l'occupazione ha iniziato a crescere, sfiorando i 2 milioni di addetti nel 2008. La successiva crisi finanziaria e la crisi del debito hanno poi ridotto considerevolmente i crediti al settore causandone una contrazione che ha comportato una perdita di oltre 400mila lavoratori nel decennio 2008-2018, invertitasi solo nel 2019. La distribuzione degli attuali 1,7 milioni di occupati è per il 59% nei lavori di costruzione specializzati, 35% nella costruzione di edifici e 6% nella realizzazione di grandi opere infrastrutturali. La quota

di lavoratori indipendenti è particolarmente elevata, circa uno su tre, così come quella degli occupati irregolari (15%). Il livello di istruzione degli occupati del settore è generalmente basso, più della metà non supera la scuola dell'obbligo e la quota di laureati è inferiore al 5%. La difficoltà di reperimento del settore è pari al 51,96%, molto più elevata rispetto ai servizi (37,76%) e poco più alta dell'industria (44,90%). Nel 50% dei casi la difficoltà è motivata dalle imprese con una mancanza di candidati, seguita dalla mancanza di competenze dei candidati rispetto alla posizione offerta.
Dal punto di vista delle competenze, un raggruppamento delle prime 10 competenze in ordine di numerosità [tab.1] richieste alle professioni dell'edilizia ha prodotto i seguenti risultati:

conoscenze	Meccanica; elettricità; principi di ingegneria; standard di qualità; disegni tecnici; matematica; processi di ingegneria; elettronica; software CAD; ingegneria elettrica
skill	Tenere traccia degli stadi di avanzamento del lavoro; lavorare in maniera ergonomica; individuare soluzioni per la risoluzione dei problemi; rispettare le procedure in materia di salute e sicurezza nell'edilizia; utilizzare le attrezzature di sicurezza in edilizia; ispezionare i materiali da costruzione; avere conoscenze informatiche; lavorare in una squadra edile; eseguire un giro di prova; indossare dispositivi di protezione adatti
Skill e competenze trasversali	Reagire rapidamente ad imprevisti; rispettare le scadenze; fornire ai clienti informazioni sulle riparazioni; garantire il rispetto della scadenza fissata per il completamento del progetto di costruzione; monitorare gli standard di qualità della produzione; fornire assistenza ai clienti; definire i criteri di qualità della produzione; eseguire un lavoro manuale in autonomia; assicurare la conformità alle politiche; prestare servizi in modo flessibile

Tab. 1 – *Prime dieci competenze per tipo richieste oggi ai professionisti dell'edilizia*

2.3 innovazioni
Il livello di digitalizzazione del settore edile è estremamente basso nel nostro Paese, secondo solo al settore agricolo. Tale scarsa diffusione non è tanto influenzata dalla mancanza di innovazioni, come vedremo a breve, quanto dalle ridotte dimensioni aziendali delle imprese, che incidono molto sulla possibilità di effettuare investimenti in tal senso. Ad oggi, possiamo raggruppare le seguenti principali innovazioni a disposizione del settore:
– robot da demolizione, con la possibilità di effettuare le operazioni in maniera selettiva, accelerano i processi, migliorano l'efficienza e contribuiscono alla riduzione dei costi. La possibilità di guidare le macchine tramite l'utilizzo di joystick apre a nuove prospettive rispetto anche a temi come remotizzazione ed inclusione
– saldatura automatizzata mediante robot, riduce il contributo manuale in operazioni pericolose, consente di eseguire lavori di alta qualità anche in ambienti complessi, con costi più contenuti e tempi ridotti rispetto all'operazione manuale. Richiedono ad oggi investimenti costosi e personale altamente specializzato per la loro programmazione e utilizzo
– droni, per trasporto, sorveglianza, scansione 3D, creazione di mappe e modelli. Incrementano sicurezza, comunicazioni e collaborazione. Il loro utilizzo permette anche di raccogliere dati in modo rapido e sicuro su aree a rischio potenziale, riducendo il rischio di incidenti e i costi
– robot da muratura, incrementano precisione, efficienza e produttività sostituendosi agli operatori per operazioni ripetitive quali la posa dei mattoni. I sistemi di progettazione assistita integrata permettono il tracciamento dei dati per garantire processi edili produttivi, sicuri e sostenibili
– esoscheletri, amplificano forza, velocità e agilità dei lavoratori edili, garantendo la sicurezza. Permettono di mobilitare pesi maggiori e di aumentare la produttività, riducendo la fatica e massimizzando l'efficacia

– stampa 3D, si presta ad una vasta gamma di utilizzi, dalla produzione di forme complesse alla costruzione di interi edifici in tempi estremamente ridotti rispetto al metodo tradizionale. Analogamente, il "contour crafting" è una tecnologia di produzione stratificata che consente la creazione di abitazioni residenziali o anche serie di case in un unico ciclo produttivo. Una tecnologia che si rivela ideale per la realizzazione di rifugi di emergenza e alloggi a basso costo
– realtà aumentata, può essere utilizzata per sovrapporre informazioni digitali su ambienti reali, fornendo ai lavoratori dati in tempo reale e ausili visivi per migliorare la sicurezza e l'efficienza. Unitamente all'utilizzo dell'intelligenza artificiale può essere utilizzata per prevedere i ritardi e contenere lo sforamento dei costi, ma anche per identificare potenziali rischi per la sicurezza
– nuovi materiali. Il patrimonio edile italiano pubblico e privato è il più vecchio d'Europa. Da solo produce il 35% di tutte le emissioni di CO2 e consuma il 40% della capacità energetica nazionale. Il calcestruzzo da solo è responsabile del 5% delle emissioni globali di gas serra. La produzione di altri materiali da costruzione, come l'acciaio, i mattoni e la plastica, richiede anche grandi quantità di energia e risorse naturali. La UE sta finanziando la ricerca di nuove tecnologie e materiali che possano ridurre l'impatto ambientale dell'edilizia. Una delle strategie è l'utilizzo di materie prime secondarie, come i rifiuti solidi urbani, le vecchie plastiche e le apparecchiature elettriche. In altri casi, si stanno sviluppando materiali bio-compositi e resine prodotte da rifiuti agricoli e forestali. Inoltre, si stanno studiando nuovi tipi di cemento a basso contenuto di carbonio, che potrebbero ridurre l'impronta di carbonio del settore edilizio del 30%, abbassare i costi del 15% e migliorare le proprietà isolanti del 20%. Questi nuovi materiali offrono diversi vantaggi rispetto ai materiali tradizionali. Sono più economici, più efficienti e più resistenti. Inoltre, potrebbero essere più ignifughi, impermeabili, isolanti acustici e termici, e offrire un ambiente interno più pulito. Alcuni esempi sono: cemento prodotto da rifiuti, materie plastiche riciclate, resine a base vegetale, leganti a basso contenuto di carbonio, legno lamellare incrociate.

2.3 PNRR ed edilizia

Analizzando il complesso dei fondi a disposizione per il PNRR per l'Italia ed estrapolando gli investimenti per il quali almeno il 50% dei fondi è riconducibile ad imprese del settore edile si ottiene un complesso di circa 94 miliardi di euro, il 42% totale dei fondi, a beneficio del comparto dell'edilizia. Effettuando uno screening dei bandi superiori al milione di euro ed emessi al 31 ottobre 2022 relativi al settore edile si ottiene un totale di 182 gare, con un fabbisogno di occupati nel settore edile che arriva a quasi 300 differenti tipi di figure. Tali figure si raggruppano in sei principali aree:

1. costruzione di infrastrutture
2. ristrutturazione, rigenerazione, riqualificazione
3. adeguamento energetico
4. installazione e manutenzione
5. impiantistica
6. adeguamento sismico e lavori fognari, di bonifica, di trattamento delle acque.

La categoria di professionisti più richiesta è quella degli operai (187 occorrenze, il 62% del totale), seguiti dai tecnici (38 occorrenze, 13% del totale) e dagli ingegneri (12 occorrenze, 4% del totale). Tra le altre figure troviamo architetti, addetti al verde e arredo urbano, manodopera qualificata, progettisti generici etc.

2.4 sviluppo delle professioni

Da qui al 2050 il settore edile italiano richiederà un fabbisogno totale di oltre 250mila lavoratori. Ma le competenze richieste non saranno le stesse di oggi. Le città stanno diventando sempre più intelligenti e gli edifici con loro. La rinnovata attenzione alla qualità della vita, aiutata dalla digitalizzazione, richiederà di sviluppare edifici ed infrastrutture intelligenti dal

punto di vista energetico e sostenibili dal punto di vista degli impatti e dei materiali utilizzati, in linea con i principi dell'economia circolare.
Partendo dai fabbisogni di competenze attuali per le professioni del settore edile possiamo fare tre principali considerazioni:
1. impatto permeante della digitalizzazione
2. importanza dei temi relativi a salute e sicurezza
3. forte richiesta di flessibilità (in particolare trasferte e lavoro su turni di 24h).
Tra i lavori presenti oggi alcuni dovranno evolversi, attraversando trasformazioni a breve e a medio/lungo termine.

Descrizione CP 4° digit	**Fabbisogno occupazionale a breve termine**	**Fabbisogno occupazionale a medio/lungo termine**
Ingegneri elettronici e in telecomunicazioni (2.2.1.4)	Ingegneri meccatronici, Ingegneri TBM	Specialisti di edge computing per smart building, Specialisti di ingegneria predittiva, Addetti alla programmazione e manutenzione di macchine robotiche
Architetti, pianificatori, paesaggisti e specialisti del recupero e della conservazione del territorio (2.2.2.1)	Specialisti della riqualificazione urbana, Specialisti del recupero del patrimonio immobiliare, Bioarchitetti	Chief sustainability officer di cantiere, Pianificatori urbani, Digital Twin Modelist, Addetti allo sviluppo di edifici cognitivi
Specialisti in contabilità e problemi finanziari (2.5.1.4)	Consulente edile, Pianificatori della continuità aziendale	Referente della conformità, Addetto alla prevenzione delle perdite, Specialisti EPBD
Tecnici elettronici (3.1.3.4)	Impiantisti per la domotica	Tecnici della scansione 3D, impiantisti IoT, Sviluppatori VR/AR, Specialisti di sensoristica
Tecnici della gestione di cantieri edili (3.1.5.2)	Coordinatore della progettazione del processo edile, Coordinatore dell'esecuzione del processo edile	Consulente per la razionalizzazione dei processi, Consulente di archeologia industriale
Tecnici della vendita e della distribuzione (3.3.3.4)	Consulenti LEED	Rappresentanti di pannelli solari
Montatori di manufatti prefabbricati e di preformati (6.1.2.7)	Assemblatori di squadra	Operatori di fabbriche portatili
Trivellatori e sondatori di pozzi petroliferi, di gas naturale, operatori di prospezione e professioni assimilate (7.1.1.3)	Lancisti, Erettoristi	Operatori TBM
Conduttori di mezzi pesanti e camion (7.4.2.3)	Addetti alla logistica inversa per il recupero dei materiali	Addetto a macchine demolitrici telecomandate, Dronisti per la mappatura dei cantieri
Manovali e personale non qualificato della costruzione e manutenzione di strade, dighe e altre opere pubbliche (8.4.2.2)	Esperto per l'utilizzo di cemento liquido	Tecnico di turbine eoliche, Manutentore per il settore energy

Tab. 2 – *Esempi di evoluzione delle professioni dell'edilizia*

Come si vede dalla tabella 2, sul lungo termine si apre poi spazio per nuove professioni come: dronisti per la mappatura dei cantieri, addetti alla logistica inversa per il recupero dei materiali, addetti al passaporto digitale di prodotto, gestori unificati dell'impiantistica.

3. Conclusioni

In un Paese come l'Italia, caratterizzato da una crescita della produttività tra le più basse dei Paesi avanzati, la trasformazione del settore delle costruzioni rappresenta una cartina di tornasole attraverso cui leggere la trasformazione economica del nostro Paese.
L'edilizia non riguarda soltanto le case, ma anche scuole, ospedali, gli spazi in cui viviamo ogni giorno. Il cambiamento climatico ci impone di porre attenzione alle iniziative future per la ristrutturazione, ammodernamento e riqualificazione degli edifici preesistenti, dal punto di vista energetico, impiantistico e sismico. Per affrontare le sfide di questo cambiamento occorrono nuove tecnologie, ma anche nuove figure professionali e nuove competenze.

Bibliografia

[1] **Randstad Research**, *Costruire l'edilizia del futuro, 2023.*

On the use of innovative materials and renewable energy sources for the energy retrofit of heritage buildings: an innovative approach based on circular economy principles

V.L. Castaldo veronicalucia.castaldo@rse-spa.it, C. Cavicchioli, L. Croci, F. Cotana
RSE S.p.A. – Ricerca Sul Sistema Energetico
Via Raffaele Rubattino 54, 20134 Milano, Italy – Via Maresciallo Pilsudski 124, 00197 Roma, Italy

Summary
Buildings in EU countries account for more than 30% of global energy consumption and generate up to 26% of total energy-related emissions. Existing and heritage buildings are responsible for more than half of this energy consumption. At national scale, more than 40% of the total consumption is attributable to the building sector; more than half of such consumption refers to historic buildings, which account for about 25% of the national building stock. Therefore, it is essential to provide effective and tailored approaches to identify non-invasive and conservative actions for such buildings, which typically feature outdated energy systems and low environmental quality. Heritage buildings present a particular challenge since standard refurbishment solutions cannot be applied without compromising their cultural and artistic value.
This study focuses on the proposal of an innovative method for improving the energy and environmental performance of heritage buildings based on circular economy principles.
The proposed approach involves, firstly, a comprehensive review of the building's history to understand its current conditions and explore architectural constraints and, secondly, the collection of available data on historical energy consumption and indoor environmental parameters to gain a thorough understanding of the building's current performance.
Based on this information, a set of potential retrofit measures is proposed and pre-assessed by means of Life Cycle Assessment (LCA) approach and the criteria of the main available energy-environmental protocols. Among the main solutions, the research considers innovative bio-based materials and renewable energy systems to enhance both the energy performance and the occupants' comfort.

Riassunto
Gli edifici nei paesi dell'UE sono responsabili per circa il 30% del consumo energetico globale, generando fino al 26% delle emissioni totali. A livello nazionale, più del 40% dei consumi totali è attribuitile al settore edilizio; oltre la metà di tali consumi è attribuibile a edifici connotati da un'elevata valenza storica, che costituiscono circa il 25% dello stock nazionale. Pertanto, è fondamentale adottare approcci efficaci e "su misura" al fine di individuare interventi non invasivi

e conservativi adeguati all'implementazione nell'ambito di tali edifici, che spesso presentano sistemi energetici obsoleti e una scarsa qualità ambientale.
In ottica di riqualificazione, gli edifici storici rappresentano una sfida particolare in quanto spesso le strategie più tradizionali non risultano applicabili in quanto sono incompatibili con i vincoli imposti dall'elevato valore artistico-culturale e dall'impossibilità di alterarne l'integrità e l'identità architettonica.
L'obiettivo della ricerca è proprio quello di identificare e proporre un approccio metodologico innovativo ed integrato che possa condurre al miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali degli edifici storici, basandosi su requisiti di sostenibilità ambientale e sui principi dell'economia circolare. Tale metodologia prevede, in primis, l'analisi storico-architettonica degli interventi pregressi per comprenderne le condizioni attuali ed esplorarne i vincoli e, successivamente, la raccolta dei dati disponibili in termini di consumi energetici e parametri ambientali, per poter svolgere una analisi dettagliata delle prestazioni secondo un approccio numerico-sperimentale.
Sulla base di queste informazioni, tenendo conto di un approccio del tipo LCA e dei requisiti dei principali protocolli di certificazione energetico-ambientali disponibili, è possibile selezionare un insieme di potenziali misure di retrofit, che variano da materiali edilizi innovativi a base biologica a sistemi attivi di tipo FER volti al miglioramento di prestazioni energetiche e del comfort.

1. Introduction

The topic of energy efficiency is crucial for pursuing the ambitious goals set by the current European policies, as highlighted by the "Energy Efficiency First" principle and the European Green Deal. At national level, the civil sector is essential for decarbonization and, more specifically, the residential sector is key to achieving the target of reducing final energy consumption by 2030.
To meet these goals, it is necessary to improve buildings' energy efficiency and retrofit interventions rates [1], with peculiar attention to heritage construction which are characterized by low-performance and non-efficient energy systems but represent non-negligible part of the national heritage. Additionally, such buildings present specific challenges due to the many architectural and cultural constraints [2,3].
The main international regulations and policies in terms of heritage preservation are represented by the UNESCO Convention and the Venice Charter, followed by the Krakow Charter, which emphasize the value of the conservation and sustainable use of historic buildings [4; 5].
As for the energy efficiency policies, for EU countries Directives 2010/31/EU and 2012/27/EU set requirements and targets in terms of the energy performance of buildings, with exceptions for those of historical value [6, 7]. In Italy, regulations such as the Code of Cultural Heritage, Legislative Decree 192/2005, NTC 2018, and other regulations establish specific requirements to improve energy efficiency, providing specific technical guidelines for the energy retrofit of historic buildings [8, 9].
Within this framework, national and international protocols such as WELL, LEED, and CAM (Minimum Environmental Criteria) provide tools and standard criteria for certifying and evaluating energy and environmental performance with reference to buildings, including heritage constructions. Therefore, a specific certification protocol for heritage construction was developed by the Green Building Council Italy, i.e. GBC Historic Building [10]. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) approach is particularly useful for analysing the environmental footprint [11-13].
As regarding strategies and technologies for energy efficiency, in literature there are many solutions available that could be analysed to evaluate their possible integration in historical contexts. For instance, among the main emerging technologies there are nature-based materials for thermal insulation [14, 15], selective translucid films for window application

(16), BEMS (Building Energy Management Systems) technologies for energy monitoring and control, and visually unobtrusive photovoltaic systems [16, 17]. Additionally, solutions such as geothermal heat pumps can be studied to effectively improve energy efficiency without compromising the aesthetics of historic buildings facades [18, 19].
Based on the outlined research framework, still a huge effort is needed for evaluating new opportunities and technological innovations for the improvement of the energy and efficiency of historic buildings, by balancing cultural preservation with environmental sustainability. Therefore, further research is needed to develop solutions that are compatible with historic architectures and can optimize energy performance while preserving cultural value and reducing environmental impact [20].

