



# ECOMONDO

Designing  
a better world.

05|08  
NOV.  
2019

RIMINI  
EXPO CENTRE  
ITALY

ecomondo.com  
f @ t v

contemporary with  
**KEY ENERGY**  
organised by  
**ITALIAN  
EXHIBITION  
GROUP**  
Providing the future

# GREEN AND CIRCULAR ECONOMY: RICERCA, INNOVAZIONE E NUOVE OPPORTUNITÀ

- **Rifiuti: gestione e valorizzazione integrata, soluzioni innovative di prevenzione e gestione, nuove frontiere per il riciclo e il recupero**
- **Percorsi circolari nell'industria: policy regionali, buone pratiche di simbiosi industriale, raw materials**
- **Ciclo dell'acqua: gestione e valorizzazione integrata, riutilizzo in agricoltura, efficienza del ciclo idrico urbano, trattamento acque reflue, piani di sicurezza idrica e fognaria**
- **Bioeconomia circolare: i seminativi, compostaggio e digestione anaerobica, bioraffinerie, ruolo delle regioni**
- **Le bonifiche sostenibili e la riqualificazione dei siti**
- **Qualità dell'aria: monitoraggio e controllo nell'era dell'economia circolare, politiche di controllo e prevenzione, tecnologie di abbattimento e nuove strategie**

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

---

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

---

**ITALIAN  
EXHIBITION  
GROUP**  
Providing the future

  
**MAGGIOLI  
EDITORE**



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 175 su riviste internazionali di medio-alto IF. È il Vice-Chairman della sezione di *Environmental Biotechnology* della *European Federation of Biotechnology* e 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'Educazione, Università e 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. Infine è 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*". È infine il Presidente del Comitato scientifico/tecnico di Ecomondo dal 2013.



# SEE YOU AT ECOMONDO

3 - 6 NOVEMBER 2020  
RIMINI EXPO CENTRE - ITALY

organized by

ITALIAN EXHIBITION GROUP  
Providing the future

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

**© Copyright 2019 by Maggioli S.p.A.**  
**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.**  
**Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001: 2008**

*47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8*  
*Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595*  
[www.maggioli.it/servizioclienti](http://www.maggioli.it/servizioclienti)  
e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto: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: 978.88.916.3857.1

# Indice

- pag. 7 Introduzione
- pag. 9 **WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION**  
**SOLUZIONI INNOVATIVE DI PREVENZIONE E GESTIONE DEI RIFIUTI:**  
**STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE**
- pag. 11 Protocollo sperimentale per il BIOMONITORAGGIO della qualità dell'aria in ambiente di discarica tramite Apis mellifera L. *di Breda Silvia, Giovane Gregorio, Bellandi Michele, Bonacina Giovanni, Pizzol Lisa, Argese Emanuele*
- pag. 20 Limiti e opportunità dei dati MUD per lo sviluppo di interventi di economia circolare in una zona industriale *di Matilde Cecchi, Enrico Longato, Marco Compagnoni, Davide Cuk*
- pag. 27 Tariffa Puntuale: perché del ritardo nell'attuazione, a cosa serve e come fare *di Pierluigi Fedrizzi, Daniele Dati*
- pag. 33 Un approccio sperimentale per la classificazione dei rifiuti pericolosi EER 150110\* *di Lorena Franz, Francesco Loro, Stefania Tesser, Renzo Mufato*
- pag. 40 La regolazione delle tariffe nel settore rifiuti da parte di ARERA: cosa attende gli operatori? *di Giorgio Ghiringhelli, Giuseppe Sbarbaro, Paolo Pagani, Marco Signorini, Marco Lovadina*
- pag. 47 Progetto di controllo dell'abbandono rifiuti e del littering del Consorzio Comuni dei Navigli *di Giorgio Ghiringhelli, Salvatore Greco, Giuseppe Maffei, Carlo Ferré, Christian Migliorati*
- pag. 53 Una nuova visione dinamica di compliance: l'adozione di strumenti informatici per il monitoraggio e controllo *di Leonardo Grassi, Roberto Conforto, Enrico Pedron*
- pag. 60 Open Platform e Design Collaborativo per una gestione sostenibile dei processi di Up Cycle per la valorizzazione degli scarti di PVC provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici *di Domenico Lucanto*
- pag. 67 La gestione dei RAEE in Italia alla luce dell'applicazione del sistema Open scope *di Sebastiano Mangiagli*
- pag. 73 Progetto "Città Compatta" | Un modello applicato di gestione dei rifiuti innovativo, flessibile e tracciabile per l'Area ad alta densità del Comune di Perugia *di Massimo Pera, Marco Bagnini*



- pag. 81 Carretta Caretta *di Roberto Pirani, Paolo Garelli*
- pag. 86 Un capitolato per la TARIP *di Antonio Sperduti*
- pag. 92 Tariffa puntuale e impatto prodotto dai mezzi di raccolta *di Andrea Valentini, Luca Belfiore, Benedetta De Santis, Noemi De Santis*
- pag. 99 **WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
NUOVE FRONTIERE PER IL RICICLO ED IL RECUPERO, IN UNA PROSPETTIVA DI ECONOMIA CIRCOLARE**
- pag. 101 Recupero biometano da fanghi e da discarica, un caso virtuoso in Emilia Romagna *di Nicola Labartino, Sergio Piccinini*
- pag. 107 EcoDesign e Manufacturing nei processi di valorizzazione del rifiuto per PVCUpCycling *di Domenico Lucanto, Andrea Procopio*
- pag. 114 Lana di pecora come ammendante naturale: una risorsa a sostegno dell'economia circolare *di Mazziotti Carla, Ugolini Francesca, Fardelli Antonio, Mari Massimo, Camilli Francesca*
- pag. 121 Study of the recyclability of thermoplastic polyurethane *di Paolo Pozzi*
- pag. 126 Recycling of Kevlar fabrics in the production of protections for sports use *di Paolo Pozzi*
- pag. 132 Studio del recupero di materiali da demolizione nella produzione di calcestruzzi e malte *di Paolo Pozzi, Pasquale DiMaro, Francesca Montalti, Esmeralda Neri*
- pag. 139 Rassegna di studi di impatto ambientale life cycle thinking sulla biogassificazione dell'organico *di Eliana Mancini, Andrea Raggi*
- pag. 146 Economia circolare e reti di imprese: la certificazione Remade in Italy valorizza le sinergie *di Monica Riva, Giulia Sebastianelli*
- pag. 153 TMB: un mix originale ed innovativo per recuperare risorse e generare un end-of-waste *di Carlo Santoro, Christoph Atzwanger*
- pag. 159 Utilizzo di ceneri di combustione di rifiuti solidi per la preparazione di manufatti cementizi *di Alessio Siciliano, Francesco Marchio, Carlo Limonti, Giulia Maria Curcio*
- pag. 167 **CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY  
BUONE PRATICHE DI SIMBIOSI INDUSTRIALE IN ITALIA E IL CONTRIBUTO DELLE POLICY REGIONALI QUALE LEVA STRATEGICA**
- pag. 169 Filiere sostenibili con l'economia circolare dalle tecnologie di fine vita per la simbiosi industriale *di Consuelo Nava*
- pag. 176 Politiche regionali di sviluppo ed economia circolare. Il caso della Regione Abruzzo *di Raffaella Taddeo, Anna Morgante, Giovanni Lolli, Alberto Simboli, Andrea Raggi*

- pag. 183 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
RIUTILIZZO DELL'ACQUA IN AGRICOLTURA, IRRIGAZIONE SOSTENIBILE E SISTEMI NATURALI PER LA GESTIONE DEL CICLO IDRICO INTEGRATO NEL NUOVO QUADRO EUROPEO**
- pag. 185 Development of an efficient and sustainable methodology for EMerging POLLutants REmoval in WWTPs (EMPORE) *di Francisco Bosch, Silvia Oyonarte, Raquel González, Hector García, María Ángeles Bernal Romero, Daniel Prats, Miguel Company*
- pag. 191 Simulazione modellistica di un processo terziario per riuso a scopo irriguo di acque reflue civili *di Mario De Mola, Barbara Biagi, Paolo Cirello, Giancarlo Cecchini, Massimo Spizzirri, Emiliano Bernardini*
- pag. 199 Ottimizzazione delle risorse idriche in agricoltura: Il Consorzio di Bonifica Valle del Liri *di Claudio Lena, Lucia Pirolo*
- pag. 205 Valutazione ex post del recupero e riuso ai fini irrigui di acque reflue della depurazione civile alla scala reale *di Paolo Mantovi, Sergio Piccinini, Roberta Calone, Loris Canovi, Paola Zanetti*
- pag. 213 Analisi economica ed energetica per il trattamento di acque reflue non convenzionali a differenti gradi di purezza *di Michaela Oriolo, Tiziana Perri, Filippo Ravoni, Mauro Capocelli*
- pag. 223 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
AUDIT ENERGETICO E DEL CARBONIO ED EFFICIENZA NEL CICLO IDRICO URBANO: VERSO METODI STANDARD E PRATICHE VERIFICATE**
- pag. 225 Una valutazione integrata per la rimozione sostenibile dell'azoto dalle acque reflue industriali mediante processi biologici decentralizzati *di Roberto Canziani, Giovanni Bergna, Roberto Di Cosmo, Giacomo Bellandi, Andrea Turolla, Simone Visigalli, Micol Bellucci, Martina Bargna*
- pag. 233 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
BARRIERE E SOLUZIONI PER LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI FANGHI SOSTENIBILI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE**
- pag. 235 Thermal Hydrolysis Process for effective and sustainable sludge treatment at sludge centers *di Davide Ferraro, Ashish Sabu, Alejandro Jimenez, Torleiv Næss Uglund*
- pag. 243 **WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION  
PIANI DI SICUREZZA IDRICA E FOGNARIA: METODOLOGIE, SUPPORTO DIGITALE E IMPLEMENTAZIONE SECONDO IL NUOVO QUADRO EUROPEO**
- pag. 245 La gestione dei nuovi rischi nella filiera idropotabile: un approccio metodologico e organizzativo per l'implementazione dei WSP *di Valentina Nisticò, Natalia Marzia*

*Gusmerotti, Filippo Corsini, Alessandra Borghini, Marco Frey, Emanuele Ferretti, Tiziana Cenderello*

- pag. 252 Thallium contamination in an Italian public water system: a multidisciplinary approach to protect environmental health of exposed population *di Daniela Nuvolone, MC Aprea, S Bertelloni, R Crebelli, A Di Benedetto, V Fuscoletti, R Guerra, L Lucentini, S Murtas, D Petri, S Pieroni, G Sciarra, E Veschetti, F Voller, I Aragona*
- pag. 259 CIRCULAR BIOECONOMY  
**DA COMMODITIES A SPECIALTIES: I SEMINATIVI NELL'ERA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DELLE SFIDE PER UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE, PRODUTTIVA, SOSTENIBILE E DI PRECISIONE, E PER PRODOTTI ALIMENTARI DI QUALITÀ E NUTRACEUTICI**
- pag. 261 40\_60 energy crops towards biogas to boost sustainable agriculture development in Sahel *di Carlo Santoro, Vito Pignatelli*
- pag. 267 CIRCULAR BIOECONOMY  
**XXI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA - CONFERENZA SUI FERTILIZZANTI ORGANICI DI QUALITÀ E LA CONSERVAZIONE DELLA FERTILITÀ ORGANICA DEL SUOLO – SESSIONE TECNICA**
- pag. 269 Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica *di Mirco Garuti, Fabio Verzellesi, Claudio Fabbri, Francesco Gallucci*
- pag. 275 <sup>15</sup>N e <sup>13</sup>C nella valutazione dell'uso dell'azoto e della conservazione del carbonio da compost *di Marco Grigatti, Giampaolo Di Biase, Alja Margon, Claudio Ciavatta*
- pag. 282 Il potenziale metanigeno (BMP) della FORSU *di Soldano Mariangela, Labartino Nicola, Piccinini Sergio*
- pag. 287 CIRCULAR BIOECONOMY  
**BIORAFFINERIE INTEGRATE NELL'AREA LOCALE: STATO DELL'ARTE E CRITICITÀ**
- pag. 289 Tecnologie innovative nel riutilizzo dei residui del settore lattiero caseario: fattibilità economica *di Claudio Lena, Lucia Pirolo*
- pag. 297 CIRCULAR BIOECONOMY  
**REGIONI COME ATTORI CHIAVE PER GUIDARE LO SVILUPPO DELLA BIOECONOMIA A LIVELLO LOCALE**
- pag. 299 La bioeconomia come occasione per un nuovo rinascimento industriale del Mezzogiorno *di Luca Bianchi, Amedeo Lepore, Stefano Palermo, Stefano Prezioso, Gerardo Cringoli*

- pag. 307 **SUSTAINABLE REMEDIATION AND SITE REQUALIFICATION  
LUCI E OMBRE NELLA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI A 20 ANNI  
DALL'ENTRATA IN VIGORE DEL D.M. 471/99**
- pag. 309 L'applicazione del Soil Washing per la bonifica della matrice suolo in uno stabilimento metallurgico in attività: il caso della Portovesme s.r.l. *di Giacomo Cattarossi, Pier Paolo Manca, Pietro Caredda, Raffaele Pellegatta*
- pag. 316 Riqualficazione sostenibile di un ex contesto produttivo milanese a verde pubblico *di Daniele Vezzoli, Raffaele Pellegatta, Eleonora Cerva*
- pag. 323 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA  
INQUINAMENTO ATMOSFERICO: LO STATO DELLE CONOSCENZE ALLA  
LUCE DELLE ESPERIENZE MATURATE, LE POLITICHE DI CONTROLLO  
E PREVENZIONE**
- pag. 325 PULSE: fostering sustainable environments using geodata with a participatory approach *di Francesca Sapia, Andrea Pogliaghi, Nevio Prada, Vittorio Casella*
- pag. 333 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA  
APPROCCIO GLOBALE ALLA QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI  
CHIUSI: LE FONTI, IL RUOLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E LA  
CORRETTA GESTIONE DEGLI EDIFICI**
- pag. 335 Qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico degli edifici: benefici e rischi per la salute *di Silvia Brini, Roberto Caselli, Francesca De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore*
- pag. 341 **MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA  
EMISSIONI DI ODORI: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE  
NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO**
- pag. 343 Odori da impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti liquidi: Migliori Tecniche Disponibili a confronto *di Raffaella Martini, Giuseppe D'Agostino, Ugo Cognazzo, Roberto Picca Garin*
- pag. 349 **CIRCULAR BIOECONOMY  
ECONOMIA CIRCOLARE PER LA DEFINIZIONE DI UNA STRATEGIA DI  
CRESCITA BLU SOSTENIBILE E INTEGRATA**
- pag. 351 Proposta di una nuova circolare per meglio regolamentare la gestione delle biomasse vegetali spiaggiate *di Sergio Cappucci, Carla Creo*
- pag. 359 **HYDROGEOLOGICAL RISKS AND DISASTERS PREVENTION AND MAN-  
AGEMENT  
GESTIONE SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI E CRESCITA BLU IN AMBITO  
COSTIERO E NEI MEDI E PICCOLI PORTI**
- pag. 361 Uso sostenibile delle risorse sedimentarie marine per la difesa dei litorali dall'erosione *di Paolo Lupino*

- pag. 367 Aspetti ambientali per la caratterizzazione dei sedimenti ai fini di ripascimento *di Daniela Paganelli, Paola La Valle, Monica Targusi*
- pag. 372 La strana storia delle sabbie migranti siciliane *di Giovanni Randazzo, Diego Paltrinieri, Stefania Lanza*
- pag. 379 Tecnologie innovative ad eiettori per la gestione sostenibile di fondali costieri, bocche portuali e porti turistici *di Cesare Saccani, Marco Pellegrini*
- pag. 386 I sedimenti nei grandi invasi artificiali, casi studio in Emilia-Romagna *di Simone Toller, Enrico Dinelli, Ivo Vasumini*
- pag. 393 **CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY  
RAW MATERIALS IN ITALIA NEL CONTESTO EUROPEO**
- pag. 395 Mineral non energy raw materials in Italy within the European framework: a landscape in transition *di Silvia Grandi, Maria Grazia Verdura*

# Introduzione

Gli articoli raccolti in questo volume riguardano alcuni dei contributi presentati alle principali conferenze aperte a *Call for papers* di Ecomondo 2019, svoltosi a Rimini dal 5 all' 8 novembre 2019.

Questa raccolta potrà essere di grande utilità per coloro che non hanno potuto partecipare all'evento e rappresenta una preziosa fonte di informazioni e di stimoli a sostegno di uno sviluppo della *Green and Circular Economy* in Italia, in Europa e nel Mediterraneo.

## **Rifiuti: Gestione e valorizzazione integrata, soluzioni innovative di prevenzione e gestione, nuove frontiere per il riciclo e il recupero**

Una corretta attuazione della gerarchia dei rifiuti, suggerita dalla normativa nell'Unione Europea, sta diventando di stretta necessità in Paesi, come l'Italia, che vivono situazioni di grave problematicità in molti territori. Risulta impellente agire verso una prevenzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti, per limitare il carico sul sistema di smaltimento, ma è anche indispensabile incrementare la disponibilità di impianti che possano trattare e recuperare i rifiuti prodotti, tenendo in considerazione gli impatti ambientali, gli effetti sulla salute, l'accettabilità sociale, oltre alle considerazioni economiche, per operare scelte basate su valutazione oggettive, quantificabili e confrontabili con soluzioni alternative.

Gli avanzamenti compiuti negli ultimi decenni nell'ambito delle tecnologie di trattamento dei rifiuti hanno reso possibile il riciclo ed il recupero di frazioni merceologiche prima considerate irrecuperabili, contribuendo in maniera significativa all'attuazione di un'economia circolare. Gli articoli raccolti all'interno di questa macroarea offrono una panoramica su alcuni di questi temi.

## **Percorsi circolari nell'industria: policy regionali, buone pratiche di simbiosi industriale, raw materials**

In Italia, le Regioni possono svolgere un ruolo importante nella transizione verso l'economia circolare e nell'incoraggiare l'adozione di modelli di produzione e consumo sostenibili, con l'obiettivo di favorire l'adozione della simbiosi industriale come leva per la competitività industriale e territoriale.

Gli articoli raccolti trattano alcune di queste tematiche.

## **Ciclo dell'acqua: Gestione e valorizzazione integrata, riutilizzo in agricoltura, efficienza del ciclo idrico urbano, trattamento acque reflue, piani di sicurezza idrica e fognaria**

Il cambiamento climatico e il suo impatto sulla disponibilità di acqua hanno un'influenza decisiva sul settore agricolo. Inoltre, la necessità di garantire la sicurezza alimentare richiede l'adozione di tecniche sostenibili e il ruolo dell'innovazione è fondamentale in questo senso, in particolare per l'irrigazione di precisione e il trattamento/riutilizzo sicuro delle acque reflue trattate in agricoltura. Il ciclo idrico urbano è stato caratterizzato da una sostanziale mancanza di metodi standard europei e nazionali, parametri di riferimento chiari, verifica e certificazione delle prestazioni.

Le recenti azioni e iniziative europee e nazionali hanno migliorato le conoscenze e gli strumenti per controllare gli impianti di trattamento delle acque reflue e certificare le prestazioni di efficienza energetica e di carbonio.