2. Purpose of the work

The present research work is aimed at defining replicable strategies and solutions which are suitable for implementation within historical buildings contexts, by using a combined numerical and experimental approach. More in details, the proposed approach includes the identification and analysis of sustainable and high-performance active and passive strategies for the energy retrofit of heritage constructions. Such measures must be assessed by using simulation and experimental methods for determining the energy-environmental impact at different levels, i.e. at single-building and inter-building scale. Moreover, the sustainability of the proposed solutions is evaluated by considering the criteria required by the existing energy certification protocols at both national and international levels, and by using a LCA approach.

3. Methodology

The proposed approach involves several different steps of analysis of the building, as listed below:
• Definition of the perimeter of the study: this step is crucial according to the criteria imposed by the main existing energy certification protocols and in order to perform an effective environmental analysis. Therefore, the retrofit interventions do not have to be focused only on the building itself but may include the surrounding context to generate a larger impact in terms of environmental benefits.
• Architectural and historical analysis: to get a better sense and gather a comprehensive understanding of the constrains related to the high cultural and artistical value, a deep architectural and historical analysis of the building characteristics and previous interventions must be carried out. Such analysis includes a thorough study of the building materials and structure, also in order to evaluate the role of the ancient architectural components and the opportunities offered by the original elements in terms of potential energy efficiency retrofit interventions.
• Identification of the energy, environmental, and performance objectives: this phase involved the description of the key-performance indicators that must be defined from the beginning in compliance with the criteria provided by the main available energy protocols and environmental standards.
• First definition of possible retrofit measures: this passage includes the preliminary identification of a long list of possible passive/active refurbishment solutions that can be analyzed for implementation in the heritage construction. In this phase, different alternatives for the same issue can be proposed in order to carry out a deeper analysis of the compatibility with the constrains related to the heritage value and the potential benefits in terms of energy-environmental performance. In this step it is crucial to include passive solutions based on circular economy approach. This approach will increase the overall sustainability.
• Preliminary evaluation of proposed solutions: this phase includes a first technical assessment of the proposed measures by means of a LCA approach and by using the criteria provided

by the main existing protocols and standards (i.e. LEED, GBC-HB, WELL, SITES). At this step, also a preliminary economic analysis is carried out. The aim is to provide a preliminary estimation of achievable energy benefits and costs. In this step the circular economy approach will get a strong contribution to the increase of the sustainability of the retrofit.
• Definition and analysis of retrofit scenarios: after the preliminary technical and economical assessment, a short-list of refurbishment measures is generated to define possible retrofit scenarios. Therefore, the different scenarios are evaluated by means of both numerical and experimental approach to determine the optimal solutions in terms of demand reduction, environmental impact mitigation, comfort optimization, and cultural heritage preservation. The final goal is to select the best retrofit strategy.

More in details, the technical assessment of the different scenarios is carried out by using different and integrated methodologies for the analysis the impact generated by the combination of the selected strategies, which include:
• Indoor/outdoor environmental and microclimate monitoring: for monitoring purposes, it is possible to use coupled permanent or/and portable microclimate stations consisting of a network of sensors for the continuous recording of the main indoor/outdoor environmental parameters (e.g., air and surface temperature, wind direction, relative humidity, incoming and reflected solar radiation). The monitoring should be considered as complementary to any data available from permanent weather stations or from the case study buildings. The acquired data must be used for (i) developing tailored weather data set as local boundary conditions for the assessed building and (ii) calibrating and validating the numerical model of the building for a more accurate simulation of the year-round thermal-energy performance.
• Dynamic thermal-energy modeling and simulation: the development of a 3D building model, surrounding by the urban context in the proximity, is crucial for performing a comparative analysis of different scenarios and quantifying the impacts generated by the application of the proposed solutions. Therefore, by using a dynamic model it is possible to evaluate the modification of the building performance under different and variable boundary conditions in terms of energy consumption and comfort conditions.
• Microclimate modeling and simulation: for the evaluation of the potential impacts in terms of local microclimate effects at urban scale, it is possible to develop a microclimate model of the area where the case study building is located. This could help for the assessment of the benefits generated at a larger scale with respect to the single-building level to analyze, for instance, the impact on the local outdoor microclimate.
In addition, in the case of building materials, laboratory and field experimental tests can be carried out for characterizing the thermal-optical and energy properties and use the measurements for performing more accurate simulations with different boundary conditions.

4. Energy measures for heritage constructions

Retrofitting heritage buildings with sustainable materials requires a careful balance between improving energy efficiency and preserving the building's historical integrity. In the following sections, a description of some of the most appropriate, sustainable, and high-performing solutions for this purpose is provided.

4.1 Sustainable building materials

Among the main non-invasive and low-impact passive strategies for heritage constructions, nature-based building envelope materials represent one of the best solutions to be applied. Biomaterials for building applications represent indeed an appropriate opportunity also from a circular economy perspective in terms of sustainable and renewable sourcing, upcycling

and reuse, low carbon footprint and regenerative practice. For instance, natural fiber insulations like sheep's wool, cellulose, and cork represent a good option due to their breathability and capability for reducing moisture buildup. Furthermore, eco-friendly windows solutions, including secondary glazing, timber frames with double glazing and transparent selective or low-emitting films represent a good opportunity for enhancing energy efficiency without compromising the historic aesthetic and architectural appearance. In fact, it is possible to produce high-reflectance and high-emittance films that can optimize the building envelope dynamic thermal performance. In general, also natural paints like mineral and linseed oil paints, represent a good chance to improve the building envelope from a thermal and energy perspective. Other options include the integration of phase change materials (PCMs) in building envelope materials for optimizing temperature regulation and thermal storage potential. Finally, to improve the sustainability of heritage buildings by means of a conservative approach, the reuse of original historic materials, such as reclaimed wood and natural linoleum can be applied for a sustainable flooring.

4.2 Energy systems

One of the most effective solutions for renewable energy integration in heritage buildings is provided by tailored solar panels/PVs technologies, which allow to preserve the aesthetic integrity while contributing to the enhancement of the overall energy efficiency. For instance, solar tiles or BIPVs represent a discreet option, blending seamlessly with traditional roofing materials while generating renewable energy. This approach allows to apply modern energy strategies without altering the building's historic appearance. Additionally, ground source heat pumps could be installed to provide efficient heating and cooling by utilizing the stable underground temperatures. These systems are indeed typically installed with minimal visual impact since there is no need to modify the building facades by installing technical components; this makes them suitable for heritage sites where preserving the external appearance is crucial due to the multiple constrains related to the high architectural and historical value. Moreover, BEMS (Building Energy Management Systems) are largely investigated for implementation within heritage buildings, since they can be used to optimize and control the operation of energy systems within each thermal zone and do not need to alter the architectural quality of the constructions.

3. Conclusions

Within the existing building stock, buildings with high cultural and historical value represent a significant challenge for the implementation of interventions and solutions aimed at decarbonization and sustainability improvement, given the multiple architectural and structural constraints and the need to preserve their artistic and cultural value. For this reason, based on its expertise in energy efficiency, RSE conducts research activities focused on the energy and environmental rehabilitation of buildings, with particular emphasis on construction characterized by a significant historical and cultural value. Therefore, the goal of the study is to define a replicable and holistic retrofit approach that can be applied to buildings with similar characteristics, starting from 'pilot' historical case studies of excellence.

In the present work, a preliminary method for the identification and analysis of potential refurbishment strategies suitable for application within heritage contexts is provided, by suggesting the use of coupled numerical and experimental tools for assessing the thermal-energy performance and the sustainability of the proposed solutions. Such methodology allows to analyze the impact of the applications of such measures in terms of energy, environmental impact and wellbeing and local microclimate mitigation at single-building level and urban scale. Moreover, the proposed approach encourages the use of passive and low-impact solutions

such as nature-based building envelope materials to improve the sustainability of the whole intervention based on circular economy principles. Within the study, the application of the criteria and prerequisites suggested by the main energy-environmental protocols available is evaluated, together with the LCA approach to assess the sustainability of the identified retrofit solutions. Further development of the work will focus on the application of the proposed approach within case study historic buildings.

Bibliografia

[1] **D'Agostino, D., & Parker, D.** (2018). A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBs) in Italy. *Energy, 149, 814-829*.

[2] **Ascione, F., De Rossi, F., & Vanoli, G. P.** (2011). Energy retrofit of historical buildings: Theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. *Energy and Buildings, 43– 8, 1925-1936*.

[3] **Pigliautile, I., Castaldo, VL., Makaremi, N., Pisello, AL., Cabeza, LF., Cotana, F**., (2018), On an innovative approach for microclimate enhancement and retrofit of historic buildings and artworks preservation by means of innovative thin envelope materials, Journal of Cultural Heritage 36(12)

[4] **ICOMOS.** (1964). International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter).

[5] **UNESCO.** (1972). Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage.

[6] **Directive 2010/31/EU** of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings

[7] **Directive 2012/27/EU** of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance.

[8] **Cassar, M.** (2009). Sustainable heritage: Challenges and strategies for the twenty-first century. *Apt Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 40(1), 3-11.

[9] **Lucchi, E**. (2018). Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82*, 3077-3090.

[10] https://gbcitalia.org/certificazione/gbc-historic-building

[11] **Martin N. Nwodo, Chimay J. Anumba**, (2019), A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach, Building and Environment, 162, 106-290

[12] **Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S.** (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production, 114*, 11-32.

[13] **Stephan, A., Crawford, R. H., & de Myttenaere, K**. (2012). Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings. *Energy and Buildings, 55*, 592-600.

[14] **Bozsaky D.,** (2019), Nature-based thermal insulation materials from renewable resources–A state-of-the-art review, Slovak Journal of Civil Engineering.

[15] **Erkmen, J., Ibrahim Yavuz, H., Kavci, E., Sari, M**., (2020), A new environmentally friendly insulating material designed from natural materials, Construction and Building Materials, 255, 119-357

[16] **Zakirullin, R.S**., (2022), Smart window with grating optical filter: Comparison with smart windows fully coated with chromogenic layer, Building and Environment, 219, 109-258

[17] **Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F.** (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(8), 3617-3631.

[18] **Elnagar, E., Munde, S., Lemort, V**., (2021), Energy Efficiency Measures Applied to Heritage Retrofit Buildings: A Simulated Student Housing Case Study in Vienna, Heritage, 4(4), 3919-3937

[19] **Fabbri, K., Zuppiroli, M., & Ambrogio, K.** (2012). Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools. *Energy and Buildings,48*, 137-145.

[20] **Herrera, D., Rose, J., Kirsten, R., Thomsen, E., Troi**, **A.,** (2024), Evaluating the Implementation of Energy Retrofits in Historic Buildings: A Demonstration of the Energy Conservation Potential and Lessons Learned for Upscaling, Heritage 7(2):997-1013

Metodologia di calcolo carbon free: una certificazione di filiera per il comparto legno-arredo nazionale

Marcello Missaglia marcello.missaglia@gmail.com, missagliaeassociati
Alessandro Carzaniga, Conlegno
Caterina Rinaldi, ENEA
Albino Maggio, Università degli Studi di Napoli Federico II
Sebastiano Cerullo, Conlegno

Riassunto
Nell'ottica della neutralizzazione climatica posta dalle politiche comunitarie entro il 2050, la metodologia "CARBON FREE" messa a punto da MissagliaeAssociati ed Università di Napoli Federico II, con la collaborazione di Conlegno e di ENEA nell'ambito del Progetto Arcadia[1], propone di certificare "Carbon Neutral" l'intera filiera legno – arredo nazionale, introducendo per la prima volta il concetto di certificazione di filiera, tramite una metodologia che si basa sulla capacità di fissare il carbonio all'interno dei prodotti legnosi e derivati. La peculiarità del legno di sequestrare carbonio per tutto il tempo di permanenza sul mercato (intero ciclo di vita) permette di compensare le emissioni ambientali e i consumi energetici derivanti dalle attività lungo tutta la filiera: dall'estrazione del legname in foresta, alla fase di trasformazione e produzione, alla logistica, sino alla fase di vendita sul mercato.

Summary
With a view to the climate neutralization posed by EU policies by 2050, the "CARBON FREE" methodology developed by MissagliaeAssociati and University of Naples Federico II, with the collaboration of Conlegno and ENEA within the Arcadia project, proposes to certify "Carbon Neutral" the entire national wood-furniture supply chain, introducing for the first time the concept of supply chain certification, through a methodology based on the ability to fix carbon within wood products and derivatives. The peculiarity of wood to sequester carbon for the entire life cycle makes it possible to offset environmental emissions and energy consumption resulting from activities along the entire supply chain: from the extraction of wood in the forest, to the processing and production phase, to the logistics, up to the phase of sale on the market.

1. Introduzione

Il Green Deal europeo ha previsto un'ulteriore espansione del sistema European Union Emissions Trading Scheme (UE ETS) [2] e la Commissione Europea ha ribadito la volontà di estendere la compensazione di crediti di carbonio anche per settori non ETS (in particolare i settori più energivori come quello edilizio e dei trasporti). Gli studi effettuati dalla comunità scientifica dimostrano che l'impatto medio dell'edificio costituito da legno porterebbe ad una riduzione significativa delle emissioni di CO_2 sull'intero ciclo di vita dell'edificio, orientando il mercato e le istituzioni nella scelta del legno come materiale sostenibile e serbatoio di carbonio, in grado di contrastare gli effetti dal cambiamento climatico.

Tali orientamenti della Commissione Europea, si sono tradotti in una ratifica, all'inizio del 2023, dell'obiettivo di un'ulteriore riduzione delle emissioni nocive legate all'ETS del 62% da qui al 2030 rispetto ai valori del 2005: per raggiungere tale target, l'Unione Europea ridurrà gradualmente, dal 2026 fino al 2034, il numero di certificati verdi immessi sul mercato; parallelamente nascerà nel 2027 un mercato ETS-2, dedicato all'edilizia e ai trasporti e al settore dei rifiuti.
Nella realizzazione di questo mercato, il fondo ETS-2, coprirà gli investimenti strutturali di lungo periodo, tra cui il risanamento degli edifici, le soluzioni di decarbonizzazione, la promozione delle energie rinnovabili, le infrastrutture per i veicoli a zero emissioni, nonché l'uso del trasporto pubblico e dei servizi di mobilità condivisa.
Un'altra misura proposta dall'agenda della Commissione Europea per stimolare gli assorbimenti e la contestuale riduzione dei gas ad effetto serra, risulta essere l'integrazione all'interno del settore LULUCF delle emissioni agricole, creando un nuovo settore di valutazione comprendente agricoltura, selvicoltura e uso del suolo; a livello comunitario è stato fissato a 35 milioni di tonnellate/anno il valore di assorbimento richiesto dalle foreste e dai prodotti legnosi e derivati presenti sul mercato al 2030.
Dal punto di vista legislativo, favorire l'utilizzo di legno nazionale e riconoscere la proprietà intrinseca del legno come materia prima in grado di stoccare e fissare carbonio anche nel periodo di tempo successivo al taglio, permetterebbe all'Italia e all'Unione Europea di affrontare in maniera più efficace le problematiche legate ai cambiamenti climatici e ad una politica comunitaria di gestione; la messa a punto, infatti, di un sistema in grado di valorizzare le risorse legnose nazionali, potrebbe concorrere alla riduzione delle emissioni di GHGs legate al commercio e al trasporto internazionali, in particolare dalle aree sensibili a rischio deforestazione e con forti problematiche dal punto di vista socio economico (Sud Est Asiatico, Africa Centro-Equatoriale, America Latina) e permetterebbe all'Italia, paese che importa circa l'80% del legname per il comparto industriale dall'estero di poter puntare maggiormente su un approvvigionamento di materiale legnoso e derivati provenienti da foreste situate sul territorio nazionale.
Nella Proposta di risoluzione del parlamento europeo sul nuovo Bauhaus europeo [3], tra gli ambiti prioritari si "sottolinea l'importanza di trasformare, migliorare e ammodernare il parco immobiliare esistente, utilizzare soluzioni di origine naturale quale il legno, ridurre i rifiuti e aumentare la durabilità, la riutilizzabilità e la circolarità nell'ambiente edificato; insiste sul fatto che in ciò si dovrebbero preferire la ristrutturazione e il riutilizzo adattativo alle demolizioni e alle nuove costruzioni, a seconda dei casi, rimuovendo gli ostacoli relativi alla gestione e al trasporto dei rifiuti, nonché prevedere la sensibilizzazione dei cittadini circa il carbonio contenuto e immagazzinato nei materiali affinché possano compiere scelte informate".

2. Relazione

In un'ottica futura di mercato di libero scambio di crediti di carbonio riconosciuti dallo singolo Stato Nazionale, la metodologia Carbon Free si pone quale strumento in grado di certificare l'intera filiera legno-arredo quale Carbon Neutral, attraverso uno schema ben definito che potremmo definire di biofinanza: dopo aver valutato, tramite studi di Carbon Footprint e/o LCA, le emissioni nette derivate dalle proprie attività industriali (convertendo 1Tonn di anidride carbonica compensata in 1 credito di carbonio generato), le imprese con valori negativi di emissioni GHGs, potranno vendere alle aziende più impattanti i crediti di carbonio generati, al fine di compensare le proprie emissioni, ponendosi come obiettivo finale la neutralizzazione delle emissioni di CO2 dell'intera filiera.
L'impianto certificativo Carbon Free vuole riconoscere al legname, non solo l'esclusivo valore commerciale di mercato della materia prima, ma anche la sua capacità post-taglio di "fissazio-

ne" del carbonio, quale nuovo elemento economico-finanziario nella catena di fornitura del legname supportando in tal modo il principio dell'uso a cascata del legname, quale uno dei capisaldi della Strategia sulla Bioeconomia 2019-2024 dell'Unione Europea [4].
Utilizzando, infatti, come punto di partenza l'impianto logico espresso all'interno della metodologia Carbon Free, si potrebbe costruire all'interno delle sedi europee, un meccanismo e una metodologia comune per definire un'etichetta facente riferimento ai prodotti legnosi e derivati, che metta in evidenza il valore corrispondente di emissione di anidride carbonica generato durante l'intero ciclo di vita, in linea con gli indirizzi strategici futuri espressi dalla Commissione Europea, quale per esempio la tematica del Passaporto Digitale del Prodotto (DPP) nell'ambito del Regolamento sulla Progettazione Ecocompatibile per i Prodotti Sostenibili (ESPR).
Le finalità del progetto Carbon Free sono incentrate essenzialmente intorno a tre ambiti principali:
– Creazione e valorizzazione di un mercato volontario di scambio di crediti basati sui servizi ecosistemici e la funzione della biomassa legnosa come stock primario della CO2, due elementi chiave per lo sviluppo delle politiche nazionali e comunitarie in campo ambientale e forestale;
– Valorizzazione della capacità di fissare anidride carbonica da parte della materia legnosa lungo l'intera fase del ciclo di vita del manufatto legnoso, dalla fase "verticale" alla fase "orizzontale", dopo il processo di taglio: infatti il prodotto legnoso si presenterà al mercato con un duplice valore, il primo relativo al valore intrinseco del legno come materiale sostenibile e rinnovabile che nel suo ciclo colturale/vitale ha stoccato CO2 al pari di qualsiasi essenza vegetale, il secondo invece legato al valore economico equivalente della capacità di sottrazione dell'anidride carbonica atmosferica nel passaggio da albero a manufatto;
– Sostegno al principio dell'uso a cascata del legno, come raccomandato dalla Strategia sulla Bioeconomia 2019-2024, tramite la valorizzazione monetaria della capacità fissativa della CO2 della materia legnosa lungo le varie fasi del ciclo produttivo e di lavorazione;
L'aspetto innovativo, rispetto ai tradizionali schemi certificativi, dove viene principalmente valutato un prodotto, un servizio o parte del sistema di un'organizzazione, consiste che fatto che nello schema Carbon Free si parla di certificazione di filiera legno-arredo nazionale.
La peculiarità, infatti, della materia legno di fissare la CO2 per tutto il tempo di permanenza sul mercato, permette di compensare le emissioni ambientali e i consumi energetici derivanti dalle attività lungo la filiera, dall'estrazione del legname in foresta, alla fase di trasformazione e produzione, alla logistica, sino alla fase di vendita.
Nel dettaglio la struttura del progetto Carbon Free prevede le seguenti fasi:
– Suddivisione della filiera legno-arredo per macrocategorie sulla base dei codici ATECO in quattro aree:
– Area legno in senso stretto (trasformazione primaria, secondaria, imballaggi industriali, ortofrutticoli, settore di produzione dei pannelli e di tutti i manufatti legnosi);
– Area edilizia in legno;
– Area arredo (inclusa settore illuminazione, bagno e arredo urbano);
– Area commercio di legname primario;
Tali suddivisioni si rendono necessarie, in quanto vanno a valutare l'effettivo utilizzo del legname nel core business aziendale, rispetto all'utilizzo da parte della singola impresa di altri materiali (Es. 100= utilizzo esclusivo all'interno dell'impresa di legno, situazione più vicino alla prima categoria dell'area legno; si passa a valori via via sempre più bassi tendendo ad un valore minimo, passando dall'area edilizia in legno fino al settore legno-arredo motivato dall'impiego e utilizzo da parte di quest'ultime di altri materiali).
– Calcolo della Carbon Footprint dell'organizzazione in conformità con la ISO 14064:1-2-3.
A tal fine potrebbe essere sviluppato uno strumento semplificato specifico per il settore legno

arredo nazionale ed all'applicazione del metodo Carbon Free, in grado di agevolare le imprese nel calcolo della carbon footprint.

– Calcolo della CO2 stoccata nei manufatti legnosi

Riguardo questo punto la visione innovativa posta dall'impianto dello schema di Certificazione Carbon Free, risiede nella necessità di inserire tra i fattori conteggiati ai fini della compensazione della CF aziendale anche il valore di carbonio stoccato all'interno dei manufatti legnosi, oltre all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, alle riduzioni degli impatti ambientali legati al processo aziendale.

L'anidride carbonica stoccata all'interno della materia prima legnosa viene fissata all'interno del manufatto legnoso tramite il calcolo della EN 16449:2014 *Wood and wood-based products – Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide* [5] per cui data la specie legnosa e il quantitativo espresso in kg (o tonn) si è in grado di certificare il quantitativo di CO2, espresso in tonn, stoccato dal materiale.

Il biosequestro del carbonio atmosferico rappresenta uno dei più rilevanti servizi ecosistemici erogato dai sistemi forestali naturali e artificiali. Attraverso l'assorbimento di anidride carbonica (CO2) dall'atmosfera, le specie arboree fissano elevate quantità di carbonio (C) in composti organici. Una quota del carbonio fissato è stoccata sotto forma di biomassa e allocata agli organi legnosi ipogei (radici) ed epigei (fusto e rami) delle specie arboree.

Convenzionalmente, la determinazione del contenuto in massa di carbonio biogenico degli assortimenti legnosi (Clegno; kg C), si ottiene dalla quantificazione del peso anidro della biomassa legnosa (Blegno; kg S.S.) e dall'applicazione di un fattore di proporzione (Fcarbonio; kg C/kg S.S.):

$$C_{legno}=B_{legno}\cdot F_{carbonio}$$

La proporzione di carbonio contenuta nei tessuti legnosi (Fcarbonio; kg C/kg S.S.) è convenzionalmente determinata in maniera diretta attraverso specifiche analisi di laboratorio (spettrometria di massa).

Data la complessità dell'analisi ed il costo elevato delle misure spettrometriche per la determinazione della frazione di carbonio contenuta nei tessuti legnosi, tradizionalmente si fa ricorso ai numerosi valori disponibili in letteratura. Dall'insieme dei valori di Fcarbonio riportati in letteratura, emerge che la proporzione di carbonio è prossima al 50% del peso della biomassa legnosa. Una quantità che varia in maniera limitata sia tra gli organi epigei e ipogei sia tra le diverse specie arboree.

Per la determinazione del peso anidro della biomassa legnosa (Blegno; kg S.S.) si ricorre a metodiche alternative tra loro: i) equazioni allometriche specie-specifiche, ii) equazioni stereometriche e iii) metodi di cubatura che forniscono il volume legnoso; entrambi quest'ultimi (ii e iii) convertiti in biomassa attraverso i valori di densità basale del legno (Dlegno, kg S.S. m-3). Le equazioni di tipo allometrico, stereometrico e i metodi di cubatura relazionano, rispettivamente, la biomassa (Blegno; kg S.S.) o il volume legnoso (Vlegno; m-3) a specifici parametri dimensionali degli alberi; rappresentati frequentemente da variabili dendrometriche quali il diametro a 1,30 e l'altezza degli alberi. Il ricorso ai metodi di cubatura o alle equazioni allometriche richiede l'utilizzo di un ulteriore parametro fisico-meccanico del legno rappresentato dalla densità basale (Dlegno, kg S.S. m-3). Detta densità definisce il rapporto tra il peso anidro dei tessuti legnosi e il volume del legno allo stato fresco, e rappresenta pertanto un parametro spesso utilizzato nel campo dell'industria del legno.

Tradizionalmente la determinazione del carbonio sequestrato dai sistemi forestali è espressa in termini di carbonio stoccato nella biomassa legnosa. Quando raccolto e trasportato fuori

dalla foresta, l'attenzione è posta prevalentemente sulla deplezione del carbonio (C) stoccato e, pertanto, espresso in termini di anidride carbonica equivalente (CO2-eq). La conversione in equivalenti di anidride carbonica (CO2-eq) si ottiene moltiplicando la quantità di carbonio biogenico stoccato (Clegno; kg C) per il fattore di conversione stechiometrico pari a 3.67. Il fattore di conversione aggiunge al C biogenico stoccato il peso atomico dei due atomi di ossigeno (O2) che costituiscono la molecola di anidride carbonica (CO2).

– Calcolo del Carbon Budget

Dalla CF aziendale deriva un Carbon Budget d'impresa nella quale si possono verificare tre scenari (Carbon Negative, Neutral, Positive): conversione del valore di CF CO2eq in crediti di carbonio (1credito = 1 Tonn di CO2);

La valutazione della Carbon Footprint aziendale verrà verificata da un ente terzo indipendente, il quale provvederà tramite apposita documentazione all'attestazione del numero di crediti di CO2 generati dall'azienda. L'attestazione della generazione di crediti verrà svolta con cadenza annuale.

Dalla valutazione della Carbon Budget aziendale possono emergere tre diversi scenari:

– Carbon Budget Negative: l'azienda compensa all'interno dei prodotti legnosi più anidride carbonica rispetto alle emissioni di GHG che produce;

– Carbon Budget Neutral: le emissioni di GHG dell'organizzazione e i fattori di compensazione in azienda si equivalgono creando un Carbon Budget finale pari a zero;

– Carbon Budget Positive: l'azienda emette all'interno dei processi aziendali più CO2 equivalenti di GHG rispetto a quello che compensa;

– Creazione di un mercato volontario di scambio di crediti all'interno della filiera legno-arredo grazie al ruolo di una Camera di Credito Climatico

Una volta effettuate le Carbon Footprint di perimetro delle imprese della filiera legno-arredo con la conseguente attestazione dei crediti di carbonio, la Camera di Credito Climatico (es. tale ruolo potrebbe essere esercitato dall'associazione di categoria di riferimento e/o ente consortile rappresentante le aziende appartenenti alla filiera legno-arredo) acquista i crediti al prezzo commerciale stabilito alle aziende con un Carbon Budget negativo e rivendendo i crediti alle aziende con Carbon Budget positivo che devono compensare le proprie emissioni.

La Camera di Credito Climatico, nel contesto della definizione del disciplinare Carbon Free, stabilisce il prezzo di vendita iniziale dei crediti di carbonio (un riferimento potrebbe essere il prezzo di vendita dei crediti di carbonio interno al mercato ETS.

Il concetto dell'intera filiera legno-arredo Carbon Free, passa dunque proprio da tale aspetto: tutte le aziende che possiedono un Carbon Budget negativo, avendo la possibilità di dare origine a crediti netti di carbonio, vendono tramite una transazione commerciale alle aziende con un Carbon Budget positivo (emettitori netti di CO_2), i crediti di carbonio necessari per compensare le proprie emissioni, in modo da far risultare l'intera filiera in una situazione di neutralità per quanto riguarda le emissioni nette di anidride carbonica.

3. Conclusioni

I vantaggi immediati che possono derivare dall'applicazione del Progetto Carbon Free sono i seguenti:

– Certificazione dell'intera filiera legno-arredo nell'ottica della neutralizzazione climatica posta dalle politiche comunitarie al 2050;

– Servizio di valutazione della propria impronta di carbonio e relativo impatto ambientale per tutte le imprese della filiera legno-arredo (creazione di una nuova cultura di valutazione del ciclo di vita delle proprie attività che risulterà sempre più centrale e strategico per il mercato del futuro);

– Posizionamento strategico rispetto al mercato sul tema della sostenibilità per un'intera filiera: sistema legno-arredo come primo settore carbon neutral a livello nazionale;

– Azione di comunicazione a tutti i propri stakeholder e a livello istituzionale sulla centralità della sostenibilità e della circolarità per l'intera filiera;
– Certificazione di sistema: lo schema certificativo non riguarda una singola impresa ma lavora nella direzione della certificazione di settore, quale uno degli obiettivi posti dalla Federazione;
– Valorizzazione economica-monetaria della capacità di stoccaggio della CO2 da parte della materia legnosa: un primo approccio di sviluppo di mercato che sappia valorizzare i servizi ecosistemici offerti dalle foreste e più in generale dal legno – legno come materiale cardine del contrasto al cambiamento climatico;
– Anticipo e adeguamento da parte del settore legno-arredo all'investimento sostenibile, nell'ottica di un'estensione futura del mercato ETS a tutti i settori;
– Sistema di premialità, dettata dalla vendita dei crediti di carbonio sul mercato volontario, per le aziende che hanno nel proprio core business l'utilizzo del legno e/o hanno una politica aziendale improntata ad un abbattimento dei propri carichi ambientali;
– Prima fase sperimentale del progetto da applicare su base nazionale e relativamente alla filiera legno-arredo, con l'intenzione in una successiva fase, di poter commercializzare i crediti di carbonio generati dalle aziende della filiera legno arredo anche ai settori più energivori, che hanno necessità di compensare (ad oggi tramite compensazione volontaria o all'interno del mercato ETS);
– Posizionamento strategico della filiera del legno-arredo rispetto a tutte le altre sul mercato: stock di CO2 e utilizzo di materiale sostenibile, quale il legno, come driver di business; in uno scenario futuro il prezzo della CO2 sarà destinato inevitabilmente a salire: Il Fondo Monetario Internazionale, nel Fiscal Monitor del 2019 [6], stima adeguata una carbon tax pari a 75$ per tonnellata di CO_2, da introdurre gradualmente entro il 2030.

Bibliografia

[1] **ENEA,** "Progetto Arcadia: approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse"
[2] **European Comission,** "The EU Emission Trading System (EU ETS)"
[3] **European Parlament**, 19.07.2022 – (2021/2255(INI))"New European Bauhaus Report"
[4] **European Commission**, "EU Bioeconomy Strategy Progress Report"
[5] **CEN/TC 175 "**Wood and wood-based products – Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide"
[6] **International Monetary Fund** "FISCAL MONITOR how to mitigate Climate Change"

ENVIRONMENTAL MONITORING AND EARTH OBSERVATION

ARIA INDOOR: IL RUOLO NEL RAPPORTO AMBIENTE E SALUTE

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & Istituto Superiore di Sanità**

Lo scopo di questo convegno è quello di presentare le iniziative, le strategie e le azioni percorribili da seguire sulla qualità dell'aria indoor, per ridurre l'esposizione della popolazione e dei lavoratori. A tale proposito va evidenziato come sia necessario prevedere nel recepimento della nuova Direttiva europea sulla qualità dell'aria anche l'inserimento di valori di riferimento per la qualità dell'aria indoor che possono essere adottati dall'Italia.

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

Sustainable solutions for compliance with new measures and regulations in force regarding "Indoor Air Quality"

Fabio Galatioto, Chiara Verderese cverderese@iscleanair.com, Giuseppe Spanto
Is CLEAN AIR S.r.l. – Benefit Company

Summary
In the new World Health Organization Guidelines on indoor air updated in 2021 [1], all concentrations of the main air pollutants are revised downwards, including harmful substances such as gaseous ones. Various studies have in fact highlighted that on average we tend to spend at least 90% of our time in indoor environments where the air is up to 5 times more polluted than the outside air. Nine out of ten people around the world breathe polluted indoor air. According to the WHO, poor indoor air quality is associated with a series of health problems, including respiratory diseases, asthma, allergies, cardiovascular diseases, cancer and neurological problems. According to NIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health) [2], 50-80% of commercial buildings do not reach compliance standards for acceptable indoor air quality with an average annual energy consumption of $6 billion due to the inefficiency of air conditioning systems.
With this intervention we would like to highlight the need to use new technologies/solutions that whilst removing pollutants are more sustainable and can increase the energy efficiency in buildings, compared to traditionally ones present on the market.
The application carried out in this work with existing HVAC and heat pump demonstrate the potential benefit of a filterless purification technology in reducing the energy consumption of exisitng heat pumps which resulted in about 14% lower. Further analyses have observed that for outdoor temperatures between 15°C and 21°C, the energy saving could go as high as -37% and similarly, under different humidity levels, low (<35%) and high (60%) the energy saving could reach -40%.

Riassunto
Nelle nuove Linee Guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità sulla qualità dell'aria aggiornate nel 2021 [1], tutte le concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici vengono riviste al ribasso, incluse sostanze nocive come quelle gassose. Vari studi hanno infatti evidenziato che in media tendiamo a trascorrere almeno il 90% del nostro tempo in ambienti indoor in cui l'aria è fino a 5 volte più inquinata di quella esterna. 9 persone su 10 in tutto il mondo respirano aria indoor inquinata. Secondo l'OMS, una scarsa qualità dell'aria indoor è associata ad una serie di problemi di salute, tra cui malattie respiratorie, asma, allergie, malattie cardiovascolari, cancro e problemi neurologici. Secondo il NIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health) [2], il 50-80% degli edifici commerciali non raggiunge gli standard di conformità per una qualità dell'aria interna accettabile con un consumo medio annuo dell'energia di $6 mld a causa dell'inefficienza degli impianti di condizionamento.
Con questo nostro intervento vorremmo evidenziare la necessità dell'utilizzo di nuove tecnolo-

gie/soluzioni che contemporaneamente alla rimozione degli inquinanti siano più sostenibili e che possano incrementare l'efficienza energetica, rispetto alle soluzioni presenti tradizionalmente sul mercato.
L'applicazione svolta in questo lavoro con Unita' Trattamento Aria e pompe di calore esistenti dimostra il potenziale vantaggio di una tecnologia di purificazione senza filtri nel ridurre il consumo energetico delle pompe di calore esistenti, che ha portato a una riduzione di circa il 14%. Ulteriori analisi hanno osservato che per temperature esterne comprese tra 15°C e 21°C, il risparmio energetico potrebbe arrivare fino al -37% e allo stesso modo, con diversi livelli di umidità, bassi (<35%) e alti (60%) il risparmio energetico potrebbe raggiungere il -40%.

1. Introduction
Indoor air quality, also known as IAQ (Indoor Air Quality), plays a critical role in determining the health and well-being of building occupants. With more and more people spending their time indoors, awareness of IAQ has become crucial.
At the same time, buildings rely on Heating Ventilation and Air conditioning (HVAC) systems to maintain acceptable levels of air quality, however those are responsible for up to 60% of the energy used [3] by buildings and are still relying 100% on inefficient and expensive filters, adding to the cost of energy used, high maintenance and material costs for building owners and consequently for tenants. Ensuring a good quality of the air we breathe (ambient air, at ground level) in the areas of work and life is nowadays essential both for people's health and for the environment. Several factors can affect IAQ, including:
• Particulate Matters (PM): Pollen, dust, mold and other allergens can accumulate in IAQ, causing respiratory problems and allergies.
• Gases and vapors: Gases such as carbon dioxide (CO2), carbon monoxide (CO) and chemical volatile substances generated from consumer products and materials (VOCs) can be harmful to human health.
• Humidity: Excessively high or low humidity levels can encourage the growth of mold and bacteria, causing respiratory problems and irritation.
• Temperature: Extreme temperatures can affect thermal comfort and the health of building occupants.
Finally, monitoring IAQ is an important step in ensuring a healthy and comfortable indoor environment for all building occupants, however today with external air in urban area also heavily polluted, guaranteeing a low level of pollution indoor has become very challenging and in some cases, ventilation without additional actions may even increase rather than reduce the IAQ problem. For that, investing in achieving a truly healthy quality of air is becoming imperative if we want to achieve significant long-term health and well-being benefits[1].