La sostenibilità tecnica, economica ed ambientale della gestione dei fanghi di depurazione è diventata un problema primario per la gestione dei sistemi idrici urbani. Recenti criticità nazionali oggettive, relative alla gestione di grandi quantità di fanghi hanno notevolmente accelerato l'azione legislativa e operativa per l'applicazione di soluzioni eco-sostenibili, innovative e localmente idonee allo scopo.

L'adozione del piano di sicurezza igienico-sanitario ispira il regolamento UE sul riutilizzo delle acque reflue, come mezzo fondamentale per gestire sistematicamente i rischi per la salute lungo l'intera catena di servizi igienico-sanitari, per garantire uno smaltimento e un riutilizzo sicuri delle acque reflue.

Gli articoli raccolti trattano alcune di queste tematiche.

### **Bioeconomia circolare: i seminativi, compostaggio e digestione anaerobica, bioraffinerie, ruolo delle regioni**

Le recenti traiettorie della bioeconomia, dell'economia circolare ed in genere della ricerca di una intensificazione sostenibile delle produzioni agricole costituiscono una grande opportunità per i prodotti delle "grandi colture" che, dai cereali alle leguminose possono divenire delle "specialties" con caratterizzazioni in linea con i fabbisogni dei consumatori e del mercato di prodotti alimentari di alta qualità, che siano in grado di dare risposte anche alle nuove esigenze di benessere e salute.

Le bioraffinerie multiprodotto sono elementi chiave per migliorare l'efficienza dell'utilizzo della biomassa e aumentare l'efficienza delle risorse e la prevenzione dei rifiuti, nonché il riciclo e la circolarità. Secondo alcune stime, entro il 2030 saranno necessarie circa 300 bioraffinerie in Europa per soddisfare la crescente domanda del mercato UE in questo settore.

A livello Europeo le bioeconomie regionali, sono sempre più riconosciute come elemento chiave per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile e l'azione per il clima delle Nazioni Unite ed in particolare le regioni italiane hanno già dimostrato di essere ampiamente motivate nel mettere in atto cicli economici regionali e sostenendo progetti locali agro-industriali con l'idea strategica di utilizzare bio-risorse in modo più innovativo ed efficiente.

Gli articoli raccolti all'interno di questa macroarea offrono una panoramica su alcuni di questi temi.

### **Le bonifiche sostenibili e la riqualificazione dei siti**

Trascorsi 20 anni dalla entrata in vigore della prima normativa organica per la bonifica dei siti contaminati e dopo 13 anni dalla introduzione della successiva 152 del 2006, è possibile discutere criticamente delle limitazioni che non hanno consentito la riqualificazione della gran parte dei Siti di Interesse Nazionale e di molti siti locali. L'esperienza accumulata in questi anni può consentire di evidenziare le maggiori criticità per suggerire miglioramenti che, apportati alla normativa attuale, consentirebbero di velocizzare e concludere gli interventi di bonifica.

Gli articoli raccolti trattano alcune di queste tematiche.

### **Qualità dell'aria: monitoraggio e controllo nell'era dell'economia circolare, politiche di controllo e prevenzione, tecnologie di abbattimento e nuove strategie**

Diverse solo le tematiche legate all'inquinamento atmosferico: dai piani di qualità dell'aria, ai progetti europei, al ruolo delle diverse sorgenti civili, industriali, agli interventi di limitazione, alle attività di controllo, alle tecniche di monitoraggio, ai risultati forniti dalle reti di monitoraggio. Si tratta di un aspetto di grande rilevanza nella pianificazione ambientale.

Gli articoli raccolti trattano alcune di queste tematiche.

# WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## SOLUZIONI INNOVATIVE DI PREVENZIONE E GESTIONE DEI RIFIUTI: STRUMENTI OPERATIVI E DI VALUTAZIONE

Una corretta attuazione della gerarchia dei rifiuti, suggerita dalla normativa nell'Unione Europea, sta diventando di stretta necessità in Paesi, come l'Italia, che vivono situazioni di grave problematicità in molti territori. Risulta sempre più necessario agire verso una prevenzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti, per limitare il carico sul sistema di smaltimento. Ma è anche indispensabile incrementare la disponibilità di impianti che possano trattare e recuperare i rifiuti prodotti, tenendo in considerazione gli impatti ambientali, gli effetti sulla salute, l'accettabilità sociale, oltre alle considerazioni economiche, per operare scelte basate su valutazione oggettive, quantificabili e confrontabili con soluzioni alternative.

La sessione affronta esperienze di gestione dei rifiuti, urbani e speciali, assieme a strumenti valutativi utilizzati per determinare i flussi di materia/energia e la sostenibilità delle possibili opzioni, al fine di offrire una rassegna di buone pratiche e soluzioni percorribili per poter superare efficacemente problemi presenti e futuri.

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

**Presidenti di sessione:**

- Fabrizio Passarini, CTS Ecomondo, *Università di Bologna*
- Lucia Rigamonti, *Politecnico di Milano*





# Protocollo sperimentale per il BIOMONITORAGGIO della qualità dell'aria in ambiente di discarica tramite *Apis mellifera L.*

*Breda Silvia*<sup>1</sup> [silvia.breda@unive.it](mailto:silvia.breda@unive.it), *Giovane Gregorio*<sup>2</sup>, *Bellandi Michele*<sup>2</sup>, *Bonacina Giovanni*<sup>2</sup>, *Pizzol Lisa*<sup>1</sup>, *Argese Emanuele*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *GreenDecision – SpinOff Università Ca' Foscari di Venezia*

<sup>2</sup> *Progeco Ambiente SpA – San Martino Buon Albergo (VR)*

## Riassunto

*La riduzione nella produzione di scarti attraverso l'attuazione di una economia circolare che permetta il continuo riutilizzo delle materie prime riveste un ruolo centrale nella futura gestione dei rifiuti. Allo stesso tempo è anche necessario dimostrare che gli impianti di smaltimento esistenti o di nuova generazione rispettino i principi della sostenibilità. Gli impianti di conferimento rifiuti sono normalmente sottoposti a stringenti adempimenti autorizzativi e pratiche di monitoraggio. Molto spesso sono inseriti in contesti urbani a loro volta soggetti a plurime pressioni dal punto di vista della qualità dell'aria cui contribuiscono fonti emissive diffuse e puntuali variagate. La valutazione della sostenibilità degli impianti per la gestione e il trattamento dei rifiuti risulta pertanto fondamentale per minimizzare gli impatti sull'ambiente, la salute umana e l'accettabilità sociale.*

*Il progetto BEEBIOLAND ha consentito di sviluppare un protocollo di monitoraggio innovativo per il controllo periodico della qualità dell'aria in ambiente di discarica. Tale sistema si è dimostrato in grado di fornire un riscontro diretto della qualità dei sistemi di gestione e dei potenziali impatti emissivi. I risultati ottenuti hanno consentito di verificare le potenzialità del sistema utilizzato analizzando tre annualità di monitoraggi effettuati sulle diverse matrici (miele, polline, individui morti). Ciò ha permesso di evidenziare la presenza di diverse sorgenti di composti chimici organici e inorganici in ambiente e pertanto di valutare le ottime performance di gestione dell'impianto in tutta la sua filiera grazie al metodo messo a punto che si è rivelato in grado di testimoniare i contributi sia di emissioni gassose che di dispersione di materiali polverulenti.*

## Summary

*Scrap minimization and circular economy are and will be the main goals of the present and future discipline of material management towards the “zero waste” objective. Currently there are landfills which hosts urban or industrial waste we still can't treat or recover that must be run in a sustainable way. Although they are constantly monitored and subordinate to strict procedures for their authorization, they could be source of environmental pollution (air, groundwater, soil) caused by insufficient and unsuitable management. That's why assessing their sustainability with an innovative and low-cost protocol could help in reducing their environmental impacts, increase their social acceptance while reducing risk posed to human health.*

*BEEBIOLAND project started in late 2016 and get so far important results in air monitoring using honeybee and hive products as bioindicator for environmental quality of a landfill in the countryside of Verona which hosts harmful-stabilized and not-harmful industrial wastes. Samples of death bees, honey, pollen, landfill leachate together with leaves, flowers or fresh water of the neighborhood were sampled and analyzed in order to highlight the presence of chemicals the honeybee could be in contact with and stock in the hive as to identifying their source. The study assessed the capability of honeybees in sampling different compounds giving back a complete picture of the landfill surrounding environmental quality and allowed to verify the good management of the landfill site.*

## **1. Introduzione**

L'idea di impiegare l'ape (*Apis Mellifera L.*) ai fini del monitoraggio ambientale non è per niente recente<sup>1</sup>: risale al 1935 il primo tentativo portato avanti da J. Svoboda in Cecoslovacchia volto a valutare l'impatto di alcune industrie in un dato areale: da lì in poi sono numerosi gli studi che si sono susseguiti con il medesimo obiettivo.

Venticinque anni dopo si arrivò ai primi veri successi con la rilevazione dell'incremento nel quantitativo di radionuclidi in ambiente come effetto di test nucleari in corso negli anni Cinquanta<sup>2,3</sup>. Queste prime esperienze contribuirono a testimoniare che questo insetto poteva garantire la possibilità di ottenere dati affidabili rispetto all'impatto sull'ambiente di attività industriali così che dagli anni '70 in poi ci fu un sempre crescente impiego di questa specie per il monitoraggio soprattutto dei metalli nelle aree urbane e dei pesticidi in quelle agricole. Negli anni la specie ha rivelato le sue potenzialità sia come indicatore biologico che come organismo test. Infatti, essa è in grado di rivelare la qualità dell'ambiente in cui vive attraverso specifici segnali (es. contenuto di sostanze nelle matrici di sua produzione), ma anche di dare risposte chiare rispetto alla tossicità di una specifica sostanza presente nell'ambiente di crescita attraverso lo studio della variazione del tasso di mortalità (es. nel caso della presenza di pesticidi)<sup>4</sup>.

L'efficienza di questa specie come bioindicatore è ascrivibile a numerosi aspetti che riguardano la sua etologia e le sue caratteristiche morfologiche<sup>1,5</sup>:

- è una specie potenzialmente di ampissima diffusione, che si riproduce facilmente e ha necessità alimentari piuttosto generaliste (rivolte a fonti zuccherine di varia origine);
- il suo corpo è ricoperto di peluria che è in grado di trattenere le sostanze con cui entra in contatto (dalle molecole di piccole dimensioni al particolato atmosferico);
- presenta alta sensibilità per la maggior parte dei prodotti fitofarmacologici utilizzati in agricoltura ed è in grado di segnalare tempestivamente quando vengono utilizzati in maniera impropria;
- ha un alto tasso di riproduzione e un tempo di vita medio abbastanza basso, tale da consentire un ricambio generazionale continuo;
- ha una discreta mobilità che consente, in assenza di risorse alimentari facilmente reperibili, di monitorare un'area molto vasta (da 1 a 10 km);
- mostra un'elevata efficienza nel monitorare il suolo poiché effettua numerosi voli ogni giorno;
- è in grado di campionare quasi tutti i comparti ambientali;
- fornisce numerosi indicatori per ogni stazione di campionamento;
- reperisce diversi materiali e li trasporta nell'arnia (nettare, polline, melata, propoli e acqua): essi hanno affinità diverse con i contaminanti e consentono un ampio spettro di monitoraggio.

L'uso delle api e dei prodotti dell'arnia per il monitoraggio degli ambienti di discarica è stato portato avanti negli ultimi anni in alcuni comuni d'Italia come ad es. in località Maiolati Spon-

tini (AN) e in località Le fornaci (VT) per lo studio dell'impatto delle aree di confinamento e trattamento di rifiuti solidi urbani portando a buoni risultati soprattutto testimoniando l'efficacia del metodo. Inoltre, tali studi hanno dimostrato che l'applicazione di questi protocolli di biomonitoraggio, grazie al largo spettro di contaminanti e alla vastità delle aree campionate, consentono di valutare la qualità della gestione delle aree di confinamento.

Lo studio condotto da Progeco Ambiente S.p.A. ha avuto l'ambizione di studiare gli impatti prodotti da un impianto per il conferimento di rifiuti speciali (pericolosi stabilizzati e non pericolosi) situato in un'area rurale circondata da aree agricole (vigneti, coltivazione a mais e alberi da frutta) e distante appena 250 m da importanti arterie stradali (autostrada A4 e tangenziale Verona sud).

L'obiettivo dello studio non è stato solo quello di utilizzare per la prima volta l'insetto come biomarker di qualità ambientale in area di discarica per rifiuti speciali (pericolosi e non), ma di testimoniare la buona gestione della discarica stessa grazie alla possibilità di distinguere il suo contributo emissivo rispetto alle altre fonti inquinanti presenti nei dintorni (arterie stradali, attività di viticoltura, frutticoltura, appezzamenti a seminativo, allevamenti avicoli e itticoltura).

## 2. Materiali e metodi

Il campo sperimentale è stato allestito in un'area prativa nella porzione di discarica localizzata a Nord Est al di sopra di due lotti della discarica già esauriti e dotati di copertura definitiva. In tale area sono state poste tre arnie a breve distanza l'una dall'altra gestite da parte di professionisti apicoltori. Esse sono state portate a buone condizioni di sviluppo nei mesi precedenti la sperimentazione in modo da garantire un'intensa attività di prelievo e una buona produzione di miele per la durata della stagione primaverile e estiva per tutte e tre le annualità di sperimentazione.

Al di sotto di ogni arnia è stata posta una cassetina "underbasket" per la raccolta e la conta degli individui morti.

Il protocollo di campionamento ha previsto il conteggio degli individui morti con cadenza dapprima settimanale e poi mensile. Tutti i campioni di individui morti sono stati anche analizzati dal punto di vista chimico. Per quanto riguarda gli altri prodotti dell'arnia, il miele è stato prelevato da nido con cadenza circa mensile (campioni di circa 150-200 g) nei periodi di maggiore produzione e bimestrale all'inizio e alla fine della stagione produttiva; il polline è stato prelevato annualmente e la cera è stata prelevata e analizzata a inizio stagione per la verifica della qualità dei fogli cerei utilizzati. I prelievi sono stati realizzati nel rispetto delle buone prassi di laboratorio utilizzando procedure e materiali che consentissero di evitare la *cross-contamination* ovvero l'inquinamento del campione.

Sono stati analizzati anche sciropo e lievito "spento" che sono stati utilizzati durante la stagione invernale per la sussistenza delle tre arnie. All'inizio della sperimentazione sono stati analizzati anche altri due mieli commerciali per avere dei valori di riferimento rispetto alle concentrazioni degli analiti qui indagati (dati non presentati nel presente articolo).

Le analisi eseguite sui campioni hanno previsto di monitorare le concentrazioni di contaminanti quali PCB, IPA, metalli, antibiotici e pesticidi organici.

Al termine del primo anno di sperimentazione e al fine di verificare l'origine delle sostanze inquinanti rinvenute nel miele, le analisi sono state estese anche al percolato (sia "fresco" che "maturo") prodotto dalla discarica, nonché a campioni vegetali raccolti in diversi punti della discarica a diversa distanza dai lotti ancora in coltivazione, sia sul manto erboso che nelle aree di siepi ripariali distribuite sui lati nord est e nord ovest e sulle acque del torrente Rosella che lambisce la discarica sul lato ovest (cfr. Figura 2.1). Sono stati raccolti anche campioni vegetali appartenenti alle specie coltivate nei terreni circostanti la discarica.

Al termine di ogni annualità di sperimentazione sono state svolte analisi organolettiche e melisso-palinologiche sul miele prodotto.



**Fig. 2.1** – Immagine satellitare (fonte: Google Earth) del corpo discarica e localizzazione dei punti di prelievo dei campioni ambientali. In corrispondenza del punto rosso sono localizzate le tre arnie utilizzate per il biomonitoraggio.

### 3. Risultati

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti quanto al monitoraggio della mortalità degli individui e poi per tipologia di contaminante indagato sulle diverse matrici prelevate.

#### Conteggio degli individui morti

Il conteggio degli individui morti è stato intrapreso fin dall’inizio dello studio ed è stato condotto dapprima settimanalmente e in seguito mensilmente.

I conteggi eseguiti hanno consentito di testimoniare il fitness di tutte e tre le arnie poiché i valori riscontrati non hanno mai superato il valore soglia di 250 morti alla settimana (200 morti è il valore massimo riscontrato nell’ agosto 2017).

Grazie alla presenza di apicoltori esperti, è stato possibile monitorare costantemente l’operosità delle tre arnie a ulteriore prova della buona qualità ambientale del sito.

#### Antibiotici

Gli antibiotici che sono stati rinvenuti durante lo studio erano presenti nel miele e negli individui morti. Essi hanno origine esogena in quanto non è stato somministrato alcun antibiotico da parte degli apicoltori.

Sono state rinvenute quote di Tilosina con una certa costanza e talvolta con valori molto elevati (valore massimo pari a 780  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nel miele - luglio '17- e 78  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s. negli individui morti - maggio '17).

Nel caso del Sulfatiazolo, esso è stato rinvenuto soltanto in una occasione nel miele (21  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ); l’Ossitetraclina è stata rinvenuta soprattutto negli individui morti con valore massimo di 820  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s. e in minore quantità nel miele con valore massimo 16  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (entrambi i valori sono stati registrati nel mese di luglio 2017).

**Nessuno di questi composti è stato rinvenuto nelle matrici ambientali (foglie, acque del torrente) campionate sulla superficie e nell’intorno della discarica, né è presente sul percolato (analisi sul campione “fresco” e su campione “maturo” (valori di Tilosina, Sulfatiazolo e Ossitetraclina < 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).**

La Tilosina è tipicamente utilizzata nell'ambito dell'allevamento avicolo (trattamenti curativi di patologie polmonari) e l'Ossitetraclina in quello dell'itticoltura (entrambe le attività sono presenti nell'intorno della discarica).

### PCB e IPA

Per quanto riguarda gli IPA, essi sono presenti in discrete quantità nel lievito così definito "spento" utilizzato come fonte proteica per alimentare le api nel periodo invernale. Come probabile conseguenza di ciò, è stata rilevata la loro presenza nelle api con elevate concentrazioni esclusivamente nel mese di maggio (dato riportato in **Tabella 3.1**). Nei mesi successivi non sono più stati registrati valori al di sopra dei limiti di rilevabilità. Si nota una costante presenza di questi composti nel miele e nel polline. Si nota, in particolare, che l'ape è in grado di campionare i diversi IPA presenti a prescindere dalle loro caratteristiche steriche o di solubilità dimostrandosi un campionatore naturale versatile e efficiente. Il miele è poi una matrice anfotera, ideale per la loro conservazione indiscriminata.

Si riportano di seguito le concentrazioni minime e massime degli IPA più frequentemente riscontrati su individui morti, miele e polline con alcune caratteristiche riassuntive delle diverse molecole.

Nome	ACENAFTENE	ANTRACENE	ACENAFTILENE	CRISENE	FLUORANTENE	FLUORENE	PIRENE	FENANTRENE
Solubilità in acqua (25°C) mg/l	4,00	0,04	insolubile	insolubile	0,26	1,99	0,13	1,60
n. atomi C	12	14	12	18	16	13	16	14
n. atomi H	10	10	8	12	10	10	10	10
Max-Min (miele) µg/kg	1,6 - <0,5	1,4 - <0,4	1,2 - <0,4	1,3 - <0,4	3,4 - 0,3	4,6 - 0,6	5,6 - <0,3	4,9 - 1,9
Max-Min (api) µg/kg s.s.	4,00 - <0,5	<0,4	2,4 - <0,4	2,1 - <0,4	10,1 - <0,3	9,3 - <0,6	17,4 - <0,3	36,8 - <0,5
Max-Min (polline) µg/kg s.s.	<0,5	<0,4	<0,4	<0,4	1,7 - <0,3	1,2 - <0,5	1,0 - <0,3	3,4 - <0,5

**Tab. 3.1** – Valori di concentrazione dei principali IPA rinvenuti nei campioni prelevati. Per ciascuna molecola è indicata la solubilità a 25°C, il numero di atomi di carbonio e di idrogeno

**Non sono stati rinvenuti IPA nelle matrici ambientali campionate nel corpo discarica e nelle sue vicinanze, né sul percolato.**

**Per quanto riguarda i PCB, essi NON sono stati rinvenuti in nessuna matrice analizzata in quantitativi al di sopra dei limiti di rilevabilità in nessuna delle campagne di campionamento effettuate nel triennio.**

### Pesticidi

Per quanto riguarda questa classe di composti, molti di essi sono stati rilevati nelle matrici analizzate con una certa variabilità (alcuni presenti una tantum, altri stagionalmente); mentre altri, come ad esempio quelli utilizzati per la lotta alla Varroa (es. amitraz e metaboliti) e altri di comune uso agricolo (es. Clorpirifos etile e Pendimetalin), sono presenti con maggiore frequenza nelle api morte e nei campioni vegetali raccolti negli appezzamenti ad uso agricolo presenti nei dintorni della discarica. A titolo di esempio sono stati rilevati valori di Dimetomorf a 14,7 mg/kg s.s. e di Folpet a 73,41 mg/kg s.s.

nelle foglie di vite e valori di Fluazinam a 1,35 mg/kg s.s. e Trifloxistrobina a 1,21 mg/kg s.s nelle foglie di melo.

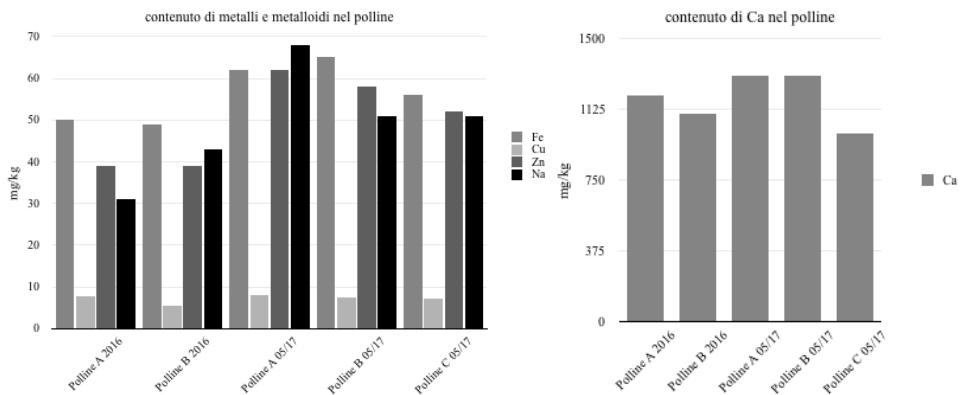
Nel miele sono state rinvenute soltanto tracce di Amitraz (max 0,53 mg/kg). Tale composto è di comune uso in ambito apistico per la lotta alla Varroa, parassita dell'ape, ma non è stato somministrato dagli apicoltori durante la sperimentazione poiché sono state preferite strategie di difesa diverse proprio per non inficiare la sperimentazione. Pertanto tali residui potrebbero provenire dall'interazione con alveari delle aree agricole vicine.

**Tali composti NON sono stati rinvenuti nella copertura a verde della discarica che NON è soggetta a trattamento antiparassitario o antimicotico e, di norma viene soltanto irrigata e sfalcata.**

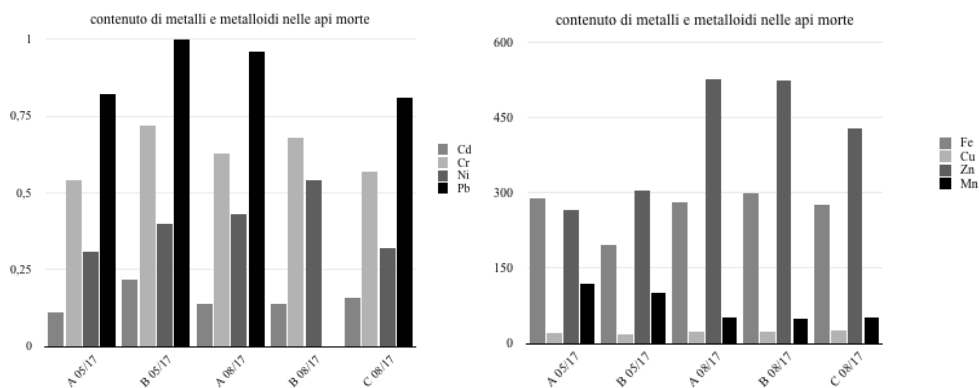
**Tali composti NON sono stati rinvenuti nel percolato di discarica.**

### Metalli e metalloidi

Per quanto riguarda metalli e metalloidi, essi si sono rivelati completamente assenti nel miele (eccezion fatta per il campione smielato 2016 che conteneva Ca e Na in quantitativi coerenti con le normali caratteristiche di questa matrice), mentre sono presenti in api morte e polline. Nei grafici sottostanti sono presentati i risultati ottenuti nelle campagne di campionamento condotte tra il 2016 e il 2017.



**Fig. 3.1** – Contenuto di metalli e metalloidi rinvenuti nel polline relativo ai campionamenti del 2016 e del 2017



**Fig. 3.2** – *Contenuto di metalli e metalloidi rinvenuti nelle api morte relativi ai campionamenti del 2017*

Come è possibile osservare dai grafici sopra presentati (cfr. Figura 3.1, Figura 3.2) i metalli presenti negli individui morti sono esclusivamente quelli definiti “essenziali” e comunemente presenti nelle matrici biologiche in quantitativi NON tossici. Ciò è testimoniato anche dalle condizioni di fitness delle api (monitorato a livello di operosità degli alveari) e dai normali tassi di mortalità registrati.

I quantitativi rinvenuti nel polline non hanno mostrato difformità rispetto a quanto atteso per una matrice alimentare notoriamente ricca di metalli essenziali.

### **Analisi melisso-palinologiche e chimico-fisiche**

Sul miele prodotto sono state svolte anche analisi melisso-palinologiche che hanno consentito di approfondire la tipologia di polline predominante e la qualità e quantità dei pollini non nettariiferi presenti. In generale, il contenuto pollinico si è dimostrato basso, questo fattore indica che l’insetto ha una tendenza ad approvvigionarsi presso fonti alimentari diverse dai fiori nettariiferi, che possono essere costituite anche da riserve zuccherine altre rispetto a quelle tradizionalmente intese come tali e che si presentano maggiormente disponibili. È il caso, ad esempio, di mangimi alimentari destinati al consumo di mammiferi o di soluzioni liquide contenenti sostanze zuccherine reperibili nell’ambito dell’allevamento di pollame come anche dell’itticoltura. Tali matrici potrebbero contenere farmaci come gli antibiotici ed essere la fonte primaria della occasionale contaminazione rilevata nei mieli delle tre arnie sperimentali. Sui campioni di miele sono state effettuate anche analisi organolettiche complete, allo scopo di caratterizzare approfonditamente il miele prodotto nell’anno 2016 anche dal punto di vista alimentare.

In generale le analisi hanno rilevato valori in linea con la normativa come illustrato in Tabella 3.2.



	miele PROGECO	limiti normativi legge 753/82
<b>pH</b>	3,93±0,35	n.d.
<b>contenuto d'acqua g/100g</b>	16,0±0,3	≤ 21,0
<b>acidità meq/kg</b>	34,2	≤ 40,0
<b>fruttosio g/100g</b>	38,4±5,9	n.d.
<b>glucosio g/100g</b>	29,5±5,8	n.d.
<b>rapporto fruttosio/glucosio</b>	1,3	n.d.
<b>maltosio g/100g</b>	1,0±0,3	n.d.
<b>saccarosio g/100g</b>	<0,3	≤ 5,0
<b>attività diastatica UShade/g</b>	36,9 ± 9,3	≥ 8,0
<b>Idrossimetilfurfurale mg/kg</b>	9,2 ± 2,0	≤ 40,0

**Tab. 3.2** – Risultati delle analisi fisico-chimiche svolte sul miele prodotto da Progeco SpA a confronto con i limiti normativi previsti dalla legge 753/1982

#### 4. Conclusioni

I risultati ottenuti hanno consentito di verificare la bontà del metodo messo a punto nel valutare la qualità ambientale del sito di discarica rispetto a un larghissimo spettro di contaminanti ambientali.

Il confronto con i dati ricavati dall'analisi del percolato di discarica e con i campioni vegetali raccolti in discarica hanno consentito di testimoniare che nessuno dei contaminanti presenti nel miele proviene dal sito di Progeco SpA. Le analisi chimico-fisiche e organolettiche svolte hanno consentito di testimoniare ulteriormente la buona qualità del miele prodotto, il quale sarebbe potenzialmente consumabile eccezion fatta per il contenuto di antibiotici talvolta rilevato.

Nel complesso, lo studio è stato in grado di testimoniare che la gestione dell'intera filiera di trasporto, stoccaggio e allocazione dei rifiuti in discarica e loro copertura definitiva è a basso impatto ambientale e condotta a regola d'arte dal punto di vista delle problematiche emissive di contaminanti anche in forma di particellare in quanto il fitness delle comunità è mantenuto costante nel tempo e non risultano presenti, nelle matrici analizzate, composti inquinanti riconducibili ai rifiuti accolti in impianto.

Il sistema di biomonitoraggio ha consentito di perseguire una forma di auto-monitoraggio volontario puntuale, in grado di testimoniare ai diversi stakeholder in maniera trasparente ed efficace la bontà delle pratiche gestionali messe in atto quotidianamente.

In futuro sarà pertanto possibile ottimizzare ulteriormente i protocolli operativi messi a punto ed estendere l'esperienza ad altri contesti soggetti a una complessa gestione perché possa essere un aiuto per un monitoraggio completo e sostenibile di realtà come le discariche che presentano potenziali grosse criticità dal punto di vista ambientale, ma alle quali ancora non è possibile rinunciare.

#### Bibliografia

1. Celli G, Maccagnani B. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bull Insectology*. 2003;56(1):137-139.
2. Crane E. Bees, honey and pollen as indicators of metals in the environment. *Bee World*. 1984; 55: 47-49.

3. Svoboda J. Teneur en strontium 90 dans les abeilles et dans leurs produits. *Bulletin Apicole*. 1962; 5: 101-103.
4. James D, Pham-Delegue M-H. *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals*. 2002..
5. Badiou-Bénéteau A, Benneveau A, Géret F, et al. Honeybee biomarkers as promising tools to monitor environmental quality. *Environ Int*. 2013;60:31-41.

# Limiti e opportunità dei dati MUD per lo sviluppo di interventi di economia circolare in una zona industriale

*Matilde Cecchi [matilde.cecchi@areasciencepark.it](mailto:matilde.cecchi@areasciencepark.it), Enrico Longato, Marco Compagnoni, Davide Cuk, Area Science Park<sup>1</sup>, Trieste*

## **Riassunto**

*Questo studio focalizza l'attenzione sulla gestione dei rifiuti speciali prodotti in un'area industriale specifica, valorizzando i dati provenienti dalle dichiarazioni MUD e integrandoli con informazioni di carattere economico e occupazionale derivanti da altre fonti. La ricerca si concentra sulla zona industriale retroportuale della provincia di Trieste, che mira ad incrementare il livello di innovazione e sostenibilità delle realtà presenti. L'output si concretizza in un database di rifiuti delle imprese insediate e di informazioni relative ai settori di attività, le loro dimensioni e altro. L'analisi dei risultati permette di individuare limiti e opportunità legati a una metodologia che fa affidamento sui dati MUD e che può essere replicabile in contesti simili. Le opportunità legate ai dati consultabili dai soggetti gestori dell'area possono essere concretizzate in interventi nell'ambito dell'economia circolare, tra cui scenari di simbiosi industriale e strategie di gestione dell'area in chiave "eco-industrial park".*

## **Summary**

*Controlled waste management is a key enabler to improve the innovative footprint and environmental sustainability of the productive activities of industrial areas. The presented methodology consists in merging the information from mandatory Companies Waste Assessment (Modello Unico di Dichiarazione Ambientale), with the economic and occupational data of the area. The aim is to track in a dedicated database waste records, commodities sectors, companies' size and turnover. Despite the focus on a specific area (Trieste Industrial Harbour Area), such approach is largely automated and standardized, therefore it is meant to be applicable to different case-studies. The outcome of the investigation is that the tracking of the key players and controlled wastes records are strategic for monitoring environment criticalities and cascading opportunities for Circular Economy continuous development.*

## **1. Introduzione**

Negli ultimi anni la gestione dei rifiuti, in risposta alla crescente produzione, si è orientata verso l'applicazione pratica della gerarchia europea, che pone al primo posto la prevenzione seguita dal recupero di materia e che considera lo smaltimento all'ultimo posto della piramide. In questo scenario, l'Italia occupa il primo posto tra i Paesi europei in tema di circolarità di materia: nel 2017 sono stati prodotti un totale di circa 139 milioni di tonnellate di rifiuti speciali di cui il 65% è stato avviato a recupero, prevalentemente di materia [1]. Nonostante

---

<sup>1</sup> L'Area di Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste - AREA Science Park è ente pubblico nazionale di ricerca vigilato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ([www.areasciencepark.it](http://www.areasciencepark.it))

tale primato, le sfide che si presentano sono ancora molteplici e, per quanto riguarda il livello di 'circularità' dei processi di produzione, un ruolo fondamentale e vantaggioso è rivestito dall'attuazione di interventi di simbiosi industriale: non si parla solo di modello di business circolare all'interno della singola impresa ma di cooperazione tra aziende, in aree e distretti industriali, promuovendo lo scambio di flussi, quali rifiuti, energia e acqua, oltre che di dati. Per i gestori di consorzi e distretti il problema principale si riscontra nella mancanza di dati. La conoscenza e il monitoraggio dei rifiuti prodotti in un determinato territorio rappresenta uno strumento indispensabile per la pianificazione e l'attuazione di sistemi di gestione dei rifiuti destinati a promuovere lo sviluppo sostenibile di aree industriali e le pratiche di simbiosi. In questo contesto si inserisce lo studio qui presentato. Area Science Park, nell'ambito del progetto ARGO<sup>2</sup>, si pone la sfida di supportare il consorzio industriale di riferimento, il COSELAG<sup>3</sup>, nella creazione di un database dei rifiuti da loro prodotti e nel loro inserimento in un sistema informativo geografico, utilizzando i dati MUD e le informazioni disponibili sulle imprese. L'obiettivo è quello di sperimentare in tale zona industriale di Trieste una metodologia potenzialmente replicabile in altre analoghe situazioni territoriali italiane, volte a delineare strategie di intervento e pianificazione secondo i principi dell'economia circolare e a basso impatto ambientale.

## 2. Relazione

### 2.1 Metodologia e case study

Il MUD (Modello Unico di Dichiarazione ambientale), istituito con la Legge n. 70/1994, è il modello attraverso il quale devono essere denunciati, alle Camere di Commercio, Industria ed Artigianato e Agricoltura (C.C.I.A.A.) competenti per territorio, i rifiuti prodotti dalle attività economiche. Il sistema camerale risulta il collettore delle dichiarazioni MUD, mentre il sistema delle Agenzie per la Protezione dell'Ambiente (ISPRA e ARPA) svolge il ruolo di gestore dei dati.

I modelli di dichiarazione MUD vengono emanati con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri. Il modello vigente è quello di cui al Dpcm 24 dicembre 2018, che ha abrogato il precedente Dpcm 28 dicembre 2017.

I soggetti tenuti a presentare il MUD sono quelli individuati all'art 189, cc. 3 e 4, del D.Lgs. 152/2006, oltre a quelli di cui all'art. 4 del D.Lgs. 182/2003 e all'art. 220 del D.Lgs. 152/2006. Nel caso di aziende con più di una unità locale va presentata la dichiarazione per ciascuna unità locale che sia obbligata, in base agli articoli sopra citati, alla presentazione della stessa.

Il MUD è articolato in sei comunicazioni che devono essere presentate dai soggetti tenuti all'adempimento. Le n. 6 comunicazioni sono le seguenti:

- Comunicazione Rifiuti speciali
- Comunicazione Veicoli Fuori Uso
- Comunicazione Imballaggi
- Comunicazione Rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche
- Comunicazione Rifiuti urbani, assimilati e raccolti in convenzione
- Comunicazione Produttori di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche.

Tale modello è una preziosa fonte di informazioni per la creazione di una base dati sui flussi di produzione di rifiuti. Esso è utilizzato con diverse finalità dalle amministrazioni pubbliche, come per il monitoraggio e la pianificazione della gestione dei rifiuti speciali [2], e dalla

---

<sup>2</sup> Il sistema Argo è frutto dell'intesa fra MIUR, MISE e Regione Autonoma FVG. Il coordinamento delle attività è in carico ad Area Science Park ([www.sistemaargo.it](http://www.sistemaargo.it))

<sup>3</sup> Consorzio di Sviluppo Economico Locale dell'Area Giuliana ([www.coselag.it](http://www.coselag.it))

letteratura accademica [3] [4]. In termini di simbiosi industriale, definita come una forma di organizzazione di relazioni interaziendali con il fine di generare benefici reciproci tra gli attori di un determinato sistema e ottimizzare il proprio ciclo di utilizzo dei materiali attraverso lo scambio di materia, energia e infrastrutture [5], la conoscenza delle tipologie dei rifiuti prodotti e le imprese che li producono rappresentano il punto di partenza per creare un network e individuare le possibili sinergie all'interno di un distretto industriale.

In questo studio, si è deciso di utilizzare i dati MUD relativi alla Comunicazione Rifiuti speciali per l'anno 2017, forniti da ARPA FVG, per analizzare la produzione e la gestione dei rifiuti speciali in una particolare zona industriale di Trieste, quella afferente al CoSELAG. Il comprensorio di competenza del CoSELAG si sviluppa su tre Comuni (Trieste, Muggia e San Dorligo della Valle-Dolina) e occupa un'area di 810 ha, di cui circa 300 ha ricadono nel Sito di Interesse Nazionale di Trieste.

I dati sui rifiuti sono stati incrociati con i dati sulle imprese presenti nel territorio di competenza del Consorzio. In questo modo è possibile monitorare ed elaborare statisticamente i dati sui rifiuti speciali prodotti sul territorio individuato, riguardanti tipologie (codice CER) e quantità prodotte.