2. Relation
Within this work we have tested a new and innovative approach using a filterless water-based technology, Air Pollution Abatement (APA), developed and patented by ISCLEANAIR, to achieve:
1. Increment of 20% in the energy efficiency of the HVAC systems;
2. Enhance the existing HVAC systems to go beyond coarse particle removal, removing the widest range of harmful pollutants from urban air;
3. Reduction of the overall costs for running HVAC systems in the building;

[1] https://www.salute.gov.it/portale/home.html



Fig. 1 – *APA Panel Model*

This work has been funded by Innovate UK in 2023 following the identification of a specific need in the sector of HVAC and heat pumps for buildings, in particular commercial and industrial ones. Laboratory tests have proven that APA-HVAC integration is rapidly possible, also by removing airborne particles before the air goes inside the HVAC filters, APA reduce drastically the inefficiencies and additional energy consumption, due to clogged filters, which can easily double in less than one year in the existing HVAC systems. Hence by demonstrating the benefits namely energy efficiency and air quality improvements at the same time, will provide great operational advantages as well as economic, environmental, and people health benefits.
APA has the advantage of using just water which means the same water HVAC systems produced by the internal condensation process can also be reused by APA instead of wasted.
For the purpose of the study and mentioned project, the APA technology, in the form of the APA Panel model (see Fig. 1), has been used.
The economic potential benefit of this innovative solution is identified and estimated very high and fast since there are over 1.6 million non-domestic buildings in the UK with a total energy use of 140TWh (estimate 2018, [3]) equivalent to €30billion/year (at an average cost of 21p/kWh_July22), of which 50% associated with Factories, Offices and Warehouses. Since 30-60% of that is associated with HVACs, our solution providing 20% reduction could save €0.9-1.8billion/year in terms of reduced energy bills.
The societal impact will be two fold: workers breathing APA cleaner air while working will reduce the risk of respiratory diseases which are estimated by DEFRA in equivalent direct+indirect cost of €23billion to the UK economy annually. In addition, air quality is a key factor in improving workplace productivity by 8-11% [4] or up to €5,900/year per worker (COGfx study, [5]), and further reducing public and private sanitary costs.

2.1 Demo Site
This project was based in the UK and aim to demonstrate and achieve the set objectives listed before. For that, we have chosen an office site where existing HVAC (Heating, Ventilation

and Air Conditioning) systems were already present in the backyard of an Office in the Harwell Campus (Didcot, Oxfordshire) as shown in Fig. 2.
The Office owner has provided access to the outside area to install two APA Panel systems, as well as independent Air Quality Monitoring and dedicated Energy Monitoring for the HVAC systems located in the backyard.
Coupling the APA technology with the HVAC systems focused on cleaning the ambient air around the systems enabling to test the potential benefit in terms of a more energy-efficient use of the HVACs and also to provide purer indoor air to breathe for the office employees, which was monitored with a set of Air Quality Monitoring systems installed.



Fig. 2 – *Heat pumps located outside the selected office building*

2.2 Environmental and Air Quality Monitoring
The first step was to monitor the quality of the air and the environmental parameters in and outside the Office Building, to provide a baseline measurement that could have been compared with the period when the APA Panels would have been deployed.
In Figure 3, can be seen the sensors located outside the building and inside an office room, to monitor the outdoor and indoor air quality and environmental parameters respectively.
The sensors used are the Praxis/Urban able to monitor the following gasses: CO, NO, NO_2, O_3, CO_2, and particulates sizes (PM_1, $PM_{2.5}$, and PM_{10}) as well as Temperature and Relative Humidity and are MCERTS approved. The device supports multiple analysis techniques including any sampling rate and real-time access. The environmental sensors in advance of the deployment in/out of the Office Building have been co-located by the independent party Ricardo E&E with a precision system (with an accuracy defined according to DEFRA standards) in order to assess any potential correction before and after the APA installation. The co-location results show the level of accuracy was 0.88 for the $PM_{2.5}$ and 0.886 for the PM_{10}.



Fig. 3 – *Environmental sensors Praxis/Urban inside (left) and outside (right)*

2.3 Deployment and Energy Monitoring

The two APA Panels have been positioned in the nearest possible proximity of the heat pumps outside the Office Building, as can be seen in Figure 4.



Fig. 4 – *APA PANELS located in the vicinity of the Heatpumps in the Office building*

The Panels were set to run for 10 hours between 08:00 and 18:00 each day.
Each group of HVACs, together with the individual APA Panel, has been connected with a dedicated meter reading and similarly the HVACs without APA Panel were also monitored for energy consumption before and during the Demo.
Hourly readings of the energy usage (in kWh) of the HVAC systems and the APA panels were collected throughout the study, using energy meter reading systems.

3. Results

3.1 Energy savings assessment

The first step has been to collect data without the APA Panels operating, to determine a baseline value. The baseline has been acquired in two ways: over weekends, which present a much more stable condition of operation, and during weekdays, but for the latter we have divided the data into similar outdoor temperature ranges, to reduce to the minimum the effects of outdoor temperature variation on the energy consumption of the Heat pumps.

The baseline period was followed by a period of APA Panels ON, operating for 10 hours a day, between 8am and 6pm. The results of the energy analysis are presented below.

Overall, during the period of observation, the average hourly consumption of the heat pumps of sub-meters 3 and 4 (associated with the APA Panels) when the APA was operating has resulted in 6.09kWh, whilst when APA Panels were switched OFF, the average consumption was 7.09kWh, the energy consumption is already discounted of the energy used by the 2 Panels. This means that during the APA Panel operation it was achieved about 14% reduction in energy consumption.

Further analyses have been performed considering the different Temperature and Relative Humidity ranges, to better understand the impact of the APA systems when both environmental conditions are similar for APA ON and APA OFF, but also how much the benefits can vary among different ranges.

Table 1 reports the average energy consumption for different temperature ranges, of the group of heatpumps located in the Office Building wing where the APA Panels were installed. Discounting for the energy consumption of the 2 APA Panels (2x0.8kWh=1.6kWh), as explained before, the resulting energy consumption has reduced when heatpumps have operated with outdoor temperature between 15°C and 21°C, measured reductions were between -37% and -4%, whilst for temperature between 21°C and 25°C an increase of 15% has been observed. From these preliminary results an overall positive impact of the APA technology and Panels has been observed.

Overall, also for a wider range of relative humidity positive results were observed. Discounting for the energy consumption of the 2 APA Panels (1.6kW/h), the resulting energy consumption has generally reduced for low (<35%) and high (60%) levels of Relative Humidity, ranging from -40% to -4.7%. Between 45% and 50% RH the energy consumed did not vary. Only for a limited range of RH we have observed an increment of energy consumption, which will require further investigation.

	APA-OFF		APA-ON		
Temp range	Avg kW/h (sub 3-4)	Counts	HVAC only Avg kW/h (sub 3-4)	Counts	Δ Energy
15-17	8.40	76	5.27	7	-37%
17-19	6.34	61	6.00	30	-5%
19-21	5.34	34	5.11	31	-4%
21-23	4.88	28	5.62	39	15%
23-25	5.73	14	6.60	29	15%

Tab. 1 – *Average Energy consumption for different Temperature ranges, with APA OFF and ON*

3.2 Air Quality Assessment

The promising results obtained on the energy saving, were achieved in only a few weeks of APA installation. Moreover, the analysis of the Air quality data (see Table 2 and Figure 5) revealed that indoors there was a consistent reduction for all pollutants: up to 29% for NO_2 and 14% for $PM_{2.5}$.

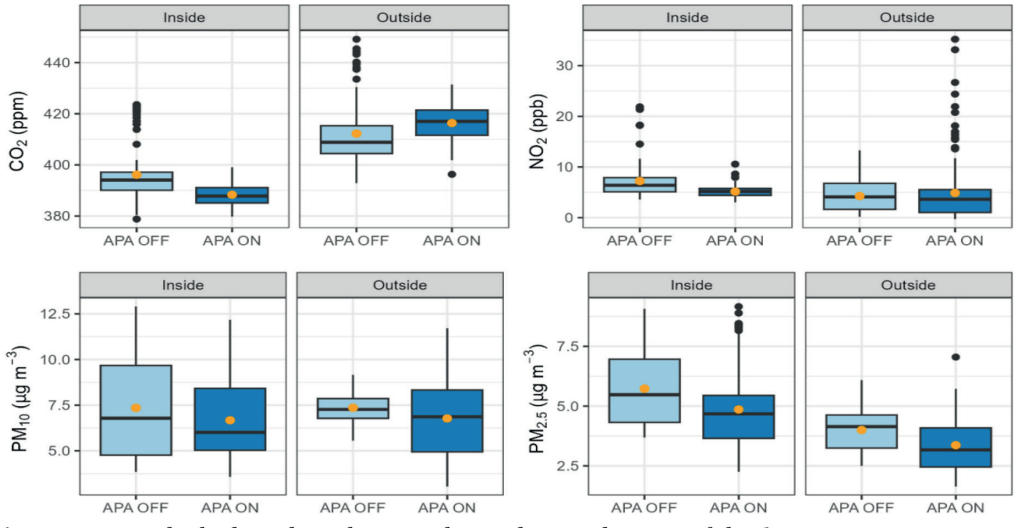


Fig. 5 – *Box and whisker plots showing the median and range of the 15-minute average concentrations for CO_2, NO_2, PM_{10} and $PM_{2.5}$ inside and outside the building, when the APA Panels were ON and OFF.*

Location	Measurement	APA OFF	APA ON	% change
Outside	CO_2 (ppm)	412	416	1
Inside	CO_2 (ppm)	396	388	-2
Outside	NO_2 (ppb)	4.3	4.9	14
Inside	NO_2 (ppb)	7.2	5.1	-29
Outside	PM_{10} (μgm^{-3})	7.4	6.8	-8
Inside	PM_{10} (μgm^{-3})	7.4	6.7	-9
Outside	$PM_{2.5}$ (μgm^{-3})	4	3.4	-15
Inside	$PM_{2.5}$ (μgm^{-3})	5.7	4.9	-14

Tab 2 – *Comparison of mean concentrations during periods when the APA Panels were ON and OFF.*

4. Conclusion

The application of the APA technology and Panel systems in proximity of existing HVAC/ Heatpumps equipment has been assessed using six individual sub-meters with an accuracy of 99%, monitoring the individual energy consumption in an office building.

A baseline period followed by several weeks of APA Panels switched ON and OFF, operating normally for 10 hours a day, between 8am and 6pm, have been used for the above presented calculations. Comparing the energy consumption of the Heatpumps during the period whilethe APA was in operation versus the period without the APA (discounting the energy usage when APA was ON) has resulted in about 14% lower energy consumption by the heatpumps.

Further analyses have been performed to assess the reduction relevance under different external Temperature and Relative Humidity ranges.

It was observed that for outdoor temperatures between 15°C and 21°C, the energy consumption did reduce between -37% and -4%, whilst for temperatures between 21°C and 25°C an increase of 15% was recorded, mainly associated with a change in the internal temperature, increasing the overall HVAC consumption, this shows an initial overall positive impact of the APA panel technology.

Similarly, the resulting energy consumption under different humidity levels has generally reduced for low (<35%) and high (60%) levels of Humidity, with the reduced energy ranging from -40% to -4.7%. Instead for humidity levels between 45% and 50% RH the energy consumed did not vary, showing an initial positive result that would benefit from more detailed analyses.
During the monitoring period, we had also the possibility to observe the effects and the implications in terms of energy usage of the annual cleaning of the heatpump radiators.
The effect and benefits noted after the cleaning operation were substantial; the analysis of the energy consumption before and after has shown that the positive result can be estimated as 74% energy saving during weekends and 58% of savings during weekdays.

Bibliography

[1] WHO (2021) WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM 10), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. ISBN 978-92-4-003422. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
[2] NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health (1998), NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). Fourth Edition, Issue 1, Dated 15 January 1998.
[3] Non-domestic National Energy Efficiency Framework 2020. https://www.gov.uk/government/statistics/non-domestic-national-energy-efficiency-data-framework-nd-need-2020
[4] World Green Building Council, 2015. https://worldgbc.org/article/worldgbc-annual-report-2015-2016/
[5] COGfx study. https://thecogfxstudy.com/

Radon indoor e interventi di efficientamento energetico nel settore residenziale: monitoraggio e analisi applicate ad un edificio residenziale multipiano

Clara Peretti (Consulente ISPRA) clara@ingperetti.it, Lucio Confessore (Consulente ISPRA), Alessandro Di Menno di Bucchianico (ISPRA), Arianna Lepore (ISPRA), Silvia Brini (ISPRA) Margherita Arpaia (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Dipartimento Sviluppo Sostenibile), Federico Massimi (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Dipartimento Sviluppo Sostenibile)

Riassunto

Alcuni interventi di efficientamento energetico negli edifici possono incrementare le concentrazioni di radon. La letteratura scientifica si concentra sui locali a contatto con il terreno, mentre poche indagini sono state condotte ai piani più alti di edifici multipiano. Il presente studio è condotto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione MASE-ISPRA per il supporto all'attività di prevenzione e riduzione del rischio di esposizione al radon indoor.

In un'analisi integrata sono stati monitorati i parametri indoor (temperatura e umidità relativa, CO_2 – un buon indicatore dell'accumulo e della diluizione degli inquinanti indoor), le concentrazioni di radon e le relative correlazioni. Oggetto del monitoraggio è un edificio residenziale costruito nel 1929, composto da 44 appartamenti sito a Bolzano. L'indagine si è focalizzata su quattro ambienti: un appartamento riqualificato energeticamente situato al quinto e ultimo piano, un appartamento situato al quarto piano, un appartamento situato al secondo piano e una cantina seminterrata. Questi ultimi tre ambienti non sono stati oggetto di interventi di profilo energetico. Il monitoraggio in continuo dell'appartamento al quarto piano ha evidenziato concentrazioni di radon non attese (valori di picco di circa 240 Bq/m^3). Valori simili sono stati misurati nell'appartamento al quinto piano recentemente riqualificato nel quale le concentrazioni presentavano valori di picco di circa 250 Bq/m^3. Il monitoraggio è stato quindi esteso ad altri locali dello stesso complesso residenziale.

Il tema del radon necessita di approfondimento anche ai piani non a contatto diretto con il suolo quando questi sono oggetto di riqualificazioni energetiche.

Summary

Some energy efficiency interventions in buildings can increase radon concentrations. The scientific literature focuses on rooms in contact with the ground, while few investigations have been conducted on the upper floors of multi-storey buildings. This study is conducted within the MASE-ISPRA Collaboration Agreement to support the prevention and reduction of the risk of exposure to indoor radon. In an integrated analysis, indoor parameters (temperature and relative humidity), air quality (CO2 – a good indicator of the accumulation and dilution of indoor pollutants), radon concen-

trations and their correlations were monitored. The object of the monitoring is a residential building constructed in 1929, consisting of 44 apartments located in Bolzano. The investigation focused on four environments: an energy-requalified apartment located on the fifth and top floor, an apartment located on the fourth floor, an apartment located on the second floor and a basement cellar. These last three environments were not subject to energy-related interventions. Continuous monitoring of the fourth-floor apartment revealed unexpected radon concentrations (peak values of approximately 240 Bq/m³). Similar values were measured in the recently renovated fifth-floor apartment where concentrations showed peak values of approximately 250 Bq/m³. Monitoring was therefore extended to other rooms in the same residential complex.
The topic of radon also requires further investigation on floors not in direct contact with the ground when these are subject to energy requalification.

1. Introduzione

Nella Gazzetta Ufficiale n. 43 del 21 febbraio 2024 è stato pubblicato il DPCM 11 gennaio 2024 recante l'*Adozione del piano nazionale d'azione per il radon 2023-2032* [1]. All'interno del Piano è indicata come fonte primaria del radon il suolo. Viene riportato inoltre che l'utilizzo di alcuni materiali nella costruzione o nei rivestimenti interni (tufo, graniti, pozzolane, porfidi) o la presenza d'acque ad alto contenuto di radon possono contribuire a incrementare notevolmente le concentrazioni di radon indoor.
Similmente la letteratura scientifica è focalizzata sugli studi che analizzano il tema radon nei locali a contatto con il terreno. Questa è infatti la fonte prevalente e quella che produce le concentrazioni più elevate di radon riscontrate negli edifici. Vi è crescente attenzione al tema del radon prodotto dai materiali da costruzione, soprattutto per gli edifici con ridotti tassi di ventilazione, nei quali anche se la produzione di radon risulta bassa le concentrazioni di radon indoor possono implicare la necessità di interventi per ridurle. Questo è stato approfondito in recenti studi scientifici [2, 3]
Alcuni materiali da costruzione nonché finiture lapidee possono contenere significative quantità di radio che, decadendo producono radon. I materiali che contengono radio presentano grande variabilità in funzione della provenienza e della lavorazione. Come per il terreno i fattori che influiscono sull'efficienza di emissione sono la grandezza e la distribuzione dei granuli e dei pori che determinano la velocità di diffusione all'interno del materiale e la possibilità di uscita del radon dal reticolo cristallino [4].