Per le società di capitale è stata utilizzata la piattaforma Innovation Intelligence, sviluppata da Area Science Park in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche "Bruno de Finetti" dell'Università degli Studi di Trieste (DEAMS). Innovation Intelligence è uno strumento di Business Analytics che per la prima volta raccoglie, integra ed elabora i dati sulle imprese di capitale del Friuli Venezia Giulia presenti in numerose banche dati, con un focus sull'innovazione. Aggiornato su base annuale, Innovation Intelligence è strutturato in 14 sezioni, ciascuna delle quali visualizza un insieme diverso di dati associati al tema di analisi: anagrafica e localizzazioni, attività di riferimento e secondarie, struttura (compreso il numero di dipendenti), performance economico finanziarie con loro andamento, indicatori di bilancio, credit rating, contratti di rete, certificazioni, finanziamenti regionali ed europei a ricerca e sviluppo, brevetti italiani ed europei, propensione all'innovazione e all'internazionalizzazione.

Tra questi dati, il numero di dipendenti e il settore di attività sono stati fondamentali per individuare le attività con l'obbligo di presentare la dichiarazione MUD.

Il campione di analisi considerato contiene 656 società di capitale insediate, per un totale di 734 unità locali. Tra di esse nel 2017 è stato presentato il MUD per 270 insediamenti. Sono 100 le unità locali in CoSELAG di società di capitali, attive e con più di 10 dipendenti, per le quali non è stato presentato il MUD nell'anno 2017. Trattasi pertanto di attività di cui alle lettere a), b), e), f), h) dell'art. 184 c. 3 D.Lgs 152/2006.

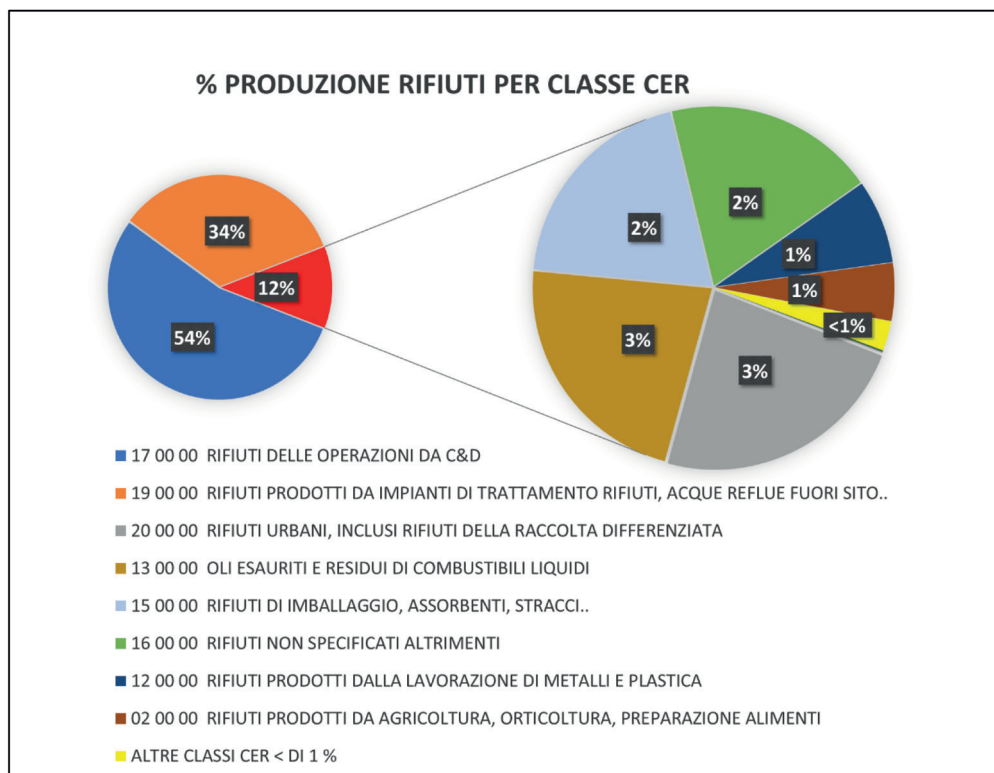
Per quanto riguarda le società non di capitale (società di persone, cooperative, consortili) sono invece stati estrapolati i dati MUD per le sole imprese insediate all'interno del Consorzio e che hanno presentato la dichiarazione. Nel 2017 hanno presentato la dichiarazione 95 società non di capitale.

## *2.2 Risultati e analisi*

Il risultato dello studio si presenta sottoforma di una banca dati con informazioni sulle tipologie (codice CER) e quantità di rifiuti prodotti nella zona identificata, le aziende produttrici, i loro settori di attività (ATECO) e altre informazioni quali dimensione aziendale, indicatori di innovazione e di fatturato. L'analisi di tali dati può essere sviluppata sotto diversi aspetti, dallo studio dei flussi di rifiuti in ottica di strategie di economia circolare e simbiosi industriale al monitoraggio anno per anno della produzione di alcune tipologie di rifiuti e dei settori di attività più impattanti.

L'analisi effettuata rivela che nella zona retroportuale del CoSELAG vengono prodotti più

di 287 mila tonnellate di rifiuti speciali. Ben 18 delle 20 classi CER sono presenti tra i rifiuti censiti; restano escluse solo la classe 01 e la classe 10. Le tipologie prevalenti sono i CER della classe 17 - Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione (155.340 tonnellate, 54% del totale) e della classe 19 - Rifiuti prodotti da impianti di trattamento dei rifiuti, impianti di trattamento delle acque reflue fuori sito, nonché dalla potabilizzazione dell'acqua e dalla sua preparazione per uso industriale (97.710 tonnellate, 34%), seguiti dalle classi 20 - Rifiuti urbani e 13 - Oli esauriti e residui di combustibili liquidi (intorno alle 7.000 tonnellate ciascuna).



**Fig. 1 – Percentuale di rifiuti speciali per classi CER censiti nella zona di studio**

Si consideri che i dati si riferiscono all'anno 2017, e che il 22 agosto 2017 è entrato in vigore il DPR n. 120/2017, recante la disciplina semplificata per la gestione delle terre e rocce da scavo. Per l'anno 2017 il codice 170504, terre e rocce non pericolose, risultava essere il secondo CER prodotto in CoSELAG, con oltre 60 mila tonnellate. Appare pertanto ragionevole ipotizzare una diminuzione della produzione del CER 170504 a partire dalle dichiarazioni relative ai rifiuti prodotti nell'anno 2018.

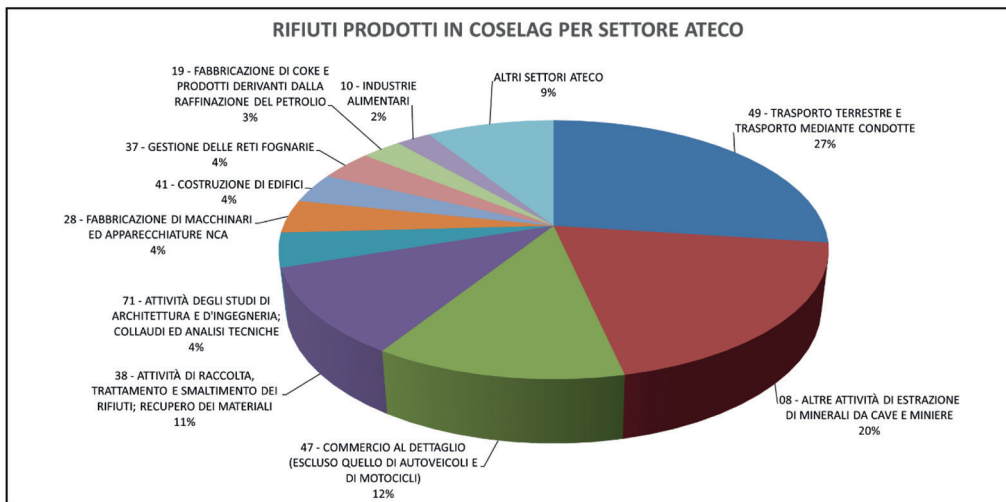
Sul totale di 365 dichiarazioni presentate 202 contenevano almeno un codice di rifiuto pericoloso.

A livello di pericolosità dei rifiuti dall'analisi dei dati si evince che meno del 6% del totale è classificato come pericoloso. Tale ripartizione percentuale tra rifiuti speciali non pericolosi e pericolosi è in linea con quella presentata nel Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali per

il Friuli Venezia Giulia [2]. Fra i pericolosi i rifiuti che contribuiscono più significativamente alla produzione complessiva sono quelli delle classi 13 (45%) e 19 (43%).

Si osserva che il 94% dei rifiuti censiti, pari a circa 269 mila tonnellate, vengono prodotti dalle società di capitale insediate in CoSELAG. Per queste imprese si è provveduto ad incrociare i dati di produzione rifiuti con quanto attiene i settori di attività delle stesse, in modo da individuare quali siano le filiere più impattanti in termini di produzione rifiuti, ma allo stesso tempo più interessanti nell'ottica di sviluppo di possibili sinergie in termini di simbiosi industriale. La piattaforma Innovation Intelligence contiene infatti i dati Istat di classificazione delle attività economiche secondo i codici Ateco 2007 (macrosettore, settore, codici primari e secondari delle aziende).

Si è scelto, nelle successive analisi, di non considerare i rifiuti di cui alla classe 19, cioè i rifiuti speciali prodotti da impianti di trattamento dei rifiuti, replicando la metodologia di cui al Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali per il Friuli Venezia Giulia [2]. La scelta è dettata dalla necessità di descrivere il reale impatto delle attività produttive che operano all'interno dell'area di competenza del CoSELAG. Considerare tra i dati di produzione anche quelli provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti potrebbe infatti portare ad una doppia contabilizzazione dello stesso rifiuto, prima e dopo il trattamento, e quindi a sovradimensionare la reale produzione. Va però specificato che gli impianti di trattamento rifiuti ubicati nel territorio di riferimento possono trattare anche rifiuti prodotti esternamente al territorio del CoSELAG; non avendo dati a sufficienza per poter dividere e caratterizzare i due flussi si è scelto, in via cautelativa, di escludere i suddetti rifiuti.



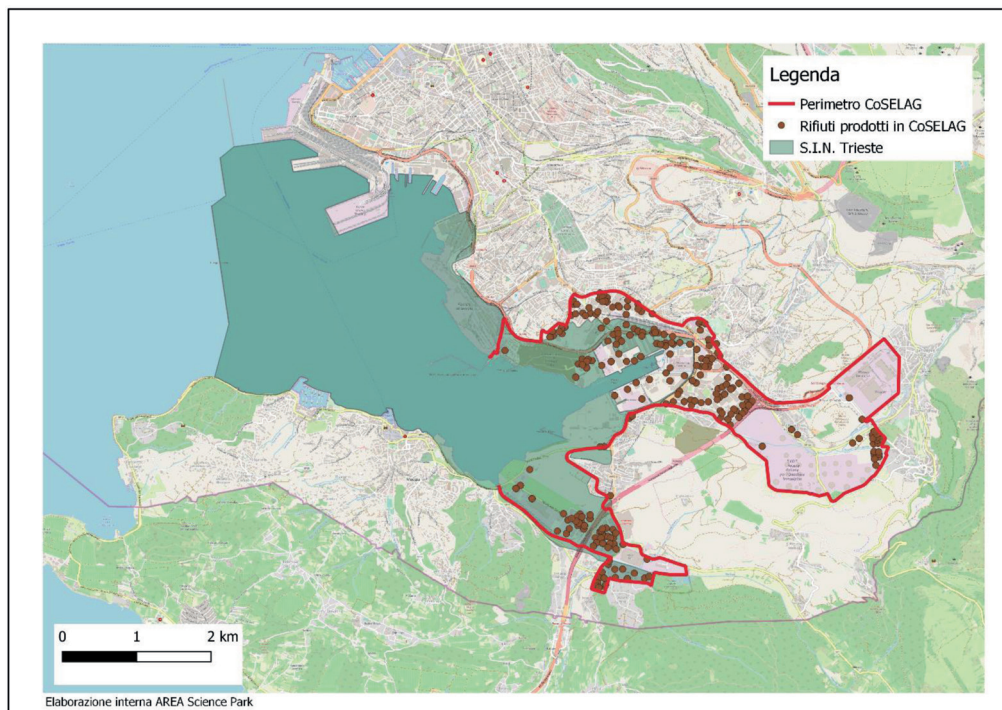
**Fig. 2** – Percentuale di CER prodotti per settore ATECO (sole società di capitale), esclusi i rifiuti di cui alla classe 19

Come mostrato in Figura 2, i maggiori contributi ai quantitativi prodotti sono dati dalle attività di trasporto terrestre (27%) e da quella di estrazione di minerali da cave e miniere (20%). Questo risultato è ascrivibile ai grossi quantitativi di rifiuti della classe 17 (rifiuti da costruzione e demolizione) censiti nell'area CoSELAG.

Tali dati non rispecchiano quanto emerso a livello di analisi regionale nel Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali [2]. In quel caso le attività più impattanti in termini di produzione di rifiuti erano relative al settore delle costruzioni e al settore metallurgico.



Un aspetto non secondario del presente studio è l'organizzazione e la gestione informatica condivisa delle informazioni che riguardano la produzione di questi rifiuti. A tal fine si è provveduto ad inserire il database prodotto in un applicativo GIS, contenente l'ubicazione di ciascuna impresa facente parte del campione analizzato e di conseguenza la georeferenziazione dei rifiuti prodotti nell'area industriale del CoSELAG. Il GIS sviluppato si configura quindi come mezzo di pianificazione ed analisi di dati territoriali per simulare scenari e strategie di sviluppo sostenibile, rendendolo accessibile a tutti gli stakeholder, secondo diverse interfacce, tramite una infrastruttura web dedicata.



**Fig. 3** – Perimetrazione dell'area di pertinenza del CoSELAG in raffronto all'estensione del S.I.N di Trieste e ubicazione delle imprese produttrici di rifiuti desunti dai M.U.D.

### 3. Conclusioni

L'analisi dei risultati permette di individuare limiti e opportunità legati a una metodologia che fa affidamento ai dati MUD.

Il limite principale, intrinseco alla natura non obbligatoria del MUD, riguarda la mancanza di dati sui rifiuti speciali non pericolosi di cui alle lettere c), d), g) dell'art. 184 c. 3 D.Lgs. 152/2006 (prodotti da imprese con meno di 10 dipendenti) e di quelli di cui alle lettere a), b), e), f), h) dell'art. 184 c. 3 D.Lgs. 152/2006 per le imprese di qualsiasi dimensione aziendale, riducendone quindi il tasso di copertura sulle imprese presenti. Tale limite può essere risolto attraverso metodologie indirette di analisi di settore o tramite interviste dirette alle imprese.

La metodologia presentata, emersa attraverso l'analisi della zona industriale retroportuale di Trieste, è replicabile a livello nazionale in altre zone industriali e può rappresentare uno strumento utile per tre diverse tipologie di soggetti:

– Policy maker locali o regionali, con l'obiettivo di monitorare la produzione di rifiuti industriali ed elaborare piani di gestione;



– Consorzi industriali, con il possibile obiettivo, oltre a quelli del punto precedente, di valutare la pianificazione di progetti di simbiosi industriale, in un’ottica di sviluppo top-down; in tal caso, tuttavia, ai dati MUD dovrebbero essere accompagnate informazioni relative agli input di produzione dei soggetti interessati;

– Stakeholder privati, che potrebbero utilizzare database di questo tipo, congiuntamente alla georeferenziazione dei rifiuti prodotti, per valutare l’entità di determinati flussi e la localizzazione dei propri impianti produttivi, siano essi impianti di recupero/smaltimento o volti a sfruttare rapporti di sinergia con soggetti limitrofi.

Infine, si evidenzia che la metodologia presentata può essere ulteriormente sviluppata andando ad analizzare la destinazione dei flussi di rifiuti prodotti e determinandone la percentuale recuperata e/o smaltita all’interno e all’esterno della zona oggetto di studio.

## **Bibliografia**

[1] **Ispira**, Rapporto rifiuti speciali (2017)

[2] **Direzione centrale ambiente ed energia, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia**, Piano regionale di gestione dei rifiuti speciali (2016)

[3] **Balletto G., Borruso G., & Mei G.**, Location Theory and Circular Economy. Demolition, construction and spatial Organization of firms – An applied model to Sardinia Region (2019)

[4] **Carchesio M., Tatano F., Tosi G., Trivellone C, Businaro E. & Mangani F.**, Analysis of the industrial solid wastes from the boat building sector in Marche region (Italy): parametrical and chemical-physical characterisation. (2013)

[5] **Chertow M. R.**, “Uncovering” Industrial symbiosis (2007)

# Tariffa Puntuale: perché del ritardo nell'attuazione, a cosa serve e come fare

*Pierluigi Fedrizzi [pierluigi.fedrizzi@ies.it](mailto:pierluigi.fedrizzi@ies.it), Daniele Dati,  
I&S Informatica e Servizi Srl, Trento*

## **Riassunto**

*A 20 anni dal Decreto Ronchi (1997) sono appena 341 i Comuni che, adottando di propria iniziativa “regole semplici e di buon senso” oggi avvalorate dal DM TARIP del 20.04.2017, hanno applicato una Tariffa Corrispettiva.*

*La causa di questo ritardo è un combinato disposto di diverse situazioni che vanno approfondite. L'Italia è comunque molto più avanti degli altri stati europei con il Veneto in prima fila seguito dal resto del Nord. L'applicazione della tariffa comporta di passare da una impostazione burocratica ad una tipo Industria 4.0. Facendo pagare al cittadino secondo il principio sinallagmatico di proporzionalità d'uso, con la tariffa si perseguono indirettamente due scopi: far emergere tutto l'eluso e costringere chi eroga il servizio ad organizzarsi secondo principi di efficienza e di risparmio. Come fare: copiare umilmente da chi lo fa già e bene.*

## **Summary**

*What are the reasons why, after 20 years from Ronchi Decree (2017), there are only 341 Administrations who, adopting on its own venture “simple common sense rules” now confirmed by the DM TARIP of 20.04.2017, have applied a Pay As You Throw Tariff?*

*The reason of this delay is a combined set of different situations that must be analyzed. Italy is ahead of other European countries anyway with Veneto foremost followed by other northern regions. The application of the tariff implicates to pass from a bureaucratic to a modern industrial organization. By making the citizen pay the tariff according to the synallagmatic principle of proportionality of use two aims are indirectly pursued: emergence of evasion and forcing who provides the service to organize himself according to efficiency and saving. How to do it: by copying with humility from those who already do it correctly and well.*

## **1. Introduzione**

Ci si chiede spesso perché a 20 anni dal Decreto Ronchi (1997), sulla base del Rapporto ISPRA 2018 (dati 2017) [1], solo 341 Comuni su 8.000 abbiano applicato la Tariffa di propria iniziativa in “autoregolazione spontanea” adottando “regole semplici e di buon senso” oggi avvalorate dal DM TARIP del 20.04.2017 [2].

La causa di questo ritardo è un combinato disposto di queste situazioni che vengono riferite come un mantra nei diversi convegni che vengono organizzati dalla data del DM Tarip in poi. I motivi più gettonati sono i seguenti:

- obiettivi ed aspettative divergenti tra i diversi attori coinvolti: Enti Gestori, Aziende di Servizio, Amministrazioni quali rappresentanti dei Cittadini;
- non è mai esistito un vero obbligo di applicare la Tariffa e quindi niente penali;
- fino al DM 20.04.2017 è mancata una normativa chiara sul come applicare la Tariffa;

- solo alcune Regioni hanno direttive chiare sul Modello di Governance, DL 138/2011<sup>[3]</sup>;
- paura della Politica di rischiare un cambiamento che non garantisce risultati a breve.

Alcune considerazioni con risposte trasversali alle sintetiche cause sopra elencate sono:

- Fino ad oggi l'applicazione della Tariffa Puntuale TARIP, con risultati positivi in termini di percentuale di differenziata e contemporaneo abbattimento dei costi al cittadino, è stata realizzata quasi esclusivamente da Enti Gestori (Municipalizzate e Consorzi) che svolgono il Servizio completo "In House".

- I fatti dimostrano che nell'applicazione della Tariffa Corrispettiva, l'Italia, con il Veneto in prima fila seguito da tutto il Nord Est e parte del Nord Ovest, è più avanti degli altri stati europei e le 4 direttive Europee del 2018 con relativi target lo dimostrano.

- L'applicazione della Tariffa impone un cambio di paradigma che comporta un passaggio da un sistema di gestione di Tipo Burocratico a un sistema di gestione di Tipo Industria 4.0 che è più agevole implementare in un Modello di Governance che raccoglie e realizza compendiando gli interessi degli attori coinvolti.

## 2. Relazione

### 2.1 Criticità diffuse

Per applicare la TARIP non esiste una ricetta adatta a tutti i gusti e che vada bene in tutte le parti del paese se non lo schema imprescindibile di Fig. 1; troppo spesso si leggono Bandi Gara "ambigui", frutto di "taglia incolla" di idee e specifiche, prese da progetti e soluzioni di successo reali ma senza rispettare un filo logico che tenga conto dei fattori di contesto, quali:

- Modello di Governance che regoli i rapporti tra gli attori;
- Morfologia e distribuzione della popolazione;
- Disponibilità di infrastrutture per trattare le frazioni differenziate;
- Dimensioni di scala (numero degli abitanti coinvolti).

Complica le cose il fatto che in una gran parte del Sud Italia il Servizio viene affidato in appalto con Capitolati che non definiscono con chiarezza quali sono le attività a carico dell'Amministrazione Pubblica e quelle di competenza dell'Appaltatore Privato creando così una commistione tra controllore e controllato e senza chiarire criteri di certificazione delle misure e chi è proprietario dei dati.

Inoltre gli appalti di questo tipo sono stati finora gestiti a CORPO anche quando si parla di Tariffa Corrispettiva mentre invece, con l'introduzione delle "misure", imprescindibile peculiarità della TARIP, questi appalti di servizi dovrebbero essere gestiti necessariamente come appalti MISTI a corpo e a misura: raccolta (svuotamenti), spazzamento (km), servizi speciali (quantità).

### 2.2 Differenza tra TARI e TARIP

Nella TARI il rapporto tra cittadino e il servizio di raccolta si svolge nel più assoluto anonimato, nella totale deresponsabilizzazione e con un metodo di addebito (mq di superficie) assolutamente iniquo per le utenze domestiche.

Se il cittadino non si lamenta del servizio, a nessuno interessa se la raccolta è stata fatta un giorno o l'altro, ad un'ora od ad un'altra, tanto non esiste alcun legame tra chi produce (Utenza) e dove questa deposita il rifiuto. Nemmeno conoscere chi, cosa e quanto viene conferito nei rari centri di raccolta è di interesse né influenza minimamente le procedure di chi si oc-

cupa di addebitare al cittadino i costi del servizio. Esiste un totale scollamento operativo tra chi effettua il servizio e chi lo addebita; ciò comporta che il singolo cittadino è assolutamente deresponsabilizzato nel suo comportamento.

Nella TARIP cambia la modalità con cui il costo viene addebitato al cittadino e ciò influenza enormemente l'organizzazione del processo di raccolta e comporta quindi una responsabilizzazione di tutte parti coinvolte con conseguente necessità di certificazione del servizio.

Passare a TARIP significa applicare un principio di equità, facendo pagare al cittadino secondo il principio di proporzionalità d'uso (peso\volume) e non di proprietà (superficie) raggiungendo i due principi che si esplicano nelle due affermazioni:

- chi più inquina ... più paga;
- chi meno produce ... meno paga.

Nell'applicare la Tariffa corrispettiva si perseguono indirettamente due scopi, di cui si parla poco ma determinati: far emergere tutto l'eluso e costringere chi eroga il servizio ad organizzarsi secondo principi di efficienza e di risparmio.

Mentre la raccolta differenziata tradizionale e l'addebito del servizio al Cittadino erano due momenti e due processi totalmente separati, disgiunti e non tra loro influenzabili, la raccolta differenziata a tariffa comporta una gestione del processo completamente integrato con un costante scambio dei dati, alcuni dei quali in tempo reale, dove i singoli comportamenti e/o le singole attività influenzano il processo organizzativo ed i risultati economici; monitoraggi con cadenza più che settimanali e perdite di letture anche per un solo giorno non sono accettabili. Passare da una raccolta bollettata a TARI a una bollettata a TARIP comporta due diverse organizzazioni nel realizzare il servizio di raccolta che nel secondo caso deve identificare, certificare e gestire le misure del singolo svuotamento della singola utenza; tutti elementi imprescindibili per la tariffa corrispettiva. Per una gestione di questo tipo non è quindi sufficiente un adattamento del software TARI ma serve l'adozione di nuove tecnologie specifiche oltre ad uno specifico software per la TARIP che deve essere integrato con i software dei gestione del servizio raccolta; in sostanza si tratta di affrontare una gestione integrata analoga a quella per acqua e gas.

### *2.3 Come fare?*

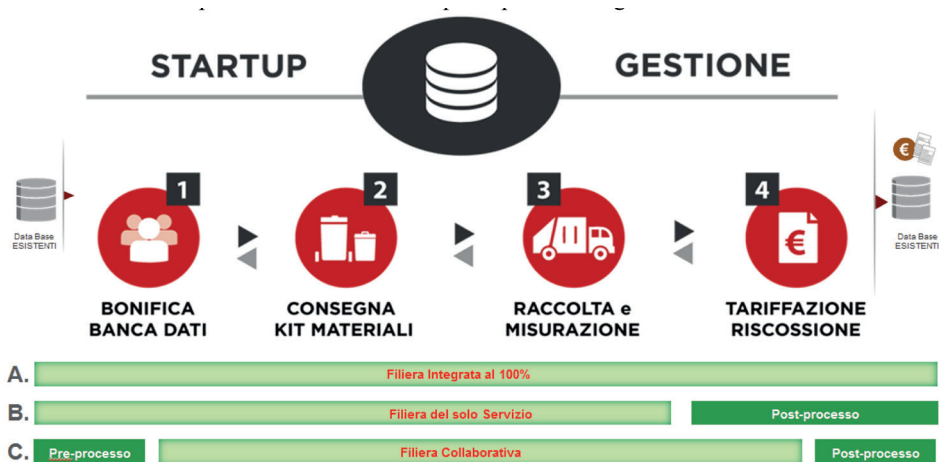
Nessuno ha la bacchetta magica e gli Enti Gestori che hanno raggiunto risultati significativi non sono arrivati ad essere citati come "eccellenze nazionali", e qualcuna anche "eccellenza europea", così da un giorno all'altro, ma hanno ipotizzato un progetto e lo hanno realizzato gradualmente, incorrendo sicuramente anche in qualche incidente di percorso.

Oggi per fortuna lo stato dell'arte è noto, le metodologie operative sono mature, le tecnologie sono sufficientemente consolidate, i fornitori di tecnologie e software conoscono il dominio, i fornitori di materiali sanno cosa vendono ed i consulenti hanno avuto occasione di diventare tali.

Una risposta semplice si esplica nello slogan: a copiare umilmente da chi fa già e bene si corre l'unico "rischio" di sbagliare poco.

#### *2.3.1 Le 4 fasi del processo di filiera TARIP*

Il processo organizzativo per arrivare ad applicare la TARIP passa "obbligatoriamente" attraverso le 4 (quattro) fasi operative riportate nello schema di **Fig. 1**; questo schema è stato ripreso in diverse occasioni ma è stato presentato dallo scrivente per la prima volta già ad ECOMONDO 2014.



**Fig. 1** – Schema in forma temporale delle 4 fasi del processo TARIP

Lo schema rappresenta, da sinistra a destra in senso non solo numerico ma anche temporale, le 4 fasi del processo TARIP:

- Fase 1: creazione e bonifica banca dati e progettazione degli aggiornamenti;
- Fase 2: consegna\distribuzione kit materiali: bidoncini e/o sacchetti, eco tessere, etc.;
- Fase 3: raccolta e misurazione che comprende la programmazione delle attività \ percorsi;
- Fase 4: applicazione tariffa sulla base delle misure e riscossione.

Il completo e rigoroso rispetto, in senso temporale, del processo di filiera, è la condizione “sine qua non” per la riuscita di un progetto TARIP; esattamente come un processo produttivo di filiera in una qualsiasi organizzazione di Tipo INDUSTRIA 4.0.

A loro volta le quattro fasi possono essere suddivise in due obiettivi:

- **STARTUP**, Obiettivo a breve termine stimato a grandi linee in 12 mesi;
- **GESTIONE**, Obiettivo a medio e lungo termine che dipende dalla durata dell'appalto.

Nella parte bassa di Fig. 1 viene evidenziato, con delle barre orizzontali [A], [B], [C], una sorta di ripartizione temporale e raggruppamento per competenze delle attività nelle 4 fasi di processo.

Le tre barre rappresentano i tre casi più tipici che si possono incontrare senza escludere la possibilità di altre configurazioni.

Sono evidenziati due momenti particolari, uno iniziale di pre-processo ed uno finale di post-processo, che possono comportare vincoli critici alla integrazione del processo TARIP; vincoli “superabili” e con cui si può “convivere” quando è “strettamente necessario”; i problemi posti da queste criticità non derivano mai da questioni «tecniche» ma eventualmente da investimenti pregressi o da problemi di rapporti tra “aree” di competenza e responsabilità.

### 2.3.2 Software e tecnologie

Le parole d'ordine che accompagnano le 4 fasi (startup + gestione) sono software, tecnologie ed integrazione dei processi accompagnati da competenze organizzative di processo e quindi competenze, non migliori ma semplicemente diverse ed aggiuntive, da quelle tradizionali e

consolidate del mondo della riscossione tributi; mondi, mansioni e competenze diverse che non vanno viste come una minaccia ma come un'opportunità di nuova professionalità. Anche la scelta degli strumenti da utilizzare deve essere ancora maggiormente legata a criteri di qualità più che di economicità. A quest'ultimo riguardo va tenuto conto che il costo di tutto il software e hardware per gestire il processo è estremamente ridotto rispetto al costo complessivo del servizio; su base quinquennale si parla di valori annui inferiori all'1% a calare. Risparmiare un 20-30% assumendosi dei rischi, su un valore inferiore all'1% non ha senso stante che sul perfetto funzionamento di queste tecnologie si fonda la certificazione delle misure per la tariffa e l'organizzazione del servizio che porta ad una tangibile riduzione dei costi di gestione stimati in percentuali a due cifre; percentuali dichiarate da operatori di settore e verificate dallo scrivente attraverso analisi di valori pubblicamente disponibili [4].

### 2.3.3 Alcuni spunti

L'attivazione della Fase 4 (Tariffazione) deve essere preceduta da un necessario e fondamentale periodo di test della Fase 3 (Misure) che sarà tanto più lungo quanto meno accurate ed adeguate saranno state le Fasi 1 e 2 di Startup, propedeutiche ed obbligatorie.

La Fase 4 è quindi solo il punto di arrivo e forse la più semplice delle 4 fasi di filiera, sempreché le altre 3 fasi siano state eseguite correttamente. È inoltre da ricordare che, in parallelo allo startup della TARIP, è indispensabile portare avanti la TARI onde garantire continuità ai flussi finanziari.

L'unico legame tra Tributo TARI e Tariffa TARIP resta il contributo periodico e costante proveniente dall'Anagrafe Civile alla "nuova banca dati integrata" mentre l'aggiornamento degli altri dati può avvenire anche attraverso gli Sportelli Territoriali o il Portale Utente.

Le tecnologie abilitanti del processo TARIP non possono prescindere da un fornitore che dia garanzie di continuità nella fornitura e una responsabilità congiunta tra il fornitore dell'hardware e del software; nel contempo deve essere certificata in modo terzo la originalità del dato letto che non deve poter essere modificato o manipolato senza il consenso \ responsabilità della committenza.

## 3. Conclusioni

L'errore più frequente che viene fatto, quando si appropria la TARIP, è il focalizzarsi solo sulle Fasi 3 e 4, pensando ingenuamente che  $TARIP = TARI + P$  e sposando la diffusa eresia che  $P = \text{Premialità}$  e non  $P = \text{Puntuale}$ . Non è quindi sufficiente adattare il software TARI esistente e inserire nel bando di gara la parola premialità illudendo così tutti di poter ottemperare alle finalità della TARIP semplicemente introducendo criteri di premialità tramite improbabili tessere a punti; modalità che se anche inizialmente molto accattivanti rischiano di illudere i cittadini in merito a risparmi in tariffa che non potranno mai essere realizzati percorrendo semplicisticamente solo questa strada.

Tra 5 o 10 anni quanto evidenziato nello schema di Fig. 1 e sinteticamente esposto in questo documento sarà dato per scontato; oggi però non è assolutamente così, tant'è che non è ancora chiaro a molti operatori di settore che la scelta dei contenitori giusti (bidoncini e/o sacchetti), delle tecnologie che servono per monitorarli (Tag e Lettori) e la banca dati Utenza - Contenitore sono gli elementi strategici del processo TARIP. Senza dati certi sugli svuotamenti (peso indiretto) e una banca dati costantemente aggiornata non si può applicare una Tariffa Corrispettiva.

Codificato il "come e cosa misurare" restano i dubbi sul come utilizzare queste misure e

trasformarle tramite algoritmi più o meno complessi in Tariffe Corrispettive credibili e rispettose dei principi di “sinallagmatismo”. È scontato che il risultato della Tariffa Corrispettiva diventa, per chi svolge il servizio, l’input attivo del programma di contabilità generale e che il monitoraggio della raccolta diventa l’input passivo per la contabilità industriale (km percorsi, ore lavorate, mezzi e personale impiegato) necessari per realizzare i servizi con i relativi costi “splittati” delle voci del PEF (Piano Economico Finanziario) a cui è vincolata la tariffa. Su queste ultime considerazioni si confida in regole semplici e applicabili che dal 2018 sono diventate di competenza dall’Authority ARERA che entro il 2019 darà scadenze ed indicazioni precise <sup>[5]</sup>.

## **Bibliografia**

[1] <http://www.isprambiente.gov.it/publicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2018>

[2] Criteri per la realizzazione da parte dei comuni di sistemi di misurazione puntuale della quantità di rifiuti conferiti al servizio pubblico o di sistemi di gestione caratterizzati dall’utilizzo di correttivi ai criteri di ripartizione del costo del servizio, finalizzati ad attuare un effettivo modello di tariffa commisurata al servizio reso a copertura integrale dei costi relativi al servizio di gestione dei rifiuti urbani e dei rifiuti assimilati. (17A03338) (GU Serie Generale n.117 del 22-05-2017)

[3] Testo del decreto-legge 13 agosto 2011, n. 138 (in Gazzetta Ufficiale - serie generale - n. 188 del 13 agosto 2011), coordinato con la legge di conversione 14 settembre 2011, n. 148 (in questa stessa Gazzetta Ufficiale alla pag. 1), recante: «Ulteriori misure urgenti per la stabilizzazione finanziaria e per lo sviluppo». (11A12346) (GU Serie Generale n.216 del 16-09-2011)

[4] Pierluigi Fedrizzi - “La TARIP conviene” (di prossima pubblicazione)

[5] ARERA - Consultazione 30 luglio 2019 351/2019/R/rif “Orientamenti per la copertura dei costi efficienti di esercizio e di investimento del servizio integrato dei rifiuti per il periodo 2018-2021”.

ARERA - Consultazione 30 luglio 2019 352/2019/R/rif “Disposizioni in materia di trasparenza nel servizio di gestione dei rifiuti urbani e assimilati. Inquadramento generale e primi orientamenti”



# Un approccio sperimentale per la classificazione dei rifiuti pericolosi EER 150110\*

[Lorena Franz](mailto:lorena.franz@arpa.veneto.it) [lorena.franz@arpa.veneto.it](mailto:lorena.franz@arpa.veneto.it), Francesco Loro, Stefania Tesser, Renzo Mufato  
ARPAV – Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

## Riassunto

*I rifiuti urbani identificati dal EER 150110\* “imballaggi contenenti residui o contaminati da sostanze pericolose” rappresentano la principale frazione dei rifiuti urbani pericolosi raccolti dalle aziende che gestiscono la raccolta dei rifiuti urbani. In considerazione di come questi rifiuti sono prodotti - i cittadini che portano i loro rifiuti nei punti di raccolta comunali - l'assegnazione delle caratteristiche di pericolo, in base al Reg. n. 1357/2014 / UE, rappresenta un compito complesso, soprattutto in vista delle possibili conseguenze gestionali. Come ARPA abbiamo sviluppato una procedura dedicata basata sulla combinazione dei risultati delle analisi merceologiche con l'analisi chimica di campioni, raccolti dopo un'analisi statistica su base regionale della composizione dei rifiuti pericolosi urbani. In tale modo si è potuto definire un set standard di caratteristiche di pericolo che possono essere assegnate dal produttore quando sono rispettate specifiche in condizioni tecniche.*

## Summary

*The urban waste identified by EWC 150110\* “packaging containing residues of or contaminated by hazardous substances” represents the main fraction of urban hazardous waste collected by the company in charge of urban waste collection. In consideration of how these waste are produced - the citizens that bring their waste - to the municipal collection points, the assignment of hazardous properties, based on Reg. n.1357/2014/EU, represents a complex task, especially in view of the possible consequences at management level. As ARPA we developed a dedicated procedure based on the combination of the results of product analysis with chemical analysis of samples collected after a statistical analysis of urban hazardous waste composition at regional level. This approach allows the definition of a standard set of hazardous properties that can be assigned by the waste producer under specific technical conditions.*

## 1. Introduzione

I centri di raccolta comunali rappresentano un anello strategico in un sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani. In particolare nel contesto veneto, dove la diffusione dei sistemi di raccolta domiciliari è totale, risulta fondamentale la presenza di queste aree attrezzate finalizzate all'intercettazione di tutte le frazioni non direttamente conferibili dai cittadini nei bidoni o sacchi forniti in dotazione alla singola utenza. La gestione di questi centri, normata a livello nazionale dal DM 8 Aprile 2008 e ss.mm.ii, prevede il rispetto di prescrizioni tecnico-gestionali relative a struttura del centro, tipologie di rifiuti conferibili, modalità di conferimento e gestione. I rifiuti conferibili corrispondono a diversi codici EER e includono anche tipologie di rifiuti pericolosi, sui quali non è data alcuna indicazione in merito



alle caratteristiche di pericolosità da attribuire e manca qualsiasi indicazione relativa alla classificazione.

Ad oggi in ambito regionale i diversi gestori affrontano tale problematica in maniera differente. Manca un approccio omogeneo e una linea generale a cui i produttori (gestori del centro di raccolta) e i soggetti preposti al controllo possano fare riferimento.

Il presente documento riporta le modalità operative messe in atto al fine di indicare una metodica uniforme di campionamento ed analisi ai rifiuti identificati con codice EER 150110\* intercettati presso i centri di raccolta comunali e della successiva attribuzione delle caratteristiche di pericolo agli stessi.