2. Descrizione del caso studio

Oggetto del monitoraggio è un edificio residenziale costruito nel 1929, composto da 44 appartamenti sito a Bolzano. Le analisi di radon sono state eseguite con misuratori di radon in continuo con le seguenti caratteristiche: *Radoney* – rilevatore a camera a ionizzazione, monitoraggio ad intervalli di un'ora (media mobile) 81 cph a 100 Bq/m³.
L'indagine si è focalizzata su diversi ambienti: un appartamento riqualificato energeticamente situato al quinto e ultimo piano, un appartamento situato al quarto piano, un appartamento situato al secondo piano e due cantine seminterrate. Questi ultimi tre ambienti non sono stati oggetto di interventi di profilo energetico. Sul tema del legame tra radon e interventi di efficientamento energetico si rimanda alla bibliografia [5].
Caratteristiche costruttive dell'edificio in analisi

- Un piano seminterrato (cantine), quattro Piani fuori terra abitati, un piano soffitta con 2 appartamenti (trasformati unendo più soffitte)
- Murature in sasso di spessore variabile tra 50 e 70 cm
- Canne fumarie in parte utilizzate e in parte chiuse con il rifacimento del tetto
- Riscaldamento centralizzato (radiatori) con caldaia a condensazione

• Assenza di ventilazione meccanica
• Climatizzazione estiva in alcuni appartamenti
• Acqua calda sanitaria per singolo appartamento con caldaie a gas oppure scaldaacqua elettrici.

3. Risultati dei monitoraggi

Il monitoraggio in continuo dell'appartamento al quarto piano ha evidenziato concentrazioni di radon significativamente elevate, con valori di picco di circa 240 Bq/m^3. Valori simili sono stati misurati nell'appartamento al quinto piano recentemente riqualificato nel quale le concentrazioni presentavano valori di picco di circa 250 Bq/m^3. Il monitoraggio è stato quindi esteso ad altri locali dello stesso complesso residenziale. Campagne discontinue sono state realizzate nel periodo invernale con durata variabile tra 2 giorni e un mese. Nella tabella 1 sono descritti i risultati delle misure in continuo espressi come media del periodo di misura.

Luogo della misura	Piano	Valore medio radon Bq/m^3	Periodo di misura
Cantina	Seminterrato, scala B	159	12 – 17 dicembre
Cantina	Seminterrato, scala C	46	16 – 18 dicembre
Soggiorno	Piano rialzato, scala B	86	13 – 29 marzo
Camera da letto, adulti	2° piano, scala C	220	18 – 19 dicembre
Soggiorno	2° piano, scala C	190	16 – 19 dicembre
Camera da letto, adulti	4° piano, scala B	111	11 – 17 dicembre
Camera da letto, bambino	4° piano, scala B	121	11 – 18 dicembre
		135	1 – 31 gennaio
Soggiorno	4° piano, scala B	152	11 – 13 dicembre
Soffitta	5° piano, scala B	111	11 – 17 dicembre

Tab. 1 – *Radon, media misure in continuo nei diversi piani del complesso residenziale*

Al fine di valutare la qualità dell'aria sono stati sovrapposti i dati di concentrazione di radon (in azzurro nei grafici) con quelli di CO_2 (in arancione nei grafici). Quest'ultimo è un buon indicatore dell'accumulo e della diluizione degli inquinanti indoor. In Figura 1 sono rappresentate le concentrazioni di radon e di CO_2 in una camera da letto con due persone adulte.

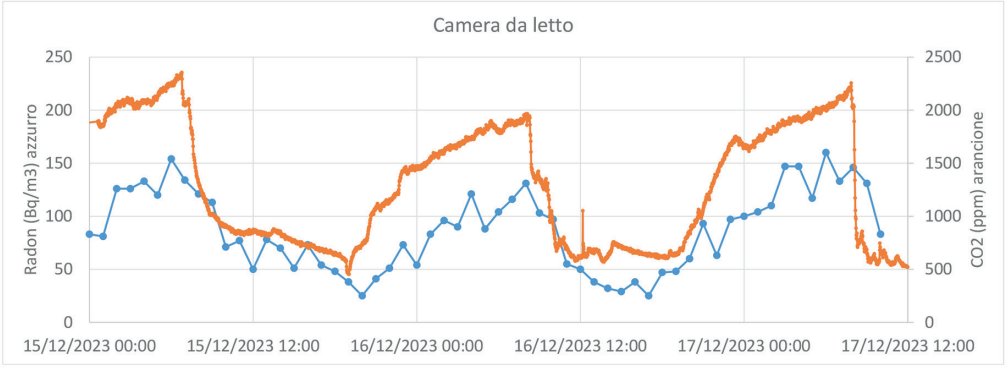


Fig. 1 – *Confronto tra concentrazioni di radon e CO2. Camera da letto, 4° piano*

In Figura 2 sono rappresentate le concentrazioni di radon e di CO_2 in una camera da letto di un bambino. In Figura 3 è rappresentata la concentrazione di radon nel periodo 12-17 dicembre nel soggiorno dell'appartamento riqualificato energeticamente.

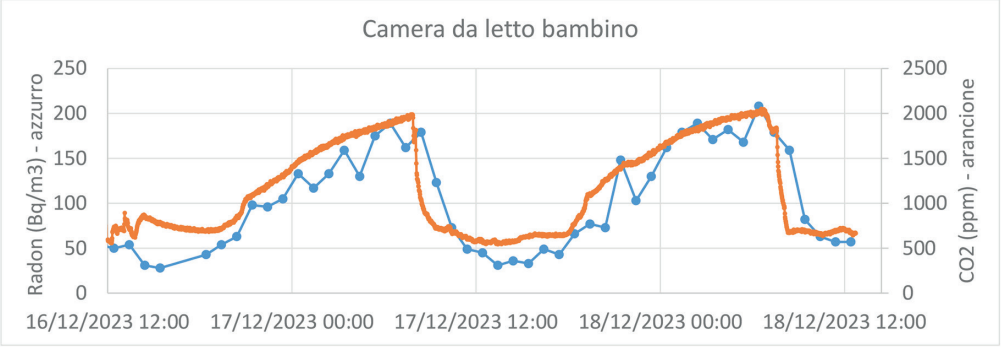


Fig. 2 – *Confronto tra concentrazioni di radon e CO2. Camera da letto bambino, 4° piano*



Fig. 3 – *Concentrazioni di radon, soggiorno, 5° piano (appartamento riqualificato energeticamente)*

4. Discussione

L'edificio in analisi, realizzato negli anni trenta presenta murature in porfido. Queste sono la principale fonte di radon anche ai piani alti. Le concentrazioni risultano fortemente legate alle strategie di ricambio dell'aria mediante apertura delle finestre, ma risultano simili a tutti i piani. Durante il periodo invernale l'esposizione notturna risulta essere superiore a causa dell'assenza di ricambio dell'aria. Nonostante si possa affermare che le concentrazioni medie annuali con grande probabilità saranno inferiori al livello di riferimento di 300 Bq/m^3 (edifici residenziali esistenti) interventi di miglioramento della qualità dell'aria possono essere efficaci sia per ridurre le concentrazioni di radon che di altri inquinanti. Per il caso studio in oggetto l'installazione di sistema di ventilazione meccanica controllata potrà diluire le concentrazioni degli inquinati e garantire un ridotto consumo energetico grazie alla presenza di uno scambiatore di calore.

5. Conclusioni

Il tema del radon necessita di approfondimento anche ai piani non a contatto diretto con il suolo quando questi sono oggetto di riqualificazioni energetiche. È necessario elaborare un

nuovo approccio per la gestione della qualità dell'aria indoor, finalizzata alla minimizzazione dell'esposizione agli inquinanti indoor con particolare attenzione al gas radon. Questa tematica risulta centrale nel "Piano nazionale d'azione per il radon" di recente adozione poiché, anche in Italia, in coerenza con le politiche ambientali definite a livello europeo, stanno aumentando gli investimenti e le iniziative affinché gli edifici consumino meno energia.

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

Bibliografia

[1] DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 11 gennaio 2024 Adozione del piano nazionale d'azione per il radon 2023-2032. (24A00877) (GU Serie Generale n.43 del 21-02-2024 – Suppl. Ordinario n. 10). https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/02/21/24A00877/sg

[2] **I.V. Yarmoshenko, G.P. Malinovsky, M.V. Zhukovsky, V.S. Izgagin, A.D. Onishchenko, A.V. Vasilyev** (2024). Ra-226 in building materials as a source of indoor radon in high-rise residential buildings in Russian cities, Science of The Total Environment, Volume 935, 2024, 173492, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173492

[3] **Ahmad Ciptadi Syuryavin, Seongjin Park, Muttaqin Margo Nirwono, Sang Hoon Lee** (2020). Indoor radon and thoron from building materials: Analysis of humidity, air exchange rate, and dose assessment, Nuclear Engineering and Technology,Volume 52, Issue 10, 2020, https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.013.

[4] **Zannoni G. et al.** (2006) Gas radon: tecniche di mitigazione. Indagine sperimentale sulla correlazione fra attacco e terra e tecniche di mitigazione. EdicomEdizioni, 2006. ISBN-10: 8886729693

[5] **Peretti C. et al.** (2023). Strategie per ridurre l'esposizione al gas radon a seguito di interventi di efficientamento energetico nel settore residenziale (Atti di Ecomondo 2023, Rimini. Maggioli S.p.A. Codice: 978.88.916.6767.0)

Proposta di un Attestato di Salubrità Ambientale Indoor

Damiano Sanelli (Tecnico Ambientale in Biosicurezza, Direttore Tecnico ATTA)
damiano@damianosanelli.it
Clara Peretti (Libera Professionista)

Riassunto
L'attuale contesto legislativo in forte evoluzione presenta grande attenzione sul tema della riduzione dei consumi energetici degli immobili e sugli impatti sull'aria outdoor.
Ancora troppa poca attenzione viene dedicata al tema della qualità dell'aria indoor all'interno delle principali direttive: ma molto sta cambiando e cambierà anche grazie alle indicazioni della nuova EPBD IV anche definita "Direttiva Case Green".
Nel presente articolo viene proposta una approfondita rassegna di protocolli e di certificazioni della qualità dell'aria indoor, tematica indubbiamente da attenzionare, al fine di evidenziarne gli approcci, gli obiettivi e la loro applicabilità a casi concreti.
Creando un parallelismo al "Passaporto di ristrutturazione" che verrà introdotto con la nuova Direttiva Case Green con l'obiettivo di fornire ai proprietari indicazioni per pianificare interventi che gradualmente riducano i consumi dell'immobile, si propone un "Attestato di Salubrità Ambientale Indoor" un documento che fotografa la situazione ambientale presente, definisce la presenza reale e potenziale degli inquinanti chimici, biologici e fisici (come ad esempio il gas radon), quali sono i rischi di contrarre malattie ed anche quali sono le soluzioni tecniche per ridurre tali rischi.
L'Attestato di Salubrità Ambientale Indoor, sarà utile in ogni situazione ed indispensabile in alcuni momenti specifici, quali ad esempio per edifici di nuova costruzione, in fase di ristrutturazione e/o riqualificazione, in fase di compravendita e da affittare.

Summary
The actual legislative context places great emphasis on the issue of reducing energy consumption in buildings and the impacts on outdoor air. Still too little attention is paid to the topic of indoor air quality within the main directives: but much is changing and will change also thanks to the indications of the new EPBD IV also called "Green House Directive".
This article proposes an in-depth review of protocols and certifications of indoor air quality, a topic that undoubtedly deserves attention, in order to highlight the approaches, objectives and their applicability to specific cases.
Creating a parallel to the "Renovation Passport" that will be introduced with the new Green House Directive with the aim of providing owners with indications to plan interventions that gradually reduce the property's consumption, an "Indoor Environmental Health Certificate" is proposed, a document that photographs the current environmental situation, defines the real and potential presence of chemical, biological and physical pollutants (such as radon gas), what the risks of contracting diseases are and also what the technical solutions are to reduce such risks.
The Indoor Environmental Health Certificate will be useful in every situation and indispensable in some specific moments, such as for example for new buildings, in the restructuring and/or redevelopment phase, in the sale and rental phase.

1. Introduzione

Trascorriamo mediamente dall'80 al 90 % della giornata in luoghi indoor: abitazione, ufficio, studio, luoghi di lavoro in genere, scuola, palestre, strutture ricettive, ecc.., tra tutti, l'abitazione ricopre la parte maggiormente importante in termini di tempo trascorso al suo interno. Luoghi la cui condizione ambientale è generalmente dalle 5 alle 7 volte più rilevante e pericolosa rispetto all'ambiente esterno, come più volte sottolineato dall'OMS (Organizzazione Mondiale Sanità) e dall'ISS (Istituto Superiore Sanità) [1, 2].

Come dimostrato da diversi studi scientifici, la salute delle persone è influenzata anche dalla salubrità dei luoghi frequentati: è quindi da considerare come aspetto determinante, la correlazione salubrità ambientale e salute. Si stima che circa 70.000 decessi prematuri annuali in Italia sono causati da diversi inquinanti presenti nell'ambiente. E l'Italia è uno dei paesi che in Europa soffre maggiormente di tale situazione.

Mediamente all'interno degli ambienti residenziali la suddivisione degli inquinanti presenti nell'ambiente è la seguente:

– Sostanze chimiche 45-48%
– Agenti microbiologici 40-43%
– Agenti fisici 10-12%

Si precisa che è una indicazione di suddivisione media.

Anche la giurisprudenza tende a considerare la salubrità ambientale come una estensione del diritto alla salute, ed il diritto alla salute è indentificato come un diritto primario, quindi tra quelli con precedenza.

2. Protocolli volontari e certificazioni della qualità dell'aria

I protocolli o certificazioni di sostenibilità nascono alla fine degli anni Ottanta con l'obiettivo di diffondere la cultura dell'edilizia sostenibile, garantire e valutare l'applicazione di strategie di riduzione dell'impatto ambientale nel progetto e nella costruzione dell'edificio o di un gruppo di edifici. I protocolli permettono inoltre la comparabilità tra edifici e possono essere utilizzati come linea guida per la determinazione degli obiettivi di sostenibilità. I protocolli sono caratterizzati da una grande attenzione all'efficienza energetica, area tematica che ha generalmente il peso maggiore sulla valutazione globale dell'edificio. Altro aspetto comune, per quanto con declinazioni differenti a seconda del sistema, è la valutazione dell'impatto ambientale a tutto il ciclo di vita dell'edificio: dalla costruzione alla sua dismissione o riqualificazione. Gli aspetti legati alla qualità degli ambienti interni sono inoltre presenti in tutti i protocolli, tuttavia con una rilevanza e un numero di indicatori differente.

I protocolli energetico-ambientali sono certificazioni volontarie che permettono di misurare la sostenibilità di un edificio. Si basano generalmente su un sistema di rating, ovvero di punteggio per più aree tematiche.

I criteri da valutare sono molteplici: efficienza energetica, aspetti legati al consumo idrico, comfort e salubrità ambientale interna, impatto generato dalle attività di costruzione, capacità di scambiare e restituire risorse, analisi del ciclo di vita (costruzione, demolizione, smaltimento dei rifiuti e riuso delle materie prime recuperabili) o alla presenza di infrastrutture di mobilità sostenibile o ibrida.



Fig. 1 – *Protocolli di sostenibilità e tematiche [3]*

I protocolli più diffusi sono il DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), la certificazione CasaClima Nature, il Living Building Challenge, il protocollo LEED, la Certificazione WELL. I loghi sono rappresentati in Figura 2



Fig. 2 – *Le certificazioni di sostenibilità [3]*

3. L'attuale contesto: la direttiva EPBD

La quarta recast della Direttiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), anche definite Direttiva "Case Green" è stata approvata ad inizio 2024.
Queste le novità al testo della direttiva EPBD IV:

- nuovi edifici a zero emissioni dal 2030,
- miglioramento energetico graduale degli immobili esistenti con obiettivi intermedi al 2030 e al 2035,
- obbligo di installare pannelli solari su alcune tipologie di edifici,
- progressivo abbandono delle caldaie a gas fino al divieto dal 2040, settore edilizio climaticamente neutro entro il 2050
- Introduzione del "passaporto di ristrutturazione".

Per gli edifici residenziali, gli Stati membri dovranno mettere in atto misure per garantire una riduzione dell'energia primaria media utilizzata di:

- almeno il 16% entro il 2030 e

• di almeno il 20-22% entro il 2035.
La Direttiva Case Green pone una grande attenzione non solo all'efficienza energetica degli edifici, ma anche alla qualità dell'aria interna. Gli impianti di ventilazione rivestono un ruolo cruciale in questo contesto, garantendo un continuo ricambio d'aria ed eliminando gli inquinanti presenti all'interno degli ambienti.

4. L'Attestato di salubrità ambientale indoor
È di primaria importanza affrontare la salubrità indoor con consapevolezza e responsabilità, nel cui contesto risultano coinvolte diverse figure: progettista, costruttore, direzione lavori, … in pratica tutte le figure coinvolte nella filiera delle costruzioni, per arrivare fino alla proprietà, all'acquirente ed anche all'affittuario.
Gli autori propongono la definizione di un *Attestato di Salubrità Ambientale Indoor*, un documento che fotografa la situazione ambientale esistente negli ambienti indoor, individuando la presenza degli inquinanti chimici, biologici e gas radon, per arrivare ad indicare quali sono i rischi per la salute degli occupanti e quali sono le soluzioni tecniche per ridurli.
Affrontare correttamente la situazione vuol dire eseguire un'analisi e delle valutazioni, predisponendo l'*Attestato di Salubrità Ambientale Indoor*, composto dai seguenti capitoli:
A – Stato di fatto
B – Indicazione del rischio presente
C – Individuazione delle soluzioni
D – Verifica dei risultati ottenuti

A – Stato di fatto
Sopralluogo
La valutazione dello stato di fatto deve considerare:
• il contesto dell'ubicazione dell'edificio, il suo orientamento, oltre al potenziale inquinamento presente nell'ambiente esterno
• la situazione dell'immobile e le condizioni delle pareti esterne ed interne
• la tipologia degli impianti di riscaldamento e raffrescamento
• la condizione della cucina e il collegamento della cappa di aspirazione con scarico esterno
• la situazione del bagno, se dotato di estrattore d'aria o utilizzo di ventilazione naturale
• la presenza o meno dell'impianto di ventilazione
• l'eventuale presenza di un camino di qualsiasi tipologia e funzionamento.

Campionamenti e monitoraggi sostanze chimiche e biologiche
Oltre all'aspetto visivo occorre eseguire i campionamenti e monitoraggi per rilevare la presenza e concentrazione di sostanze chimiche, microbiologiche e gas radon.
Questa fase è tanto delicata quanto importante, in quanto consente di eseguire le successive valutazioni sulla base di dati attendibili, ed affrontare correttamente le fasi successive: quella del rischio e delle soluzioni.
Risulta fondamentale venga eseguita da tecnici esperti, competenti e scrupolosi, in grado di maneggiare correttamente le piastre dedicate per i campionamenti microbiologici alla ricerca della carica fungina, batterica ambientale e all'occorrenza della carica batterica umana e della legionella, oltre a eventuali situazioni specifiche; campionamenti che possono essere eseguiti con modalità attiva o passiva, ed a volte anche con entrambe le modalità.

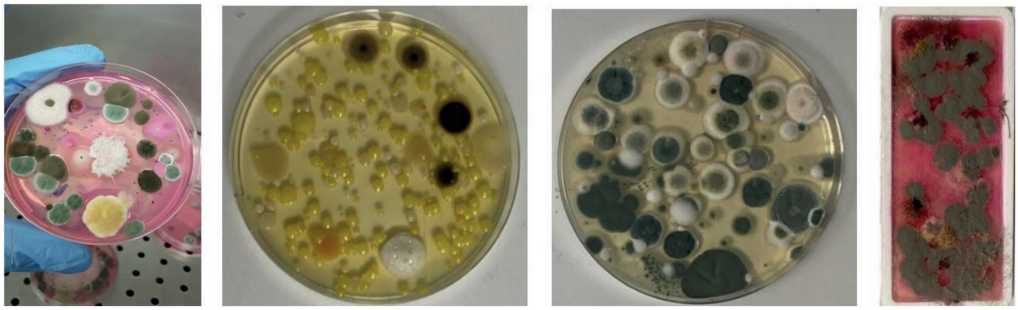


Fig. 3 – *Campionamenti microbiologici [4] e autori*

Piastre che successivamente vengono trasportate presso il laboratorio specializzato per la verifica della presenza delle UFC (Unità Formanti Colonia), facendo attenzione a non alterare il risultato del campionamento eseguito (Figura 3).
Contestualmente si inizia il monitoraggio celle sostanze chimiche, ed a seconda della situazione da valutare, si determina la modalità e la durata del monitoraggio, che può essere eseguita con strumentazione elettronica, piuttosto che con cartucce dedicate, ma anche con fiale specifiche per i vari inquinanti.
La scelta della modalità da utilizzare spetta al tecnico, che a seconda della situazione e dell'obiettivo individua la modalità idonea.
Le sostanze da monitorare, incrociando i risultati, sono diverse, e dovrebbero essere almeno le seguenti:

- TVOC (Totale Composti Organici Volatili)
- CH2O (Formaldeide)
- C6H6 (Benzene)
- NO_2 (Biossido di Azoto)
- PM 10 / 2,5 / 1 (Particolato)
- O_3 (Ozono)
- CO (Monossido di carbonio)
- CO_2 (Anidride Carbonica)
- Temperatura
- Umidità

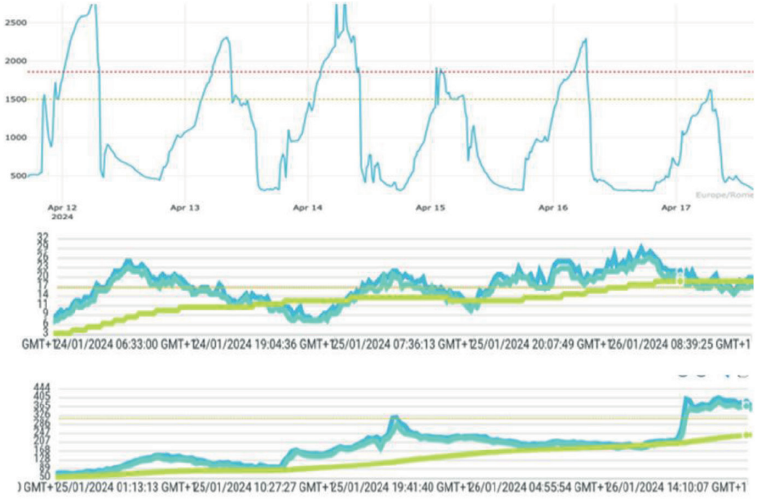


Fig. 4 – *Esempio di monitoraggi e esiti dei campionamenti.*

Rilevamento gas radon

Per quanto riguarda gli inquinati fisici grande attenzione deve essere posta al rilevamento della presenza del gas radon, aspetto normato ed indicato nel D.lgs. 101/2020, nel quale viene indicato di procedere con un rilevamento annuale, posizionando i dosimetri necessari nei punti maggiormente significativi, evitando tutti i posti vicino a correnti d'aria, piuttosto che in prossimità delle bocchette d'aria degli impianti di aereazione, come in altri punti non idonei, che darebbero risultati falsati. Dosimetri che vanno consegnati al laboratorio per ricevere il report sulla presenza del gas.

Contestualmente alla modalità indicata nel D.lgs. 101/2020, che rimane quello di riferimento, si esegue un rilevamento di breve periodo, variabile da una a quattro settimane, in questo caso occorre tenere in considerazione la situazione ambientale esterna ed interna, in quanto in grado di influire sul risultato definitivo annuale. Consapevoli che questa modalità rimane un rilevamento provvisorio, in attesa di quello definitivo, ha però l'enorme vantaggio di avere una indicazione veloce, indicazione con la quale è possibile eseguire delle considerazioni in grado di accelerare decisamente alcuni processi decisionali.

B – Indicazione del rischio presente

Raccolte tutte le informazioni ed i risultati dei rilevamenti eseguiti, è possibile, incrociando i dati ottenuti, stabilire il grado di salubrità ambientale dell'edificio e di conseguenza il potenziale rischio oggettivo sulla salute che gli occupanti corrono al suo interno in grado di essere causa o concausa di decessi o malattie invalidanti.

C – Individuazione delle soluzioni

Come terzo aspetto vi è quello dell'individuazione della o delle soluzioni in grado di risolvere o quantomeno migliorare la situazione, raggiungendo l'obiettivo di avere un ambiente equilibrato, non sterile ma equilibrato.

Le soluzioni a disposizione sono di varia natura, all'occorrenza si valuta un trattamento shock che deve necessariamente essere utilizzato da personale preparato. Si procede poi con i sistemi di mantenimento, sistemi che contemplano diverse tecnologie e tipologie, al tecnico l'onere ed il compito d'individuare quella idonea a seconda della situazione riscontrata, dell'obiettivo che si vuole raggiungere anche a seconda dell'utilizzo dei locali.

Tra le soluzioni, è doveroso prendere in considerazione, valutare e se di efficace risultato, indicare le soluzioni per ridurre l'emissione in ambiente d'inquinanti chimici e biologici, che negli ambiti residenziali, vengono maggiormente prodotti nella zona cucina e bagno. Tra le soluzioni riduttive delle emissioni, frequentemente si danno indicazioni per intervenire sulle abitudini insalubri riscontrate, come ad esempio l'attenzione ai prodotti per la pulizia, i profumatori ambientali, gli insetticidi, ovviamente l'eliminazione del fumo di tabacco, ecc…In quanto vige il principio che prima di eliminare occorre evitare di produrre, direttamente o indirettamente, sostanze inquinanti.

D – Verifica dei risultati ottenuti

La verifica dei risultati ottenuti è necessaria nel momento in cui si individua una situazione di insalubrità ambientale, che porta ad avere un rischio alla salute delle persone, tale da dover mettere in atto delle azioni per rendere gli ambienti salubri.

Con tale verifica si ha riscontro e certezza che gli interventi eseguiti, di responsabilità del tecnico, sono stati corretti e risolutivi per creare un ambiente salubre e protetto.

Questa fase è anche quella che porta al rilascio dell'*Attestato di salubrità ambientale indoor*.

5. Discussione

La realizzazione di monitoraggi, interventi di risanamento e verifica è un iter utile sia per chi andrà ad abitare negli ambienti valutati, in quanto avrà la tranquillità di abitare in ambienti protetti e salubri, ma anche per il venditore e l'intera filiera edile che lo precede, in quanto è il documento in grado di tutelarli legalmente facendogli evitare cause di vizio occulto derivanti da eventuale insalubrità ambientale.

Per vizio occulto si intende un difetto che rende l'immobile o parte di esso inidoneo all'uso a cui è destinato, o ne diminuisce il suo valore, come citato all'art. 1490 del codice civile, nel quale viene espressamente indicato che: "il venditore è tenuto a garantire che la cosa venduta sia immune da vizi che la rendano inidonea all'uso a cui è destinata o ne diminuiscano in modo apprezzabile il valore".

I vizi occulti, sono vizi che non erano rilevabili al momento della compravendita, perché nascosti o non evidenti, e che per rilevarli occorrono competenze e strumentazioni specifiche.

L'insalubrità ambientale indoor ricade esattamente in questa situazione, situazione che viene supportata dal diritto alla salute nell'abitare in ambienti salubri.

Vi è inoltre l'aspetto di agibilità dell'immobile, il cui rilascio è fondato sulla verifica di alcuni requisiti, tra cui anche quello specifico della salubrità. Inoltre, evidente anche il reale fatto gli edifici in possesso dell'*Attestato di salubrità ambientale indoor*, hanno certamente un valore commerciale più elevato rispetto agli edifici che non ne sono in possesso, valore che si può manifestare in termini di velocità nella vendita, piuttosto che di un maggior valore economico.

6. Conclusioni

L'*Attestato di salubrità ambientale indoor* può risultare utile se non indispensabile, per evitare situazioni spiacevoli che sfociano in azioni legali, ogni qualvolta si affronta una situazione di:

- Nuova costruzione
- Ristrutturazione e/o riqualificazione
- Compravendita
- Locazione.

L'*Attestato di salubrità ambientale indoor*, ha un percorso maggiormente efficace, se affrontato contestualmente alla progettazione di una nuova costruzione od una ristrutturazione, in quanto si agisce sia sui materiali utilizzati, che sull'impiantistica e sulla sua distribuzione. Deve essere eseguito e rilasciato da tecnici professionisti, in grado di valutare ed analizzare correttamente i rischi ambientali interni ed anche esterni, portando le idonee soluzioni, delle quali ne sono responsabili.

Bibliografia

[1] **WHO**, Linee Guida globali sulla qualità dell'aria (AQG 2021)
[2] **ISS**, Rapporti ISTISAN, https://www.iss.it/rapporti-istisan
[3] **Peretti C.** 2020. eBook – Protocolli e certificazioni per l'edilizia sostenibile. ISBN 9788859822219. Utet Scienze Tecniche
[4] **Progetto QAES,** Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici, Interreg V-A Italia-Svizzera.

Dall'esperienza locale a quella nazionale: il progetto necessARIA e la condivisione delle competenze

Clara Peretti (Consulente Provincia autonoma di Bolzano) clara@ingperetti.it, Luca Verdi, (Provincia autonoma di Bolzano), Gianmaria Fulici (Provincia autonoma di Bolzano), Umberto Moscato (Università Cattolica Roma), Costanzo Di Perna (Università Politecnica delle Marche)

Riassunto

Il progetto "necessARIA" nasce dall'esigenza di analisi, promozione, sviluppo, collaborazione e condivisione delle competenze e delle politiche sul tema della qualità dell'aria, a partire dagli edifici scolastici. L'obiettivo primario dello studio è di garantire la salute delle persone all'interno degli ambienti di vita e di lavoro. Migliorare la qualità dell'aria indoor nelle scuole si tradurrà in un beneficio significativo per tutta la vita sulla salute degli studenti, del personale docente, tecnico amministrativo, del personale di ditte esterne e non, anche nell'ottica dell'inclusione.

Dopo circa un anno e mezzo dall'inizio del progetto le attività realizzate sono molteplici, sia a livello locale delle singole unità operative sia a livello nazionale. Oltre alle attività di coinvolgimento delle scuole che rappresentano uno degli obiettivi primari, nel progetto "necessARIA" vengono approfonditi i temi del monitoraggio della qualità dell'aria e della salute degli occupanti. Le principali strategie sono il monitoraggio strumentale e le indagini soggettive.

Per valutare alcuni parametri di qualità dell'aria nelle scuole è stata avviata un'estesa campagna di monitoraggio che coinvolge 235 classi nella Provincia di Bolzano. Queste sono state collegate ad un sistema di monitoraggio che invia i dati (temperatura, umidità e concentrazione di CO_2) registrati ad intervalli di 1 minuto ad un cloud che grazie all'interfaccia grafica intuitiva può essere utilizzato anche come strumento di condivisione dei dati con le Scuole. L'estesa quantità di dati è oggetto di analisi statistiche e di valutazioni normative finalizzate all'individuazione delle maggiori criticità, sia sotto il profilo della gestione delle qualità dell'aria che sotto quello del comfort termo-igrometrico.

Il progetto "necessARIA" ha l'ambizione di trasformare il problema della IAQ (Indoor Air Quality) in un'opportunità che consenta di attivare la cooperazione tra il settore della sanità, degli enti pubblici e della scuola. Il progetto è finanziato dal Ministero della salute nell'ambito del Piano Nazionale Complementare "Salute, Ambiente, Biodiversità, Clima" Codice progetto PRE-V-A-2022-12377013.

Summary

The "necessARIA" project was born from the need for analysis, promotion, development, collaboration and sharing of skills and policies on the topic of air quality, starting from school buildings. The primary objective of the study is to guarantee the health of people within living and working environments. Improving indoor air quality in schools will translate into a significant lifelong benefit on the health of students, teaching staff, technical and administrative staff, external and non-external company staff, also from the perspective of inclusion.

After about a year and a half from the start of the project, many activities have been carried out, both at the local level of the individual operating units and at the national level. In addition to the activities involving schools, which represent one of the primary objectives, the "necessARIA" project explores the issues of monitoring air quality and occupant health. The main strategies are instrumental monitoring and subjective surveys.
To evaluate air quality in schools, an extensive monitoring campaign involving 235 classes in the Province of Bolzano has been carried out. These have been connected to a monitoring system that sends the data (temperature, humidity and CO_2) recorded at 1-minute intervals to a cloud that, thanks to the intuitive graphic interface, can also be used as a tool for sharing data with schools. The large amount of data is subject to statistical analysis and regulatory assessments aimed at identifying the major critical issues, both in terms of air quality and thermo-hygrometric comfort. The "necessARIA" project aims to transform the problem of IAQ (Indoor Air Quality) into an opportunity that allows cooperation between the health sector, public bodies and schools. The project is funded by the Ministry of Health as part of PNC program "Health, Environment, Biodiversity, Climate": Project code PREV-A-2022-12377013.

1. Introduzione

Il progetto PNRR– PNC *necessARIA* (Fig. 1) iniziato a gennaio 2023 con durata di 4 anni, mira ad analizzare il tema della qualità dell'aria nelle scuole italiane, possibili soluzioni tecniche e tecnologiche, classificare e parametrizzare il patrimonio costruito che può fornire casi pilota per operare concretamente al miglioramento della salute degli occupanti. La letteratura scientifica recente pone grande attenzione alla qualità dell'aria e degli ambienti interni negli edifici scolastici [1, 2 e 3] approfondendo i temi ingegneristici legati agli edifici e i temi di salute legati alla permanenza degli occupanti all'interno di ambienti indoor.
Un corretto ricambio dell'aria interna, condizione spesso non soddisfatta dalla sola apertura delle finestre, migliora la IAQ, contribuendo anche alla diminuzione di un'eventuale presenza di aerosol infetti. Ciò richiede l'utilizzo di sistemi e strategie specificamente dedicati, che devono però al contempo minimizzare il loro impatto dal punto di vista energetico, ambientale e acustico e garantire la salute degli occupanti. Dal punto di vista pratico vi è l'esigenza di disporre di linee guida e strumenti di ausilio alle politiche, alle normative europee e nazionali, basati su paradigmi legati non solo ad aspetti tecnologici, ma anche alla salute e al benessere degli occupanti. L'attività sperimentale sarà affiancata dall'installazione di sistemi di ricambio dell'aria negli edifici scolastici le cui caratteristiche saranno delineate dalle esperienze delle unità operative coinvolte approfondite nella prima parte del progetto.
necessARIA ha come ulteriore obiettivo quello di elaborare uno schema tipo di bando di gara per progettazione, fornitura, posa e manutenzione: un estratto dei principali requisiti attualmente in fase di discussione è riportato nella parte conclusiva del presente articolo. I sistemi di ricambio dell'aria saranno 35, suddivisi tra nord e sud Italia. Le installazioni saranno effettuate in edifici rappresentativi per le diverse condizioni climatiche e le strutture scolastiche. Per la natura e la complessità del tema affrontato viene adottato un approccio interdisciplinare, dinamico e innovativo con il possibile coinvolgimento di ulteriori attori e stakeholders. Particolare enfasi è dedicata alle attività di disseminazione, formazione e divulgazione.



Fig. 1 – *Il logo del progetto necessARIA e i tre focus tematici*

All'interno del progetto *necessARIA* sono previste 35 installazioni di sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) innovativi nelle seguenti Regioni/Province:
- 12 VMC in Provincia di Bolzano in 12 classi
- 5 VMC in Abruzzo in 5 classi
- 18 VMC in Puglia in 18 classi

Per ogni aula è previsto un finanziamento di Euro 10.000 IVA inclusa, che deve prevendere: macchina VMC, installazione, certificazioni e sostituzione dei filtri. Sono attualmente in fase di definizione i requisiti tecnici per il bando. Questa attività è stata realizzata attraverso un periodico confronto con le associazioni esperte del tema VMC.
Per la Provincia di Bolzano, Capofila del progetto, sono state selezionate diverse scuole con obiettivi diversi: in alcuni edifici vengono monitorati in continuo i parametri di temperatura, umidità e CO_2 mentre in altri edifici vengono monitorate le prestazioni dei sistemi VMC già installati. In Figura 2 sono rappresentate alcune fotografie delle scuole coinvolte.



Fig. 2 – *Fotografie di alcune delle scuole coinvolte nel progetto necessARIA, Bolzano*

Per valutare la qualità dell'aria nelle scuole è stata avviata un'estesa campagna di monitoraggio che coinvolge 235 classi nella Provincia di Bolzano, come descritto in Tabella 1. Gli edifici sono stati scelti al fine di essere rappresentativi del parco edilizio provinciale. Sono stati scelti edifici storici, edifici ristrutturati recentemente, edifici di recente costruzione.