## **2. Relazione**

Il rifiuto costituito da imballaggi vuoti (EER 150110\*) pone da sempre numerose difficoltà di classificazione, a prescindere dall'origine degli stessi. Oltre a ciò il rifiuto conferito al centro di raccolta comunale non deriva da un processo produttivo e non rappresenta un rifiuto abitualmente prodotto da un'azienda, ma comprende un'infinità di possibili prodotti acquistati da un qualsiasi cittadino ed utilizzati per gli scopi più disparati, i cui imballaggi vuoti vengono poi portati al centro di raccolta per l'avvio a recupero/smaltimento. Anche in termini di immissione del prodotto sul mercato e norme sull'etichettatura, ai centri di raccolta possono essere conferiti imballaggi anche molto datati (provenienti spesso da svuotamenti di vecchie cantine) di cui risulta impossibile risalire al contenuto. Le difficoltà di attribuzione delle caratteristiche di pericolo risultano quindi esponenzialmente complicate, così come altamente non rappresentativi della produzione complessiva saranno l'analisi e il campionamento di un singolo big bag, rappresentativi solo del campione prelevato e non di tutto il flusso di questo tipo di rifiuti.

Le criticità elencate rendono difficile da un lato la valutazione di una corretta attribuzione da parte dei gestori del centro e dall'altro l'eventuale verifica da parte dei soggetti preposti al controllo. Si è ritenuto quindi fondamentale valutare la possibilità di individuare una linea di indirizzo standardizzata a livello regionale.

### *2.1 Peculiarità dei centri di raccolta dei rifiuti urbani*

Nel caso di campionamento ed analisi di rifiuti intercettati presso i centri di raccolta comunali (ex DM 8 Aprile 2008 e ss.mm.ii) la caratterizzazione dei rifiuti deve tenere conto dei seguenti aspetti:

- bassa rappresentatività del campionamento di un singolo big bag;
- estrema variabilità delle sostanze contenute negli imballaggi vuoti (età della sostanza, tipologia di contenitore, possibilità di individuare le caratteristiche di pericolosità delle sostanze);
- scarsa utilità di effettuare analisi chimiche “spot” sui contenitori vuoti o su campioni prelevati da un unico centro di raccolta.

Per superare tali criticità risulta utile effettuare una campagna di analisi merceologiche al fine di definire le caratteristiche composizionali di tale rifiuto e ricostruire un campione effettivamente rappresentativo della composizione media rilevata sul territorio, da sottoporre ad analisi chimica. La combinazione delle due tipologie di informazioni (merceologica e chimica) rappresenta uno strumento fondamentale per la verifica delle caratteristiche di pericolo attribuite, in quanto definisce, attraverso una analisi di tipo quantitativo e qualitativo, l'effettiva composizione media del rifiuto che incorpora le diverse componenti della variabilità finora rilevate.

### *2.2. Indagine merceologica per la costituzione del campione*

Per poter sviluppare una campagna di analisi in grado di essere rappresentativa della intera regione Veneto si sono primariamente identificate le possibili fonti di variabilità nella com-

posizione merceologica stessa, prendendo come assunto che le provenienze del rifiuto siano esclusivamente da utenze domestiche e che le tipologie e le quantità di rifiuti prodotte dalle famiglie residenti in Veneto siano sostanzialmente le stesse. Nel caso specifico di un campione del rifiuto EER 150110\* presso un centro di raccolta, sono state identificate quattro possibili componenti della variabilità che possono influire sulla popolazione oggetto di indagine: la componente legata alle modalità gestionali adottate del centro di raccolta, quella legata all'ambito territoriale (rurale e urbanizzato), quella legata alla stagionalità (primavera-estate/autunno inverno) e quella geografica (aree montuose, collinari, pianura). Su tali basi sono stati scelti 10 centri di raccolta campione individuati in 5 delle 7 province venete, rappresentativi delle diverse territorialità. Le campagne di analisi hanno coperto la durata di un anno per individuare eventuali componenti legate alla stagione e si sono basate su una metodologia di esecuzione standard predisposta ad hoc e specifica formazione tecnica impartita agli esecutori.

### 2.3 Risultati dell'analisi merceologica dei campioni

L'esecuzione dell'analisi merceologica sui big bags relativi al EER 150110\* nei centri campione ha permesso di costituire una base dati composta da 1.042 imballaggi campionati ed analizzati. Tali imballaggi fanno riferimento ad un range di tipologie di prodotti estremamente variabile. Sono state infatti rilevate circa 95 categorie diverse di sostanze, di cui le principali sono vernici/smalti riportate in Figura 1.

#### 2.3.1 Composizione merceologica

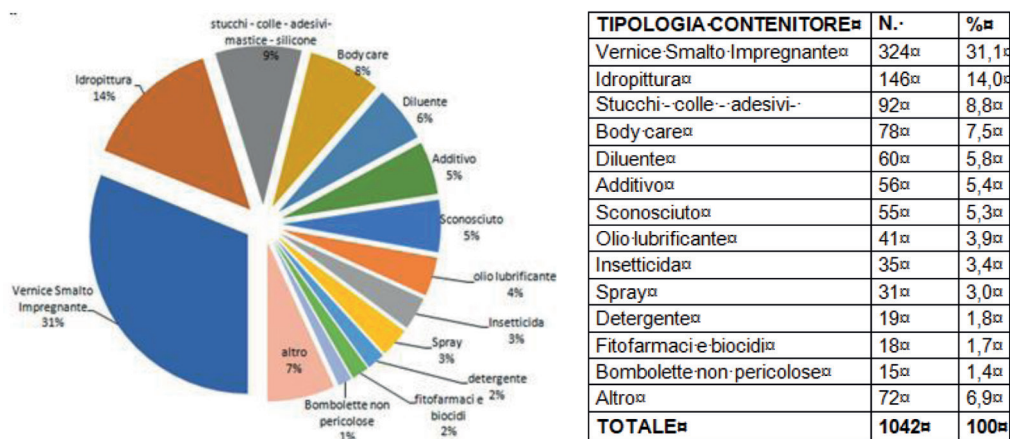


Fig. 1 – Composizione percentuale della merceologia dei barattoli campionati

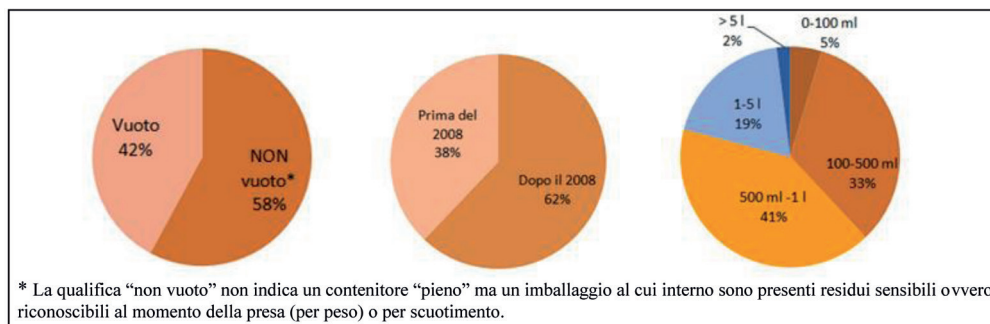
#### 2.3.2 Presenza di residuo, età e volume dei contenitori

Più della metà dei contenitori campionati presentava al proprio interno un residuo (58%), ossia non era completamente vuota. La categoria merceologica a cui fanno riferimento la maggior parte degli imballaggi contenenti residui di sostanze è quella relativa a vernici, pitture e smalti, per la quale infatti la percentuale di imballaggi non vuoti è del 67% rispetto al campione totale (58%) e rispetto al sottocampione dei contenitori di sostanze diverse da tale tipologia merceologica.

Analizzando l'età dei contenitori (Figura 2) si nota come circa il 40% di quelli analizzati risalgono a produzioni antecedenti all'anno 2008, periodo in cui i pittogrammi utilizzati facevano

referimento alle direttive antecedenti i regolamenti REACH e CLP. Elevato è inoltre il numero di pezzi totalmente sprovvisti di alcuna dicitura indicante eventuali pericoli legati alle sostanze contenute, risalenti addirittura agli anni '70 - '80.

In termini di volume la maggior parte degli imballaggi, ossia il 79%, conteneva meno di 1 litro di sostanza, mentre i contenitori di dimensioni maggiori corrispondono, dal punto di vista merceologico alle idropitture, sostanze non pericolose.

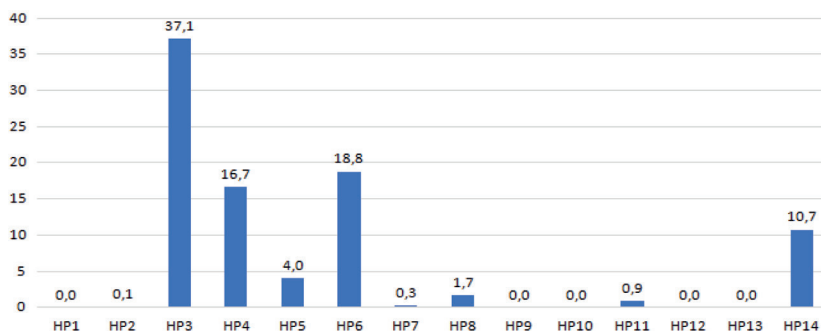


**Fig. 2** – Percentuali di imballaggi analizzati relative a presenza di residuo, età e volume del contenitore

### 2.3.4 Caratteristiche di pericolo rilevate tramite etichette e frasi di rischio

Dai 1.042 barattoli sono state rilevate complessivamente le seguenti informazioni inerenti le caratteristiche di pericolosità:

- 14% degli imballaggi (143) per i quali non è stato possibile definire alcuna HP perché trattasi di contenitori vecchi (antecedenti agli obblighi di etichettatura), illeggibili o barattoli "domestici" (vasi e/o bottiglie utilizzate in casa per altre sostanze).
- 86% di contenitori con pittogrammi/frasi di rischio riconoscibili da cui sono state rilevate complessivamente 1.438 informazioni. Di questo 86%, 33 punti percentuali (345 contenitori) relativi ad imballaggi contenenti sostanze non pericolose senza alcuna etichettatura (per es. idropittura) e 53 punti percentuali (555 contenitori) di imballaggi con almeno 1 indicazione di pericolo (pittogrammi o frasi di rischio) per un totale complessivo di 950 etichette identificate.



**Fig. 3** – Frequenza percentuale di comparsa dei pittogrammi nei barattoli campionati

L'analisi della frequenza dei pittogrammi nei barattoli esaminati individua la presenza di nove differenti HP (Fig. 3). Tale indicazione si riferisce esclusivamente alle sostanze originariamente contenute negli imballaggi e non all'effettiva pericolosità del rifiuto conferito.

I pittogrammi che compaiono con frequenza maggiore del 10% risultano essere:

- HP 3 - infiammabile
- HP 4 - irritante
- HP 6 - tossico
- HP 14 – pericoloso per l'ambiente

#### *2.4 Realizzazione del campione rappresentativo da sottoporre a verifica analitica*

A partire dalle informazioni raccolte circa la merceologia e le HP rinvenute dalla lettura delle etichette è stato possibile ricostruire la composizione merceologica media a livello regionale e quindi prelevare un campione effettivamente rappresentativo da sottoporre a caratterizzazione chimica. Il campione “sintetico” è stato costituito prelevando da 3 centri di raccolta 50 imballaggi che, nel loro insieme, per composizione merceologica, tipologia del contenitore e dimensioni ricalcano la composizione media rilevata nei big bags sottoposti ad analisi merceologica. I 3 campioni sintetici sono stati successivamente triturati singolarmente e il materiale triturato suddiviso in 4 aliquote ciascuno. Da uno dei 3 campioni è stata scelta un' aliquota da sottoporre ad analisi (Campione A). Un secondo campione è stato formato unendo tre aliquote, una per ciascuno dei campioni sintetici raccolti (Campione B).

#### *2.5 Risultati caratterizzazione analitica campioni di laboratorio*

Gli esiti delle analisi chimiche sui campioni mostrano come il contenuto di sostanze pericolose sia limitato alla sola presenza di idrocarburi, che porta alla attribuzione della caratteristica di pericolo HP3 “infiammabile”. In assenza dei risultati delle prove di ecotossicità, dato il contenuto elevato di idrocarburi si è attribuita anche la caratteristica di pericolo HP14 “eco tossico”. Per le altre sostanze analizzate (metalli pesanti, IPA, PCB, composti alogenati, diossine) non sono state rilevate presenze significative o tali da portare all'attribuzione di altre caratteristiche di pericolo.

#### *2.6 Integrazione risultati analisi merceologica e chimica*

In un'ottica di prevenzione è stata considerata un'analisi dei potenziali impatti che tenesse in considerazione non solo l'esito delle prove analitiche ma anche la frequenza delle etichette negli imballaggi campionati, creando una matrice di correlazione dei due aspetti evidenziati, nella quale sono assegnati i punteggi sulla base di due criteri:

- criterio della probabilità che riguarda la probabilità dell'impatto, cioè la frequenza con cui una determinata indicazione di pericolo viene rilevata (Indice di frequenza da 1 a 6 )
- criterio della intensità che determina l'impatto sull'ambiente di una determinata sostanza di cui siano presenti dei residui nei contenitori raccolti e venga quindi rilevata dalla caratterizzazione chimica (Indice Sostanza chimica da 1 a 6).

		PRESENZA SOSTANZA NEI RISULTATI DELL'ANALISI CHIMICA						
		molto elevata	elevata	media	medio-bassa	bassa	molto bassa	assenza
PRESENZA ETICHETTA NELL'ANALISI MERCEOLOGICA	molto elevata	12	11	10	9	8	7	6
	elevata	11	10	9	8	7	6	5
	media	10	9	8	7	6	5	4
	medio-bassa	9	8	7	6	5	4	3
	bassa	8	7	6	5	4	3	2
	molto bassa	7	6	5	4	3	2	1
	assenza	6	5	4	3	2	1	0

**Tab. 1** – Matrice per la determinazione dello score in funzione della frequenza di comparsa e della concentrazione della sostanza

Ad entrambi questi fattori viene attribuita uguale importanza nel processo finale di attribuzione delle HP. In entrambi i casi la scala degli indici adottata è tesa ad enfatizzare, associando indici elevati, anche le sostanze presenti in concentrazioni modeste o le etichette presenti con frequenze basse.

Alle caratteristiche di pericolo è stato quindi associato un score che rappresenta una stima della quantità complessiva della sostanza pericolosa calcolata come prodotto tra lo stimatore del volume di sostanza contenuta nel rifiuto e lo stimatore della concentrazione delle sostanze associabili alla specifica caratteristica di pericolo, calcolato come:

$$\text{Score} = \text{Indice di Frequenza} * \text{Indice Sostanza Chimica}$$

Per ogni possibile caratteristica di pericolo è stato quindi calcolato un punteggio dato dal prodotto dei due fattori (Tabella 2).

HP	FREQUENZA ETICHETTA	PRESENZA SOSTANZE CHIMICHE	VALORE TOTALE
HP3	6	6	36
HP6	5	6	30
HP14	4	6	24
HP4	5	4	20
HP5	3	5	15
HP7	1	1	1
HP1	0	0	0
HP2	1	0	0
HP8	2	0	0
HP9	0	0	0
HP10	0	0	0
HP11	2	0	0
HP12	0	0	0
HP13	0	0	0

**Tab. 2** – Matrice per la determinazione dello score in funzione della frequenza di comparsa e della concentrazione della sostanza

La lettura della combinazione risultante (valore totale) mostra come le HP a cui risulta associato lo score maggiore siano HP3 “Infiammabile” ed HP14 “Ecotossico”, le stesse che sono state determinate attraverso l’analisi chimica del campione sintetico.

### 3. Conclusioni

La procedura proposta e resa operativa da ARPAV, data dalla combinazione di due tipologie di analisi, merceologica e chimica, rappresenta una risposta unica e standardizzata alla criticità di attribuzione delle caratteristiche di pericolo al rifiuto EER 150110\* intercettato presso i centri di raccolta per il territorio regionale. Le caratteristiche di pericolo indicate da attribuire a tale rifiuto sono: HP 3 (infiammabile) e HP 14 (pericoloso per l’ambiente), caratteristiche confermate sia dalla determinazione analitica sul campione sintetico, sia dai più elevati valori di score. A fini cautelativi, trattandosi della prima campagna di analisi dei dati, si ritiene utile includere anche le 2 caratteristiche di pericolo che presentano uno score superiore a 15, nonostante possiedano frequenza ed incidenza “medio-bassa” e cioè HP 4 (irritante) e HP 6 (tossico).

L’implementazione di nuovi dati, potrà confermare questi risultati o riconsiderare tali attribuzioni riducendo il numero di HP attribuibili

L’attribuzione sulla base dello studio può ritenersi sostitutiva della verifica merceologica o analitica puntuale su singoli big bag di un qualsiasi centro di raccolta presente nel territorio regionale. Tale indicazione andrà confermata nel tempo, attraverso campagne di analisi periodiche.

La metodologia sviluppata si ritiene possa essere idonea anche alla caratterizzazione di altre tipologie di rifiuti il cui campionamento presenti le medesime criticità legate alla estrema variabilità compositiva.

### Bibliografia

1. Comunicazione della Commissione – Orientamenti tecnici sulla classificazione dei rifiuti, Gazzetta Ufficiale dell’Unione europea, 9 Aprile 2018, 2018/C 124/01
2. Guidance on the Application of the CLP Criteria - Guidance to Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging (CLP) of substances and mixtures (Version 5.0, July 2017), ECHA
3. Waste Classification - Guidance on the classification and assessment of waste- 1st edition 1st Edition v1.1, May 2018. Technical Guidance WM3, EA UK, SEPA, NIEA, CNRR
4. Decreto legislativo n. 152/2006 e successive modificazioni, con particolare riferimento al DL 91/2017 così come convertito in legge, con modificazioni, dalla legge 3 agosto 2017, n. 123
5. Regolamento 2008/1272/CE e successive modificazioni
6. Sentenze ECJ cause riunite da C-487/17 a C-489/17 del 28 Marzo 2019
7. UNI EN 14899:2006 – Caratterizzazione dei rifiuti - Campionamento dei rifiuti - Schema quadro di riferimento per la preparazione e l’applicazione di un piano di campionamento
8. UNI 10802:2013 – Rifiuti - Campionamento manuale, preparazione del campione ed analisi degli eluati
9. UNI EN TR 15310-1/5 - Caratterizzazione dei rifiuti - Campionamento dei rifiuti

# La regolazione delle tariffe nel settore rifiuti da parte di ARERA: cosa attende gli operatori?

*Giorgio Ghiringhelli ghiringhelli@arsambiente.it ARS ambiente Srl Gallarate (VA) e Università di Castellanza - LIUC, Giuseppe Sbarbaro, Paolo Pagani, Marco Signorini e Marco Lovadina, UTILITEAM Srl Milano.*

## **Riassunto**

*La Legge 27 dicembre 2017, n. 205 (cd Legge di Bilancio 2018) ha attribuito all'Autorità di regolazione per energia, reti e ambiente (ARERA) specifiche competenze anche in materia di rifiuti urbani a partire dal 2018. Il nuovo soggetto è chiamato ad intervenire in un settore in cui fino ad oggi le competenze sono state ripartite tra Ministero, Regioni, Province, Comuni ed Enti di Governo d'ambito. In particolare l'azione di ARERA sarà volta a sanare i problemi della gestione integrata dei rifiuti urbani che è possibile esemplificare per le due macro-tipologie di attività: raccolta e trasporto dei rifiuti urbani e impianti di trattamento. Con il DCO (Documento per la Consultazione) 713/2018/R/RIF (Criteri per la determinazione dei corrispettivi del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani e assimilati e dei singoli servizi che costituiscono attività di gestione - Orientamenti preliminari) l'ARERA ha dettagliato sia gli obiettivi strategici della sua azione (addirittura per i due semi-periodi di regolazione) sia le tipologie di azioni che saranno sviluppate.*

## **Summary**

*The Law of 27 December 2017, n. 205 (the so-called 2018 Budget Law) assigned specific regulatory powers to the Regulatory Authority for Energy, Networks and the Environment (ARERA) also in the field of urban waste starting from 2018. The new entity is called to intervene in a sector where up until to date the competences have been divided between the Ministry, Regions, Provinces, Municipalities and Governmental Bodies of the area. In particular, the action of ARERA will be aimed at rectifying the problems of integrated management of urban waste that can be exemplified for the two macro-typologies of activity: collection and transport of urban waste and treatment plants. With the DCO (Document for Consultation) 713/2018 / R / RIF (Criteria for the determination of the fees for the integrated management of urban and similar waste and of the single services that constitute management activities - Preliminary guidelines) ARERA has detailed both the strategic objectives of its action (even for the two semi-regulatory periods) and the types of actions that will be developed.*

## **1. Introduzione**

L'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) è un'autorità indipendente che svolge tale funzione nei settori del gas e dell'energia elettrica fin dal 1995, anno della sua istituzione; per effetto di successivi provvedimenti di legge nel 2011 la sua azione è stata estesa al settore dei servizi idrici, nel 2014 al settore del teleriscaldamento e teleraffrescamento e dal 2018 al settore del ciclo dei rifiuti anche differenziati, urbani e assimilati.