Grado istruzione	Numero di classi
primaria	81
secondaria di primo grado	53
secondaria di secondo grado	101
Totale	**235**

Tab. 1: *Suddivisione per grado scolastico delle scuole coinvolte*

Ogni classe è stata collegata ad una centralina di monitoraggio che invia i dati (temperatura, umidità e concentrazione di CO_2) registrati ad intervalli di 1 minuto ad un cloud che grazie all'interfaccia grafica intuitiva viene essere utilizzato anche come strumento di condivisione dei dati con le Scuole. Nelle figure 3 e 4 sono rappresentati due esempi di grafici ricavati dalla piattaforma cloud che raccoglie tutti i dati di monitoraggio delle 235 classi. Nella piattaforma si possono visualizzare da remoto i dati di temperatura, umidità e CO_2, estrapolarli e analizzarli tra parametri diversi e aule diverse. Per coinvolgere le scuole nelle attività di monitoraggio la piattaforma è stata aperta ai dirigenti e al personale scolastico. In una classe quarta di una secondaria di secondo grado è stata realizzata una attività didattica di analisi dei dati per determinare le situazioni di criticità nell'utilizzo e gestione delle aule.

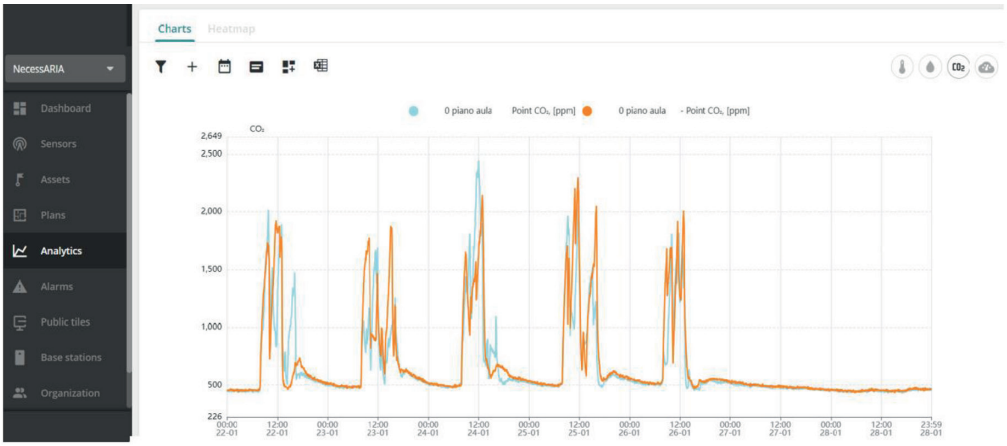


Fig. 3 – *Esempio di rappresentazione della concentrazione di CO_2 (ppm) di due aule al piano terra in una scuola coinvolta (lunedì-domenica gennaio 2024)*

L'estesa quantità di dati è oggetto di analisi statistiche e di valutazioni normative finalizzate all'individuazione delle maggiori criticità, sia sotto il profilo della qualità dell'aria che sotto quello del comfort termo-igrometrico. L'analisi delle temperature dell'aria potrà far emergere situazioni di discomfort termico (troppo caldo e troppo freddo) che potranno essere corrette con interventi mirati. Ridurre le temperature nel periodo invernale può rappresentare un grande potenziale di risparmio energetico ottenibile modificando le logiche di regolazione degli impianti di riscaldamento.

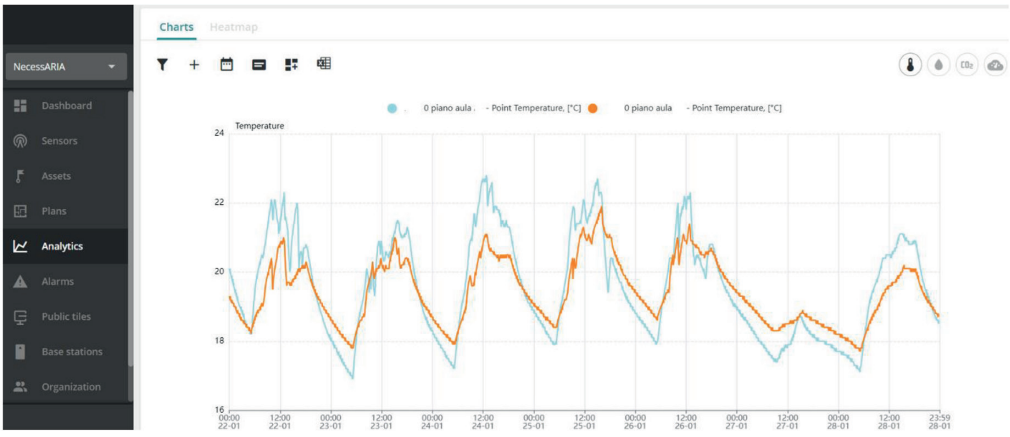


Fig. 4 – *Esempio di rappresentazione della temperatura dell'aria (°C) di due aule al piano terra in una scuola coinvolta (lunedì-domenica gennaio 2024)*

Parallelamente all'analisi dei dati climatici è in atto una grande raccolta dati sulle assenze. Tale parametro risulta complesso da raccogliere nonostante la presenza dei registri elettronici che non presentano le funzionalità della creazione di statistiche giornaliere. Un esempio di dati aggregati per una scuola primaria è rappresentato in Figura 5.

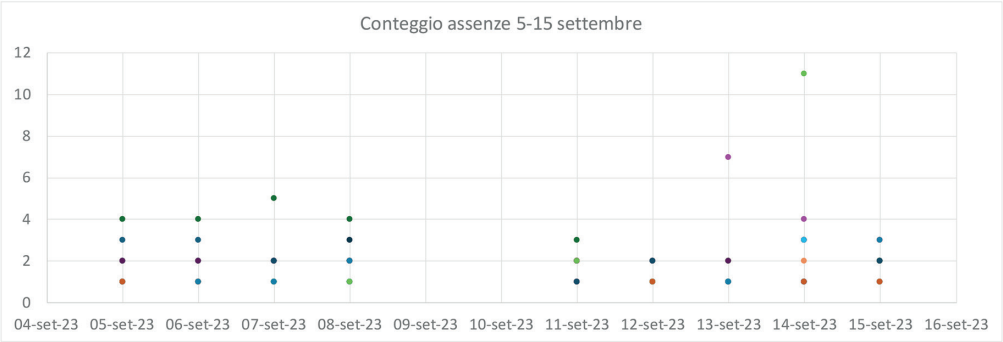


Fig. 5 – *Esempio di analisi delle assenze in una scuola primaria. Ogni colore rappresenta una classe.*

4. Discussione

Grazie alla grande quantità dei dati di qualità degli ambienti indoor (qualità dell'aria e comfort termo-igrometrico) è possibile valutare e caratterizzare i locali scolastici. Questa attività è stata utilizzata per scegliere le scuole nelle quali verranno installate le macchine di ventilazione meccanica controllata. Il cronoprogramma e l'iter è riportato in Figura 6.

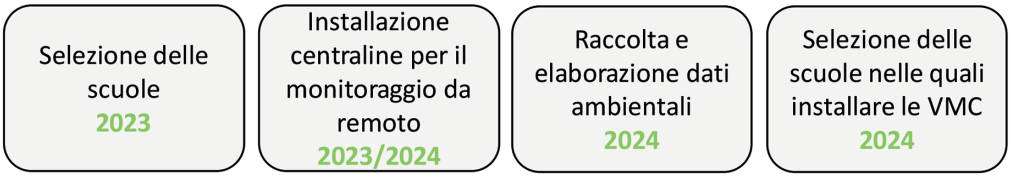


Fig. 6 – *Iter di selezione delle scuole e di coinvolgimento per la Provincia di Bolzano.*

Sono attualmente in fase di definizione gli approcci per le analisi dei parametri indoor, delle assenze e della salute degli occupanti. Per gli incrementi e decrementi della CO_2 verranno determinati quanti picchi si sono verificati durante l'orario scolastico, quale valore hanno, in quale orario e a che si riscontra la concentrazione media più alta durante il giorno.
Verrà determinato quanto tempo impiega la CO_2 a calare, per quanto tempo le finestre/porta erano aperte, quale pendenza hanno le curve in discesa, quanto tempo trascorre per arrivare alla CO_2 esterna (o quella minima di quella giornata) dall'ultimo picco riscontrato.
Per quanto riguarda l'analisi della temperatura dell'aria verranno determinati per ogni classe: la temperatura media nell'orario scolastico, la temperatura media notturna, a che ora si accende l'impianto di riscaldamento, le temperature medie durante l'orario scolastico e quello lavorativo del personale scolastico.

5. Conclusioni

L'estesa quantità di dati ambientali raccolti nelle scuole del progetto *necessARIA* è oggetto di analisi statistiche e di valutazioni normative finalizzate all'individuazione delle maggiori criticità, sia sotto il profilo della qualità dell'aria che sotto quello del comfort termo-igrometrico.

L'intersezione e la condivisione delle competenze delle unità operative è di fondamentale importanza per pianificare le azioni di miglioramento e di riqualificazione degli edifici ponendo particolare attenzione alla salute degli occupanti e al loro comfort e qualità degli ambienti interni.

Il progetto è finanziato dal Ministero della salute nell'ambito del Piano Nazionale Complementare "Salute, Ambiente, Biodiversità, Clima" Codice progetto PREV-A-2022-12377013.

Bibliografia

[1] **Thomas Auer, Philipp Vohlidka and Christine Zettelmeier**. 2020. The Right Amount of Technology in School Buildings. Sustainability 2020, 12, 1134; doi:10.3390/su12031134

[2] **Filippo Busato and Alberto Cavallini**. 2023. Window Opening or Mechanical Ventilation Systems for Italian Schools? Energetic Aspects, CO2 Concentration and Infection Risk Assessment Based on the SARS-CoV-2 Data. Buildings 2023, 13, 1743. https://doi.org/10.3390/buildings13071743

[3] **Sasan Sadrizadeh, Runming Yao, Feng Yuan, Hazim Awbi, William Bahnfleth, Yang Bi, Guangyu Cao, Cristiana Croitoru, Richard de Dear, Fariborz Haghighat, Prashant Kumar, Mojtaba Malayeri, Fuzhan Nasiri, Mathilde Ruud, Parastoo Sadeghian, Pawel Wargocki, Jing Xiong, Wei Yu, Baizhan Li**. 2022. Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment, Journal of Building Engineering, Volume 57, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104908

EMISSIONI ODORIGENE: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO

a cura di **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo & ISPRA, Società Chimica Italiana – Divisione di Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali**

Giunto alla quattordicesima 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.

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

Criticità ed ottimizzazione del sistema di abbattimento di Sostanze Organiche Volatili (SOV) da trattamento rifiuti urbani impianto di selezione e trasferenza

Katiuscia De Angelis katiuscia.deangelis@asmterni.it, Leonardo Carloni, Fabrizio Proietti, Franco Giansanti, Alberto Frizzi
ASM TERNI S.p.A

Riassunto
Il presente studio è stato effettuato con lo scopo di ricercare la migliore prestazione e affidabilità dei sistemi di abbattimento per inquinanti caratteristici, utilizzati all'interno di un impianto di selezione e trasferenza di Rifiuti Urbani Residui (RUR).
Le attività svolte durante questa sperimentazione si sono concentrate, nella prima fase, sulla definizione puntuale della problematica associata all'abbattimento delle emissioni odorigene e nella fase successiva, sulla ricerca della migliore soluzione applicabile per tipologia di impianto. Attraverso un ampliamento del filtro associato all' "area macchine" e l'applicazione di ulteriori soluzioni tecnico-gestionali è stato possibile, con una riduzione dei costi di gestione del materiale adsorbente, riscontrare livelli medi di emissioni in atmosfera inferiori del 35% rispetto al limite normativo previsto al camino di espulsione posizionato a valle del sistema di trattamento.

Summary
The present study was carried out with the aim of explore the best performance and reliability of the abatement systems, for characteristic pollutants, used within a Residual Municipal Waste (RMW) plant.
The activities carried out during this experimentation focused, in the first phase, on the precise description of the problem associated with the abatement of odor emissions and in the subsequent phase, on the search for the best applicable solution for specific system. Through an expansion of the filter associated with the "Machinery Area" and the application of further technical-management solutions it was possible, with a reduction in the management costs of the adsorbent material, finding average levels for atmospheric emissions, 35% lower than the regulatory limit envisaged for the expulsion chimney present downstream of the treatment system.

1. Introduzione

Il trattamento dei rifiuti urbani prevede limiti nelle emissioni delle sostanze organiche volatili (SOV). Tali sostanze sono emesse in composizione e concentrazione variabili nel trattamento dei rifiuti urbani, pertanto non è possibile individuare uno specifico sistema di abbattimento per singola molecola o per famiglia di molecole. L'impianto di trattamento oggetto del presente studio è stato utilizzato inizialmente a servizio di una discarica e successivamente a servizio di un termovalorizzatore. In conseguenza della chiusura dell'impianto di termovalorizzazione è stato utilizzato per la preparazione del rifiuto residuo al conferimento in discarica.

Nelle operazioni di trattamento e separazione della frazione organica si generano sia sostanze odorigene che polveri. Per la prima fase del presente studio è stato progettato un sistema di abbattimento costituito da filtri a maniche per la riduzione delle polveri, unitamente ad un dispositivo contenente carboni attivi per l'abbattimento delle sostanze odorigene.
La presente relazione illustra i risultati delle attività svolte al fine di individuare le criticità associate all'inziale funzionamento del dispositivo, stabilirne i limiti operativi e individuare le soluzioni tecnico-gestionali per migliorarne le prestazioni.

2. Relazione

La prima fase dello studio ha previsto una approfondita analisi del nuovo impianto di captazione ed abbattimento SOV (Fig.1) installato per trattare una portata massima di 28.000 Nm^3/h, costituito da due linee in parallelo: una di aspirazione "aria ambiente" (filtro FC1) e una di aspirazione "aria macchine" (filtro FC2). Su ogni linea sono installati in serie un filtro a maniche ed un filtro a carboni attivi. Le linee convergono in un unico collettore di aspirazione a valle dei filtri a carbone e a monte di un ventilatore che espelle l'aria trattata verso un camino unico, dotato di prese di campionamento. Come mostrato in Fig. 1 (immagine a destra), il filtro utilizzato per il trattamento dall'aria ambiente è di minori dimensioni rispetto a quello utilizzato per il trattamento dell'aria proveniente dall'area macchine in quanto è diverso l'apporto di SOV proveniente dalle due correnti di aria.

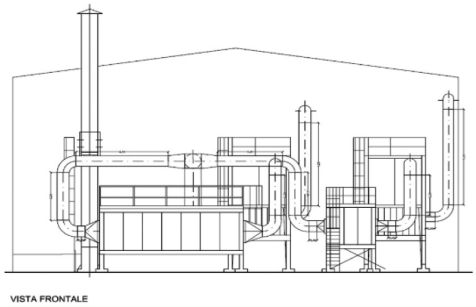


Fig. 1 – *Layout nuovo impianto*

In questa fase risultano installati 6.000 kg di carbone in FC2 e 2.500 kg in FC1 con entrambi i filtri ad attraversamento orizzontale. La tipologia di carbone utilizzato ha un indice di CCl_4 di 55 (ASTM D 3467) – denominato dalla società fornitrice SV40; il carbone attivo è in forma cilindrica del diametro di 4 mm, ottenuto mediante attivazione fisica con vapore in atmosfera inerte di carbone minerale naturale. L'elevata superficie specifica e le appropriate strutture porose lo rendono particolarmente adatto alla purificazione di correnti gassose contenenti un'ampia gamma di composti organici. Nello specifico si riportano in Tab. 1 le caratteristiche dei singoli filtri.

Filtro a carboni aria ambiente	Filtro a carboni aria macchine
- Pressione a monte del filtro: -13 mbar - Pressione a valle del filtro: -19 mbar - Perdita di carico filtro (curve, imbocchi, sbocchi, letto carbone): 6 mbar - Pressione dinamica con tubo di Pitot rilevata nel condotto: 1 mbar (=100 Pa) - Temperatura: 34 °C (*) - Densità aria: 1,15 kg/m³ - Velocità nel condotto in uscita filtro: √(2 x 100 / 1,15) = 13,2 m/s - Diametro condotto in uscita filtro: 600 mm - Sezione di passaggio condotti: π 0,6² /4 = 0,283 m² - Portata nel filtro: 13,2 x 0,283 x 3600 = 13.500 m³/h	- Pressione a monte del filtro: -15 mbar - Pressione a valle del filtro: – 18 mbar - Perdita di carico del filtro (curve, imbocchi, sbocchi, letto carbone): 3 mbar (molto bassa) - Pressione dinamica con tubo di Pitot rilevata nel condotto: 1,2 mbar (= 120 Pa) - Temperatura: 34 °C - Densità aria: 1,15 kg/m³ - Velocità nel condotto in uscita filtro: √(2 x 120 / 1,15) = 14,4 m/s - Diametro condotto in uscita filtro: 600 mm - Sezione di passaggio condotti: π 0,6² /4 = 0,283 m² - Portata nel filtro: 14,4 x 0,283 x 3600 = 14.600 m³/h - Sezione filtro: 16,8 m² - Velocità aria nel filtro: 0,24 m/s

Tab. 1 – *Caratteristiche tecniche dei filtri per aria ambiente ed aria macchine*

2.1 Criticità

Durante la messa in servizio dell'impianto si sono riscontrate risposte del sistema non coerenti con quanto atteso, soprattutto in concomitanza con le temperature più elevate.