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



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

- Legislativo, poiché ARERA ha il potere di determinare regolamenti;
- Esecutivo, poiché ARERA ha il potere di applicare i regolamenti;
- Giudiziario, poiché ARERA ha il potere di giudicare e sanzionare chi non rispetta i regolamenti.

Tali poteri sono controbilanciati dalla magistratura amministrativa.

La Legge 27 dicembre 2017, n. 205 (cd Legge di Bilancio 2018) ha attribuito all'Autorità – contestualmente ridenominata in Autorità di regolazione per energia, reti e ambiente (ARERA) – specifiche competenze anche in materia di rifiuti urbani a partire dal 2018.

La regolazione dei servizi pubblici si fonda su tre “pilastri”, ovvero tre elementi fondamentali sui quali poggia l'intero sistema di regolazione e che pertanto devono essere stabiliti con priorità: qualità, tariffe e *unbundling*.



## 2. La regolazione della tariffa rifiuti

### 2.1. La tariffa puntuale nei programmi di ARERA

A norme vigenti sono possibili attualmente 3 tipologie di TARI (TARI ex metodo normalizzato, con applicazione dei coefficienti k), TARI metodo alternativo (con componente a misura), TARI corrispettivo puntuale (tariffa avente natura corrispettiva).

L'ARERA nel recente DCO 139/2019/A (Quadro strategico 2019-2021 dell'autorità di regolazione per energia reti e ambiente) precisa che intende portare a compimento, anche per i settori ambientali, la disciplina degli aspetti direttamente percepiti dall'utenza in modo omogeneo sul territorio nazionale, in un quadro di continua attenzione alla sostenibilità delle ta-

riffe applicate alle utenze, in particolare assicurando l'erogazione delle necessarie agevolazioni a quei consumatori domestici che versino in stato di disagio economico e sociale. Inoltre, i segnali in ordine alla promozione di comportamenti di consumo e di gestione efficiente saranno declinati, con riferimento al settore dei rifiuti, attraverso la definizione del pertinente modello di regolazione tariffaria.

L'ARERA afferma infatti che *“con riferimento alla gestione del ciclo dei rifiuti, è necessario superare il sistema di copertura dei costi nella forma di tributo, a favore di un meccanismo tariffario che sia in grado di passare al consumatore segnali di prezzo corretti e coerenti con indicatori di qualità del complessivo ciclo dei rifiuti.*

## 2.2. Regolazione della tariffa

Con il DCO 351/2019/R/rif *“Orientamenti per la copertura dei costi efficienti di esercizio e di investimento del servizio integrato dei rifiuti per il periodo 2018-2021”* l'ARERA vuole compiere *“un passo verso la definizione di una disciplina sulle entrate tariffarie del settore che incorpori alcuni primi elementi chiave di trasparenza, di efficienza e di selettività (orientando le risorse strettamente necessarie al conseguimento di uno specifico obiettivo prescelto). Allo stesso tempo, l'Autorità intende introdurre misure che rafforzino la coerenza e la corretta allocazione degli incentivi nelle diverse fasi della filiera”.*

Ciò nasce dal fatto che *“Numerosi stakeholder segnalano le criticità della disciplina tariffaria attuale, che, nel corso degli anni, ha indotto all'elaborazione di soluzioni implementative su base regionale, se non locale, che ne hanno attenuato di molto l'originaria spinta riformatrice”.*

L'Autorità, pertanto, prospetta una classificazione di attività – e di oneri a queste riconducibili – che sia fondata su criteri di uniformità e di coerenza, permettendo quindi di impostare una regolazione volta ad omogeneizzare le condizioni di erogazione del servizio a livello nazionale. In relazione alle attività riferibili alla gestione integrata dei RU, l'Autorità è orientata a considerare le attività dettagliate nel presente documento e suddivise nelle seguenti macro-voci:

- spazzamento e lavaggio strade;
- raccolta e trasporto;
- gestione tariffe e rapporto con gli utenti;
- trattamento, recupero e smaltimento.

Ai fini della valutazione dei costi riconosciuti l'Autorità ritiene opportuno fare riferimento a costi sostenuti affidabili e certi, come risultanti da fonte contabile obbligatoria. Rispetto alla metodologia attuale, rappresenta una innovazione rilevante, dal momento che il metodo tariffario di cui al DPR n. 158/99 prevede il riconoscimento dei costi sulla base della loro inclusione nel piano economico finanziario (e pertanto con riferimento a costi pianificati e/o di preconsuntivo). La metodologia posta in consultazione dall'Autorità si riferisce alla determinazione dei costi efficienti ammissibili a recupero nelle componenti di costo tariffario.

In ciascun anno  $a = \{2020, 2021\}$ , seguendo la formulazione del citato DPR n. 158/99, il totale delle entrate tariffarie di riferimento per la gestione del ciclo dei rifiuti ( $\Sigma Ta$ ) è dato dalla somma delle entrate relative alle componenti di costo variabile ( $\Sigma TVa$ ) e di quelle relative alle componenti di costo fisso ( $\Sigma TFa$ ):

$$\Sigma Ta = \Sigma TVa + \Sigma TFa$$

Il totale delle entrate relative alle componenti di costo variabile è definito sulla base della seguente condizione:

$$\Sigma TVa = CRTa + CTSa + CTRa + CRDa - b(ARa) - ARCONAI,a + RCTV,a$$

dove:

- $CRTa$  è il costo di raccolta e trasporto dei rifiuti indifferenziati;
- $CTSa$  è il costo di trattamento e smaltimento;
- $CTRa$  è il costo di trattamento e recupero;
- $CRDa$  è il costo di raccolta dei rifiuti differenziati;
- $ARa$  è la somma dei proventi della vendita di materiale ed energia derivante da rifiuti; in tale voce sono ricomprese anche le componenti di ricavo diverse da quelle relative al servizio del ciclo integrato effettuato nell'ambito di affidamento, e riconducibili ad altri servizi effettuati avvalendosi di asset e risorse del servizio del ciclo integrato;
- $b$  è il fattore di sharing che l'Autorità è orientata a prevedere per ripartire i benefici in termini di efficienza tra gli operatori e gli utenti, che può assumere un valore nell'intervallo  $[0,3, 0,6]$ ;
- $ARCONAI,a$  è la somma dei ricavi derivanti dai corrispettivi riconosciuti dal CONAI a copertura dei maggiori oneri per la raccolta dei rifiuti di imballaggio;
- $RCTV,a$  è la componente a conguaglio relativa ai costi variabili

Il totale delle entrate relative alle componenti di costo fisso è definito sulla base della seguente condizione:

$$\Sigma TFa = CSLa + CCa + CKa + RCTF,a$$

dove:

- $CSLa$  è il costo relativo alle attività di spazzamento e di lavaggio;
- $CCa$  sono i costi comuni di cui al paragrafo 4.19;
- $CKa$  sono i costi di capitale;
- $RCTF,a$  è la componente a conguaglio relativa ai costi fissi

A parità di costi totali ammessi a recupero nelle entrate tariffarie, le formulazioni riportate nei punti precedenti introducono criteri di riallocazione dei costi che si discostano, in parte, da quelli precedentemente adottati: in alcuni casi, i più (meno) frequenti, potrebbero dar luogo ad un incremento (una riduzione) del totale dei costi variabili.

Per questo, in ciascun anno  $a = \{2020,2021\}$ , si valuta l'introduzione della seguente condizione:

$$0,8 \leq \frac{\Sigma TV}{\Sigma TV_{a-1}} \leq 1,2$$

a cui, a garanzia del recupero degli oneri ammissibili, si ritiene di prevedere che, l'eventuale quota eccedente sia ricompresa in  $\Sigma TFa$ . Con riferimento all'anno 2020, il denominatore corrisponde alle entrate tariffarie già approvate per il 2019.

L'Autorità è orientata a prevedere l'applicazione di un limite alla crescita annuale del totale delle entrate tariffarie, al fine di segnalare:

- agli operatori, l'esigenza di contenimento degli oneri gestionali, in una logica di efficienza;
- agli utenti, l'indirizzo teso a minimizzare gli oneri complessivi recuperabili nelle tariffe, in un'ottica di sostenibilità;
- ai soggetti competenti alla determinazione dei corrispettivi, la necessità di rafforzare le attività di monitoraggio e di verifica rispetto ai dati e agli altri elementi inseriti nel piano economico finanziario, evitando di ammettere a recupero oneri impropri (regolazione locale o decentrata).

L'Autorità è pertanto orientata a prevedere che, in ciascun anno  $a = \{2020, 2021\}$ , il totale delle entrate tariffarie di riferimento ( $\Sigma T_a$ ) debba rispettare il seguente limite annuale di crescita:

$$\frac{\Sigma T_a}{\Sigma T_{a-1}} \leq (1 + \rho_a)$$

La limitazione della crescita delle entrate ( $\rho_a$ ), alla luce degli elementi richiamati in precedenza, è definita sulla base della seguente condizione:

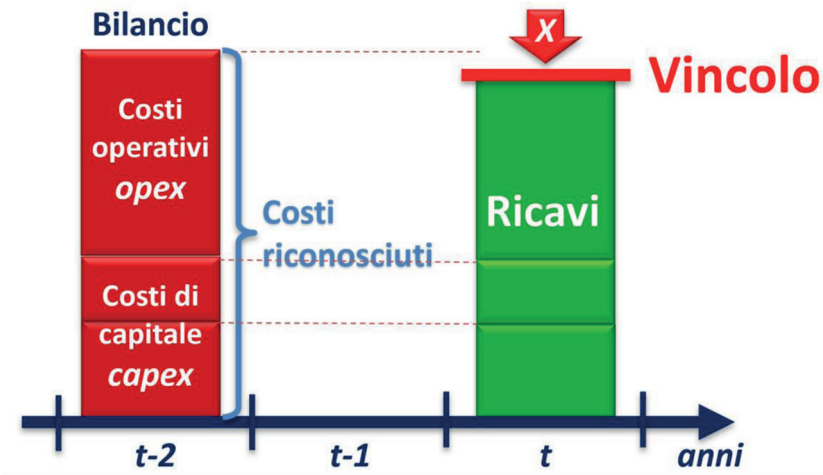
$$\rho_a = rpi_a - X_a + QL_a + PG_a$$

- il tasso di inflazione programmata,  $rpi_a$ ;
- un fattore che tiene conto del miglioramento di efficienza,  $X_a$ ;
- un coefficiente che tiene conto del previsto miglioramento della qualità delle prestazioni erogate alle utenze,  $QL_a$ , il quale può assumere valore nei limiti indicati nella successiva tabella;
- un fattore che tiene conto di modifiche del perimetro gestionale (anche conseguente ad operazioni di aggregazioni tra gestori), con riferimento ad aspetti tecnici e/o operativi, non intercettato dal fattore relativo alla qualità,  $PG_a$  il quale può assumere valore nei limiti indicati nella successiva tabella.

		PERIMETRO GESTIONALE ( $PG_a$ )	
		NESSUNA VARIAZIONE NELLE ATTIVITÀ GESTIONALI	PRESENZA DI VARIAZIONI NELLE ATTIVITÀ GESTIONALI
QUALITÀ PRESTAZIONI ( $QL_a$ )	MANTENIMENTO DEI LIVELLI DI QUALITÀ	<p align="center">SCHEMA I</p> <p>Fattori per calcolare il limite alla crescita delle entrate tariffarie:</p> <p><math>PG_a = 0</math></p> <p><math>QL_a = 0</math></p>	<p align="center">SCHEMA II</p> <p>Fattori per calcolare il limite alla crescita delle entrate tariffarie:</p> <p><math>PG_a \leq 3\%</math></p> <p><math>QL_a = 0</math></p>
	MIGLIORAMENTO DEI LIVELLI DI QUALITÀ	<p align="center">SCHEMA III</p> <p>Fattori per calcolare il limite alla crescita delle entrate tariffarie:</p> <p><math>PG_a = 0</math></p> <p><math>QL_a \leq 2\%</math></p>	<p align="center">SCHEMA IV</p> <p>Fattori per calcolare il limite alla crescita delle entrate tariffarie:</p> <p><math>PG_a \leq 3\%</math></p> <p><math>QL_a \leq 2\%</math></p>

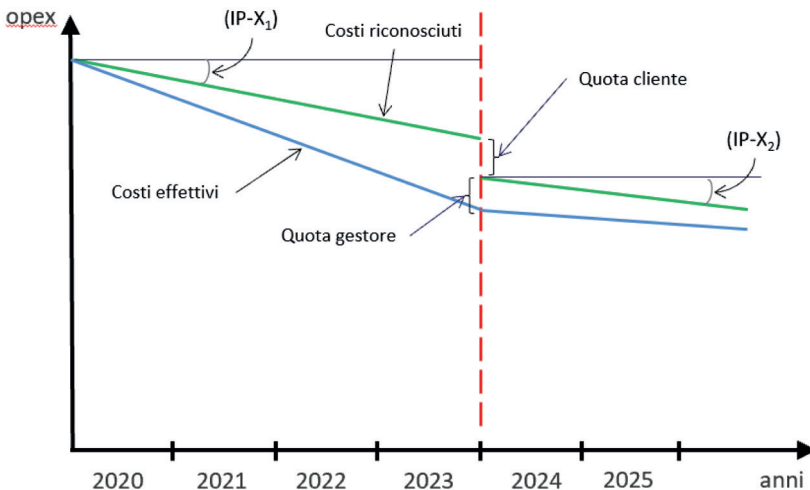
### 2.3. Effetti attesi dall'applicazione della regolazione tariffaria

La regolazione della tariffa viene attuata secondo il principio tariffario del *Full Cost Recovery* che prevede la «copertura integrale dei costi» di gestione (investimenti compresi) mediante la tariffa. Con l'applicazione del fattore di limitazione della crescita delle entrate ( $\rho_a$ ) precedentemente descritto, che comprende un fattore che tiene conto del miglioramento di efficienza ( $X_a$ ), in una situazione di "sistema maturo" (che quindi non richiede specifici miglioramenti della qualità del servizio erogato e/o modifiche del perimetro gestionale) l'impatto del nuovo sistema tariffario è raffigurato nella figura seguente, che rappresenta un principio tariffario di *Full Efficient Cost Recovery*.



Il tasso annuale prefissato di miglioramento di efficienza ( $X_a$ ) verrà definito in esito a specifiche analisi sulle caratteristiche del costo del servizio di raccolta e trasporto, tenendo conto delle diverse realtà organizzative, gestionali e territoriali. Il fattore di miglioramento di efficienza ( $X_a$ ) applicato per un intero periodo di regolazione permette al gestore di beneficiare dei profitti derivanti dalle maggiori efficienze ottenute rispetto all'obiettivo assegnato; al termine del periodo sarà valutato dall'Autorità in quale misura e con quale tempistica trasferire agli utenti tali maggiori efficienze.

Il grafico seguente raffigura gli effetti del meccanismo del *price cap* sulle tariffe soggette a regolazione nel caso di una situazione di "sistema maturo" (che quindi non richiede specifici miglioramenti della qualità del servizio erogato e/o modifiche del perimetro gestionale).



ARERA fissa l'obiettivo di recupero di produttività per il periodo regolatorio. Eventuali recuperi conseguiti dal gestore in misura maggiore, comportano vantaggi per il gestore al quale vengono di fatto riconosciuti costi superiori a quelli effettivi.

Alla fine del periodo regolatorio, il vantaggio conseguito viene condiviso con il cliente mediante un meccanismo di *sharing* asimmetrico, già descritto per il parametro  $b$  (il fattore di *sharing* che l'Autorità è orientata a prevedere per ripartire i benefici in termini di efficienza tra gli operatori e gli utenti, che può assumere un valore nell'intervallo  $[0,3, 0,6]$ ).

### **Bibliografia**

- [1] DCO (Documento per la Consultazione) 713/2018/R/RIF (Criteri per la determinazione dei corrispettivi del servizio integrato di gestione dei rifiuti urbani e assimilati e dei singoli servizi che costituiscono attività di gestione - Orientamenti preliminari)
- [2] DCO 351/2019/R/rif "Orientamenti per la copertura dei costi efficienti di esercizio e di investimento del servizio integrato dei rifiuti per il periodo 2018-2021";
- [3] Atti del ciclo di convegni "Il settore rifiuti e l'ARERA", Milano, Verona, Roma, giugno-luglio 2018, a cura di Utiliteam Srl e ARS ambiente Srl.