Pertanto è stato effettuato un approfondimento dei risultati ottenuti per individuare la correlazione tra causa ed effetto. Sono state dunque analizzate le seguenti variabili:

– tipologia del rifiuto in ingresso;
– frequenza di svuotamento dei mezzi;
– portata;
– condizioni pregresse di marcia

Per procedere con lo studio sono state integrate le competenze interne con quelle di una società di settore, leader nel trattamento chimico, che potesse correlare tutte le informazioni individuate ed ottimizzarle per la modalità di gestione dell'impianto. Finalità principale è capire se l'andamento riscontrato nelle curve di emissione in atmosfera sia ascrivibile ad una saturazione, alla presenza di eventuali polveri, all'umidità, alla temperatura o ad una combinazione di questi elementi. Inoltre non risultava chiaro se la composizione della miscela delle sostanze da abbattere avesse un effetto, se l'adsorbimento, in considerazione della tipologia di filtro installato, avvenisse in modo omogeneo e se il flusso d'aria creasse percorsi preferenziali all'interno del banco carboni, generando anche micropressioni. L'obiettivo da conseguire è il rispetto del valore limite di concentrazione imposto dalla vigente A.I.A. di 50mg/Nm³ delle emissioni SOV (espresse come COT, con metodo UNI EN 12619:2013), in ogni condizione di lavoro e di temperatura.

2.2 Azioni raccomandate

Le azioni individuate dallo studio commissionato sono sia di tipo operativo che di tipo impiantistico. Una delle maggiori problematiche, per la quale si focalizzano le maggiori azioni di miglioramento, è rappresentata dall'influenza della temperatura dell'aria. Infatti la capacità di trattenere i SOV da parte del carbone attivo ne è fortemente influenzata; per temperature superiori ai 35°C la capacità di adsorbimento del carbone attivo si riduce drasticamente. Dalle isoterme di adsorbimeto si evince che per temperature superiori a 40°C la capacità di

lavoro del carbone può essere anche del 30% inferiore se confrontata con una isoterma di adsorbimento a 30°C (la differenza è tanto più marcata al diminuire della concentrazione di sostanze in ingresso). Dalle termo-camere presenti all'interno dell'impianto si rileva che la temperatura interna in condizioni di esercizio, quando non è consentito nessuno scambio d'aria con l'esterno, raggiunge quasi i 47°C. Al fine di mitigare gli effetti della temperatura è possibile prevedere:
– coibentazione delle parti d'impianto soggette ad irraggiamento solare;
– costruzione di un tetto ventilato;
– installazione di una serpentina di raffreddamento o di un sistema di refrigerazione dell'aria con torre evaporativa.
Peraltro, è possibile agire sulla portata in quanto lo studio ha evidenziato che la perdita di carico dovuta all'attraversamento del filtro soprattutto dell' "aria macchine" (Fig.2) risulta bassa e si possano verificare fenomeni di bypass del letto di carbone con formazione di passaggi preferenziali. La sezione più vicina all'uscita del filtro, ricevendo il quantitativo maggiore di aria ad alta velocità, vista la bassa perdita di carico, è anche la porzione maggiormente interessata del letto di carbone attivo e nella quale si possono formare passaggi preferenziali.
Le azioni applicabili in questo caso sono:
– dimensionare idonee paratie atte a minimizzare l'impatto della velocità del flusso sulla parte di fondo al fine di uniformarlo;
– dimensionare la rete di contenimento rendendola più fitta per aumentare il tempo di contatto.
Lo studio sui carboni attivi individua le zone a più veloce esaurimento della capacità di adsorbimento. In questo caso si può operare:
– sostituendo i carboni presenti con altri con prestazioni migliori anche ipotizzando una settorializzazione per le zone individuate a maggiore adsorbimento;
– ampliando il filtro inserendo un maggior quantitativo di carboni;
– realizzando un ulteriore filtro in serie per ogni linea con funzione di "finitura" e con la possibilità di selezione della modalità di funzionamento (un solo filtro in funzione o due filtri in serie funzionanti).
Le azioni operative applicabili riguardano principalmente le modalità di gestione ed ottimizzazione dei carichi dell'impianto. Le attività prevedono:
– il controllo sistematico della quantità dei carboni e la soppressione di eventuali percorsi preferenziali dovuti ad assestamenti o a degradazione dei grani stessi del carbone;
– allungare i tempi di lavoro dell'impianto senza carico in ingresso per dare luogo allo strippaggio (lavaggio) dei carboni;
– il controllo dei flussi di scarico dai mezzi in impianto, ottimizzandoli al fine di avere mass flow costante;
– il monitoraggio delle zone di provenienza della raccolta per individuare eventuali conferimenti anomali.

2.3 Azioni applicate

Dall'analisi di tutte le azioni applicabili, considerando la finalità principale di garantire la conformità al limite di emissione prescritto in Autorizzazione, anche in situazioni di temperature di esercizio dell'impianto elevate, si è deciso di applicare alcuni miglioramenti partendo dall'inserimento di paratie per una migliore distribuzione dell'aria su tutta la superficie. La fase precedente a quella di inserimento delle modifiche ha comportato l'esecuzione di set di misurazioni in differenti condizioni di carico dell'impianto e di temperatura, in modo tale da avere specifici dati sui quali effettuare raffronti e verificare l'impatto delle misure messe in atto.
Le paratie sono state inserite in un primo momento posizionando all'interno del filtro in Fig.2 una semplice lamiera tipo "ghigliottina" regolata per introdurre una perdita di carico di 50 Pa

(0,5 mbar) in accordo alle tabelle SMACNA (Sheet Metal And Air Condizioning Contractors' National Association) [1]. I risultati delle analisi effettuate con questa soluzione non hanno avuto gli effetti sperati, comportando un abbassamento percentuale minimo dell'abbattimento SOV rispetto ai valori in uscita dal filtro; quindi si è proceduto con una successiva modifica sostituendo le paratie con lamiera asolata avente una frazione libera di passaggio di circa il 20% con una dimensione della foratura di circa 3,5 mm. Neanche questa azione ha prodotto risultati soddisfacenti. Anche da un approfondimento effettuato con la ditta fornitrice dei carboni attivi, per valutare la sostituzione della tipologia di adsorbente si è giunti a conclusione che non ci sarebbero stati risultati significativi.

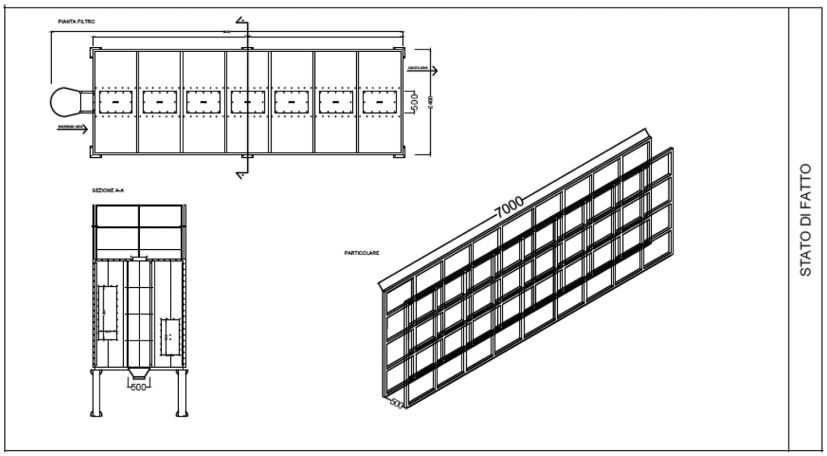


Fig. 2 – *Stato di fatto filtro aria macchine – FC2*

L'azione successiva programmata è stata estendere la superficie della sede di alloggiamento dei carboni nel filtro dell'area macchine. Questa prima modifica è stata messa in atto a partire da Giugno 2022, anche a seguito del parere favorevole ottenuto dalla ditta costruttrice del filtro; le modifiche sono quelle mostrate in Fig.3.

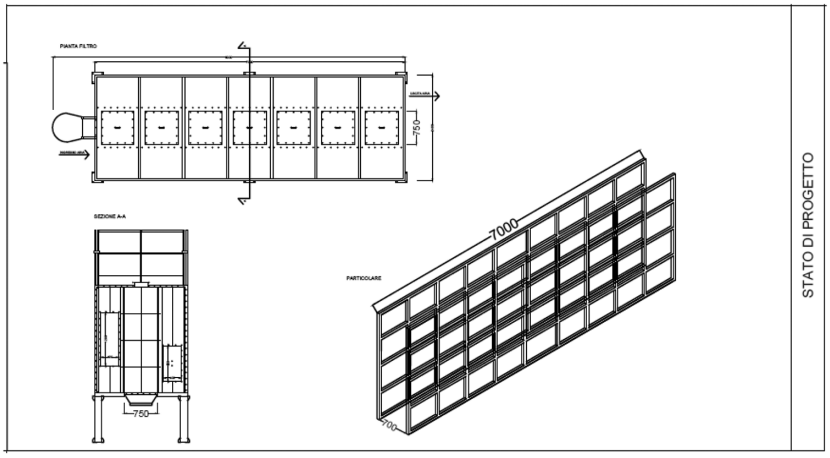


Fig. 3 – *Stato di progetto filtro aria macchine Giugno 2022 – FC2*

Le analisi effettuate a seguito di questa modifica sono state ritenute più che soddisfacenti, in quanto hanno rilevato una diminuzione delle emissioni di circa il 25%.
In seguito a questi risultati si è deciso di inserire variazioni che potessero supportare il processo di ottimizzazione delle prestazioni del filtro, in questo caso si è scelta l'opzione di applicare soluzioni di tipo operativo -gestionale. I filtri vengono controllati settimanalmente in modo da verificare che non si creino vie preferenziali, e se del caso, vengono effettuati aggiustamenti del livello dei carboni in modo che il quantitativo sia sempre ottimale. Sono stati previsti periodi più lunghi di trattamento dell'aria all'interno dell'impianto, indicativamente almeno 1ora prima ed 1ora successiva allo spegnimento dell'impianto, in modo da consentire l'eliminazione anche di tutte le particelle residue. Inoltre, per evitare il deterioramento dei carboni, anche ad impianto non in funzione, sono state inserite sonde di temperatura all'interno del pacchetto di carboni che azionano automaticamente un ventilatore quando la temperatura supera i 35°C richiamando l'aria dall'impianto in modo da poter abbassare la temperatura del filtro.
Si riportano di seguito, in figura 4, i risultati delle analisi eseguite dopo un anno di funzionamento con le modalità descritte e le migliorie messe in atto:

Parametro / misurando	*Metodo di elaborazione dei risultati di prova per ottenere il parametro oggetto di prescrizione*	*Risultato*		*Valore limite di emissione / criterio di valutazione*
		un.mis	*valore*	
Concentrazione di odore	Media geometrica	ou_E/m^3	190	300
Ammoniaca	Media aritmetica	mg/Nm^3	1,91	10
Idrogeno solforato + Mercaptani	-	mg/Nm^3	inf. LOQ (1)	5
Polveri	Media aritmetica (2)	mg/Nm^3	0,31	5
Ammine	-	mg/Nm^3	inf. LOQ (1)	5
TVOC	Media aritmetica	mg/Nm^3	32,3	50
Portata volumetrica	Calcolo	Nm^3/h	26500	28000

Fig. 4 – *Analisi campionamento del 28/03/2024.*

(1) *Concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità.*
(2) *Media aritmetica calcolata come media delle concentrazioni.*

Si evidenzia che l'abbattimento ottenuto rispetto ai valori iniziali prossimi alla soglia di emissione sia diminuito di circa il 35% con le azioni svolte.

3. Conclusioni

L'attività svolta dal gruppo di lavoro per circa un anno ha portato a risultati tangibili sia in termini di emissioni dal camino sia dal punto di vista economico. Alla fine dello studio si è ottenuto un assetto impiantistico gestibile, ottimizzato sulla tipologia di rifiuto caratterizzante l'impianto, con risultati evidenti per le emissioni che consentiranno anche di gestire eventuali carichi "non conformi" come purtroppo spesso accade nel trattamento dei rifiuti. Ottimi risultati sono stati raggiunti anche nell'abbattimento dei costi dovuti alla gestione dei carboni attivi. Infatti si è passati, nel corso degli ultimi 4 anni, dalla sostituzione completa dei carboni del filtro FC1 (Kg 2.500) che avveniva con una frequenza semestrale, alla situazione attuale, Successivamente all'ampliamento del filtro FC2 (circa 9.000 kg) è stata necessaria esclusivamente l'integrazione dei carboni attivi, senza riduzione delle prestazioni per circa 18 mesi.

Bibliografia

[1] **Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA),**Duct design table and charts"Table 14-17 LOSS COEFFICIENT, SCREENS AND PLATES";

Indice analitico

Acevedo Galicia Luis Enrique 295
Addimanda Olga 90
Albasser Francesco 58
Alberti Simona 328
Albino Vito 361
Amato Alessia 314
Andrews Tom 295
Antonelli Andrea 263
Arcelli Paolo 230
Ardito Lorenzo 361
Arpaia Margherita 445

Badalucco Laura 27
Barbero Francesca 328
Barbero Silvia 361
Becci Alessandro 314
Benassi Caterina 348
Beolchini Francesca 314
Bertolini Sara 401
Bertolin Roberto 27
Bini Maria Elena 368
Bona Daniela 197, 401
Bonoli Alessandra 368
Bortolotti Gianluca 183
Brini Silvia 445
Bruno Maria Carmela 341
Busacca Alessia 361

Camilleri Federico 269
Cancelli Umberto 263
Capone Simona 90
Capoti Francesco 110
Carzaniga Alessandro 429
Casacci Luca Pietro 328
Casadei Lucia Venturi 210
Castaldo V.L. 423
Castellani Valerio 217
Cavagnaro Luca 259
Cavicchioli C. 423
Celauro Adele 210
Chaffi M. 117
Charif N. 117
Chiesa Rosa 27
Confessore Lucio 445
Corti Maurizio 306
Cotana F. 423
Cozzani Enrico 408
Cristoforetti Andrea 197, 401
Croci L. 423
Crugnola Cecilia 21

Dangelico Rosa Maria 361
D'Arcangelo Matteo 314
De Bernardi Cesare 21
Delussu Annamaria 246
Di Menno Alessandro 445
Di Perna Costanzo 457

Eleuteri Andrea 393

Falcone Giacomo 133, 139
Faugno Salvatore 328
Ferrigno Marianna 90, 140
Ferrulli Eliana 361
Fiorucci Alessandra 368
Follieri Francesco 259
Franco Stefano 361
Frattini Luisa 163
Frega Giuseppe 65
Fulici Gianmaria 457
Furini Marica 90, 140

Gaino Giorgio 27
Galatioto Fabio 437
Garuti Mirco 383, 408
Gentilini Federica 217
Geranzani Marta Giovanna 163

Ghilardi Natascia 230
Ghione Antonio 35
Giannoccaro Ilaria 361
Gianvicenzi Mattia 246
Gironi Maria Serena 98, 148
Grandi Luca 197, 401
Grivellaro Lorenzo 27

Hamam Manal Samir Mustafa 90
Harasser Christoph 335
Hoefken Marcus 72
House Megan 72
Huber Peter 72

Infusino Ernesto 65

Kostadinov Ivan 408

Laiminger Stephan 335
Lepore Arianna 445
Lettowsky Christoph 300
Liberatori Gaia 217
Liguori Ciro 230
Liuzzi Stefania 361
Lombardi Francesco 393
Lucarini Flavia 217
Lutazi Alessio 393

Manganiello Veronica 90, 140
Mangano Giuseppe 133
Mangiagli Sebastiano 253
Marchetto Elisa 27
Marino Maria Felicia 341
Martellotta Francesco 361
Masino Francesca 263
Massimi Federico 445
Matacera Alessio 246
Mauri Elisabetta 348
Mayer-Laigle Claire 263
Mazzola Simone 328
Meloni Michele 153
Merli Giulia 314
Messina Fiorella 341
Miccolis Giovanni 361
Missaglia Marcello 429
Mistretta Marina 133, 139
Molina Paola 210
Montevecchi Giuseppe 263
Moscato Umberto 457
Mosconi Enrico Maria 246
Musci Giuseppe 361

Nedjari H. Daaou 117
Nemo Anna Maria 210
Noto Chiara 383

Panniello Umberto 361
Parente Carmen 163
Passeri Francesca 174, 182
Payrhuber Klaus 335
Pelassa Giorgio 328
Pellegrino Roberta 361
Penna Paolo 210
Pennellini Sara 368
Pera Massimo 393
Peretti Clara 445, 450, 457
Pergamo Raffaella 90, 140
Perricci Giosef 375
Perrone Giovanni 361
Pesce Alessandra 90, 140
Pistilli Adriano 15, 45, 51
Pivatello Andrea 335
Poma Giovanni Battista 35
Pontrandolfo Pierpaolo 361
Pugliaro Elisa Liliana 35

Quaranta Marino 328
Quartato Natale 361

Realdon Luca 188
Riccioni Damiano 393
Richers Carl 335
Rinaldi Caterina 429
Romano Federica 322, 417
Roma Paolo 361
Roselli Marco 388
Rubino Chiara 361

Saidi Abdessamad 335
Sanelli Damiano 450
Sanfelice Valentina 193
Scappazzoni Stefano 110
Scatto Marco 295
Schmidt Jens 295
Scuro Alessandro 217
Silvestri Chiara 27

Silvestri Silvia 197, 401
Soldano Mariangela 383, 408
Soldi Gian Luigi 35
Spanto Giuseppe 437
Sparkes Adam 295
Spataro Pietro 328
Stacchini Valeria 238
Steidl Walter 72
Stopp Paul 168, 204
Strömich-Jenewein Markus 335

Tarantino Mariarita 246
Tassini Luca 393
Tola Francesco 246
Tomasi Luca 197, 401
Trotta Stefano 408

Varotto Riccardo 295
Verderese Chiara 437
Verdi Luca 457

Wieth Christian 103

Zausa Marco 124
Zoglia Mauro 81
Zoglia Sandra 81

SEE YOU AT ECOMONDO 2025

NOVEMBER 4 — 7, 2025
RIMINI EXPO CENTRE, ITALY

Organized by

ITALIAN EXHIBITION GROUP
Providing the future

In collaboration with

ITA
madeinitaly.gov.it

ECOMONDO GLOBAL NETWORK

ECOMONDO MEXICO

March 5 — 7, 2025
Guadalajara, Mexico

ECOMONDO CHINA CDEPE
引领中国西部生态发展和能源转型

March 27 — 29, 2025
Chengdu, China

GREEN MED EXPO&SYMPOSIUM
WASTE, WATER & ENERGY

May 28 — 30, 2025
Naples, Italy