# Progetto di controllo dell'abbandono rifiuti e del littering del Consorzio Comuni dei Navigli

*Giorgio Ghiringbelli, [ghiringbelli@arsambiente.it](mailto:ghiringbelli@arsambiente.it)*

*ARS ambiente Srl, Gallarate (VA) e Università Cattaneo – LIUC, Castellanza (VA)*

*Salvatore Greco, Giuseppe Maffei, Terraria Srl, Milano*

*Carlo Ferré, Christian Migliorati, Consorzio Comuni dei Navigli, Albairate (MI)*

## Sommario

*I rifiuti gettati sul suolo pubblico (littering) e le discariche abusive sono oggi un importante problema ambientale, sociale ed economico. Il progetto di monitoraggio e prevenzione, messo in campo dal Consorzio Comuni dei Navigli, vuole introdurre nuovi strumenti per monitorare il fenomeno e sviluppare una base dati condivisa tra i diversi stakeholder. Il progetto, in corso di realizzazione, ha visto come elemento centrale l'impiego di un'applicazione Web-GIS appositamente realizzata da Terraria e ARS ambiente, che consente di indicare le aree che si presentano degradate a causa dell'abbandono dei rifiuti. La mappa riguarda il territorio di operatività del Consorzio e permette, a tutti i Comuni, di essere informati in tempo reale sulle problematiche riscontrate al fine di attivare gli opportuni interventi di pulizia, monitorandone costi ed effetti.*

## Summary

*Today, littering and illegal landfill are an important environmental, social and economic problem. The monitoring and prevention project, implemented by the Navigli Consortium, aims to introduce new tools to monitor the phenomenon and develop a shared database between the various stakeholders. The project, which is currently underway, has seen the use of a specially designed Web-GIS application as the central element, which makes it possible to indicate areas that are degraded due to the abandonment of waste. The map concerns the Consortium's operational area and allows all Municipalities to be informed in real time on the problems encountered in order to activate the appropriate cleaning interventions, monitoring costs and effects.*

## 1. Introduzione

Oggi sempre più spesso si sente parlare di *littering* ovvero dell'inquinamento di strade, piazze, parchi o mezzi di trasporto pubblici causato gettando intenzionalmente o lasciando cadere rifiuti e abbandonandoli. Anche se in termini assoluti le quantità di rifiuti lasciate sul suolo sono relativamente ridotte, la maggioranza della popolazione percepisce il fenomeno come fastidioso. Il *littering* compromette la qualità di vita e il senso di sicurezza negli spazi pubblici, genera costi elevati per i servizi di pulizia e nuoce all'immagine delle località. Il *littering* dalle automobili che interessa alcuni tratti di strade urbane ed extra urbane è un fenomeno diffuso che comporta l'accumulo di rifiuti in aree difficilmente ripulibili [1].

A questi fenomeni si somma quello più circoscritto ma grave delle vere e proprie discariche abusive o incontrollate dove vengono abbandonati quantitativi ingenti di rifiuti, urbani o speciali, pericolosi e non, soprattutto in aree periferiche e naturali.



I rifiuti gettati nell'ambiente, oltre a comportare diversi danni di natura ambientale in senso lato (danno estetico, danno civico, etc.) comportano, per le loro caratteristiche chimiche, biologiche e tossicologiche, danni anche sulla qualità dei suoli o delle acque e in ultima analisi sulla qualità della vita e sulla salute umana. Ne derivano, a vari livelli, ingenti costi economici diretti e indiretti [2]. La gestione del littering e il risanamento delle discariche abusive comporta costi supplementari rispetto alla normale gestione dei rifiuti urbani e dell'igiene urbana [3].

Il problema deve essere affrontato in modo attivo e continuo dalle Amministrazioni preposte, utilizzando un approccio integrato, ovvero operando sia in termini preventivi (mediante lo strumento dell'informazione ed educazione verso i cittadini) che repressivi (tramite l'applicazione delle sanzioni che l'ordinamento prevede). Per agire sul fronte preventivo e soprattutto su quello repressivo occorre però conoscere il fenomeno sia dal punto di vista generale e territoriale (presenza di abbandoni rifiuti su un'area provinciale e impatto economico creato dalla necessità di ripristinare la pulizia dei luoghi) sia dal punto di vista specifico al fine di fornire agli organi competenti (corpi di Polizia e volontari) gli strumenti conoscitivi atti a permettere il coordinamento delle azioni di pattugliamento e presidio del territorio.

## 2. Il progetto di monitoraggio dell'abbandono rifiuti del Consorzio Comuni dei Navigli

Il progetto si pone una serie di obiettivi che possono essere distinti tra gestionali, informativi/educativi e di monitoraggio (con utilizzo di sistemi web-GIS creati *ad hoc*). All'interno del progetto è stato realizzato infatti uno strumento on-line che consente agli *stakeholder* di interagire in tempo reale e di condividere informazioni e immagini, analisi e considerazioni.

### 2.1. Il sistema Web-GIS di supporto alle decisioni

Il sistema a base del progetto è costituito da un Web-GIS che consente di mappare le aree che si presentano degradate a causa dell'abbandono dei rifiuti. Il *tool* di segnalazione è affiancato da una serie di strumenti di analisi dei dati raccolti e di individuazione di indicatori predefiniti e personalizzabili. Di seguito si riporta uno schema sintetico che riassume le principali caratteristiche dello strumento, che si può considerare un vero e proprio sistema di supporto alle decisioni (DSS).

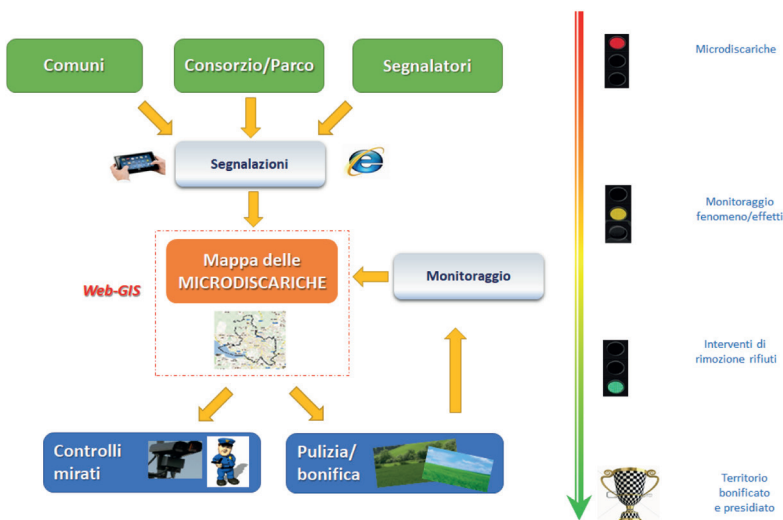
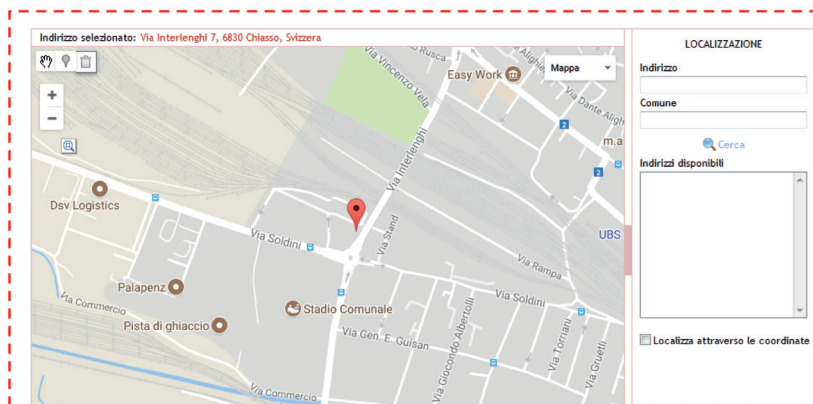


Fig. 1 – Schema logico del sistema di supporto alle decisioni (DSS) del progetto di controllo dell'abbandono rifiuti del Consorzio Comuni dei Navigli (ARS ambiente/TerrAria)



**Fig. 2** – Localizzazione dell'abbandono su mappa nel caso di una piccola discarica

Il segnalatore mediante un *wizard* deve specificare le caratteristiche dell'abbandono.

**Fig. 3** – Specifica delle caratteristiche dell'abbandono (tipologia e volumetria)

I segnalatori hanno la possibilità di associare alle segnalazioni delle fotografie e tale opzione è molto utile per monitorare l'evoluzione dei luoghi nel tempo. È possibile infatti che a seguito di un abbandono, prima che si intervenga con un'azione di pulizia, la vista di un luogo sporco induca altre persone a depositare ulteriori rifiuti. Inoltre sono frequenti dei casi in cui nel medesimo luogo (perché non in vista o con scarso passaggio) vengano reiterati degli abbandoni di rifiuti.

Ciascun Comune inoltre è dotato di un proprio "cassetto delle segnalazioni" nel quale può ritrovare agevolmente ciò che ha inserito e monitorarne l'evoluzione o aggiornarne lo stato.

Codice	Data	Stato segnalazione	Tipo rifiuti	Indirizzo	Azioni
360	18-11-2016	Validata	Urbani da civili abitazioni/domestici	Via XXI Settembre, 25, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄 🚫
359	18-11-2016	Validata	Urbani da civili abitazioni/domestici	Via Guglielmo Marconi, 20, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄 🚫
358	16-02-2016	Luogo ripulito	Speciali non pericolosi da attività industriali	Via Banchio Nino, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
355	09-02-2016	Validata	RAEE (Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche)	Via Gorizia, 21016 Luino VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
357	13-01-2016	Luogo ripulito	Ingombranti da civili abitazioni	Via ala Piana, 57, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
356	13-01-2016	Luogo ripulito	Urbani da civili abitazioni/domestici	Via Barbieri Remo, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
354	30-12-2015	Validata	RAEE (Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche)	Via Gorizia, 21016 Luino VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
353	19-10-2015	Luogo ripulito	Speciali non pericolosi da costruzione/demolizione	Via Varisnela, 8, 21018 Sesto Calende VA, Italia	📍 🗑️ 🔄
352	01-10-2015	Luogo ripulito	Urbani da civili abitazioni/domestici	Via Ramelli, 5, 21018 Lisanza VA, Italia	📍 🗑️ 🔄

**RICERCA**

Visualizza: Tutte

Stato segnalazione:  Luogo ripulito

Tipologia di rifiuti: Tutte

Comune: Tutti

Fig. 4 – Cassetto delle segnalazioni

Una segnalazione può essere ovviamente anche “chiusa” e ciò avviene quando i luoghi sono ripuliti o bonificati. L’amministrazione comunale, che è legalmente responsabile di quest’attività ai sensi della vigente normativa, deve specificare quando l’operazione è avvenuta e i costi che sono stati sostenuti.

## 2.2. Reportistica dati e monitoraggio territorio

Il tool per la segnalazione degli abbandoni è stato attivato nel 2019 e ad oggi si possono contare 75 segnalazioni inserite di cui 58 risolte con la pulizia dei luoghi.

Le segnalazioni riguardano punti o aree del territorio in cui il fenomeno dell’abbandono di rifiuti può essere più o meno ingente in termini quantitativi, ma si distingue generalmente sia per la ricorrenza nel tempo che per la concentrazione in alcune specifiche porzioni di territorio, a conferma parziale del fatto che un luogo già “sporco” è più “invitante” rispetto ad un luogo pulito.

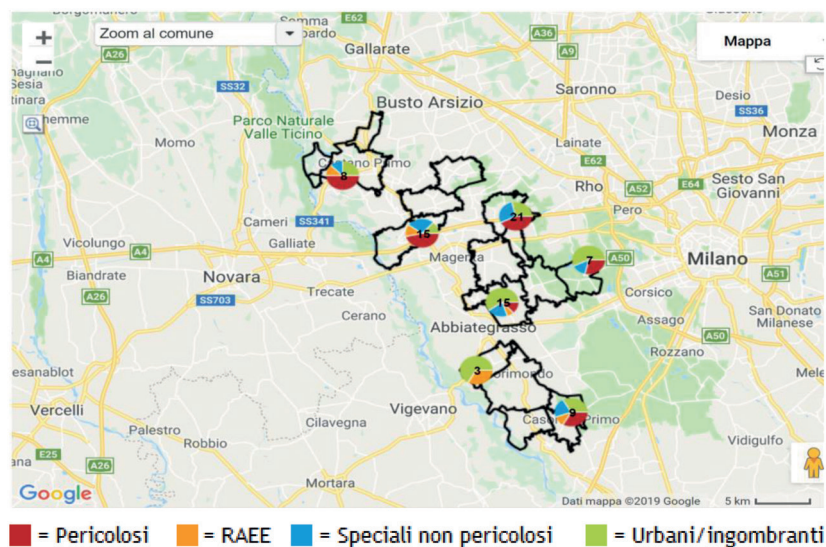
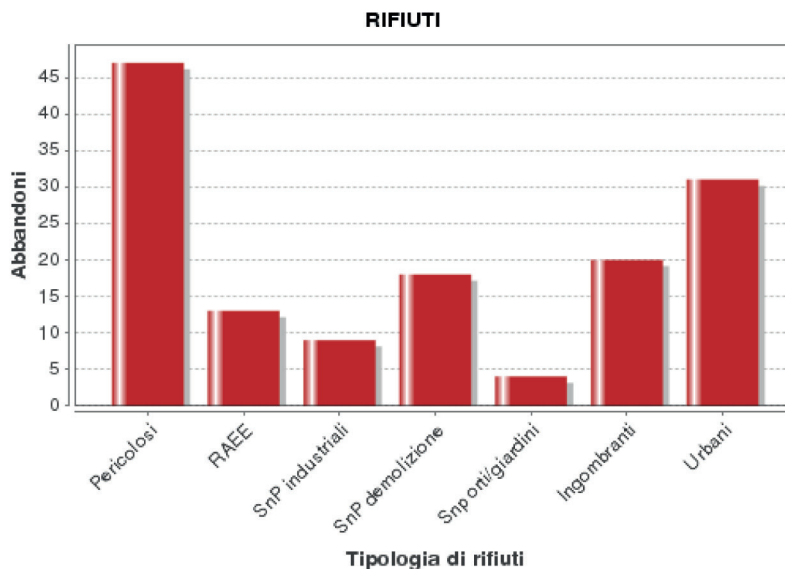


Fig. 5 – Segnalazioni effettuate nel territorio del Consorzio Comuni dei Navigli (dati 2019).

Per quanto riguarda invece la tipologia di rifiuti, sono i rifiuti speciali pericolosi (eternit, fusti, etc.) a essere più frequentemente abbandonati, seguiti da rifiuti urbani e ingombranti da civili abitazioni.



**Fig. 6 – Rifiuti abbandonati per tipologia, con il dettaglio della categoria ‘Altro’.**

A partire dai punti di abbandono segnalati sulla mappa, è iniziata un’attività di monitoraggio al fine di valutare a campione l’evoluzione del fenomeno nel tempo. A breve però saranno gli stessi Enti preposti al controllo del territorio che si attiveranno utilizzando il sistema web-GIS per identificare le aree più critiche e sottoporle ad un monitoraggio periodico. In tal modo sarà più facile da un lato individuare i responsabili degli abbandoni e accertarne il reato secondo i termini di legge, e dall’altro collaborare con gli Enti preposti alla pulizia e ripristino dei luoghi per intervenire prontamente in modo efficace e diretto.

### 3. Conclusioni

L’intento del progetto è di monitorare l’abbandono dei rifiuti e di coordinare l’azione degli Enti coinvolti (principalmente i Comuni). A seguito di questo primo *step*, saranno avviate una serie di azioni volte a contrastare il fenomeno degli abbandoni agendo in modo coordinato con gli strumenti possibili.



**Fig. 7** – Principali livelli di azione rivolti alla prevenzione al controllo dell’abbandono rifiuti e del littering

Il Consorzio Comuni dei Navigli intende poi attivare nel 2020 delle azioni mirate che sono state identificate come quelle con maggior efficacia nella prevenzione del fenomeno, ovvero:

- Incrementare il numero di sanzioni a chi abbandona
- Introdurre delle foto-trappole nei siti maggiormente soggetti ad abbandono
- Aumentare le iniziative di comunicazione
- Introdurre iniziative di educazione ambientale
- Coordinare «Puliamo in Mondo 2019» a livello di Consorzio
- Attivare convenzioni con altri Enti territoriali (Parco del Ticino, Consorzio ETV, ANAS, etc.)

Agendo quindi in modo proattivo e coordinato sul fronte repressivo e su quello della comunicazione/educazione, si mira a generare un circolo virtuoso che riduca a monte il fenomeno dell’abbandono, abbattendo quindi le esternalità negative economiche e ambientali ad esso legate.

### **Bibliografia**

- [1] Viale, G. (1994), “Un mondo usa e getta. La civiltà dei rifiuti e i rifiuti della civiltà”, Feltrinelli, Milano;
- [2] ARPA Emilia Romagna e ARPA Toscana (2011), “L’impatto della plastica e dei sacchetti sull’ambiente marino”, Bologna;
- [3] BAFU - Bundesamt für Umwelt (2011), “Il littering costa - Costi di pulizia per frazioni di rifiuti generati dal littering in Svizzera”, riassunto della pubblicazione «Littering kostet» ([www.bafu.admin.ch/uw-1108-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1108-d)): 16-17
- [4] G. Ghiringhelli, M. Giavini (2008), “L’abbandono di rifiuti nell’ambiente e il littering: il progetto “strade pulite” della Provincia di Varese, Atti di Ecomondo, Maggioli Ed., Bologna: 168-17

# Una nuova visione dinamica di compliance: l'adozione di strumenti informatici per il monitoraggio e controllo

*Leonardo Grassi [grassi@csgroup.it](mailto:grassi@csgroup.it), bellanca@csgroup.it, Roberto Conforto [conforto@csgroup.it](mailto:conforto@csgroup.it)  
Computer Solutions S.p.A., Venezia - Marghera  
Enrico Pedron [enrico.pedron@rsconsultant.it](mailto:enrico.pedron@rsconsultant.it)  
Resource Saving Consultant S.r.l., Padova*

## **Riassunto**

*Il presente studio mostra le difficoltà incontrate dalle imprese italiane, e non solo, a muoversi efficacemente tra i difficili percorsi del pieno rispetto delle normative, della conformità ai regolamenti ed ai dettami di legge, percorsi finora affrontati secondo approcci tradizionali, statici e per molti versi inefficaci, che mettono a serio rischio la sopravvivenza dell'impresa e la salvaguardia della proprietà e del patrimonio.*

*Lo studio spiega, di contro, come oggi sia possibile per le imprese disporre di innovativi strumenti informatici in grado di supportarle e perfettamente allineati con la nuova visione dinamica della compliance e in un percorso rivolto alla realizzazione della piena sostenibilità aziendale.*

## **Summary**

*This study shows the difficulties encountered by Italian companies, and not only, to move effectively between the difficult paths of full compliance with the rules, regulations and compliance with the dictates of the law, paths so far addressed according to traditional approaches, static and in many ways ineffective, which put at serious risk the survival of the company and the protection of property and assets. The study explains, on the other hand, how today it is possible for companies to have innovative IT tools to support them and perfectly aligned with the new dynamic vision of compliance and in a path aimed at achieving full corporate sustainability.*

## **1. Introduzione**

Tutte le imprese, dalle più piccole alle più grandi, hanno bisogno di “controllo”: controllo sull'attività, controllo economico, controllo sulla qualità del prodotto/servizio, controllo sul posizionamento di mercato, controllo della soddisfazione del cliente, controllo del personale e dei collaboratori, controllo dei fornitori, controllo sul rispetto delle certificazioni, controllo fiscale, controllo sulle prassi legali e normative, controllo della privacy, controllo del rispetto ambientale, controllo sulla sostenibilità dell'impresa...

Il lavoro qui presentato, intende fornire una nuova visione di compliance e di controllo d'impresa alla luce della possibilità di introdurre in azienda le più recenti tecnologie informatiche, secondo criteri ben identificati e definiti.

A sostegno della nostra tesi, presenteremo infine un'esperienza concreta analizzando insieme una piattaforma realizzata secondo tali criteri e già disponibile sul mercato.



## 2. Relazione

### 2.1 *La Compliance*

Per Compliance si intende un insieme di attività sostanzialmente di tipo preventivo, di fatto una filosofia aziendale, che individua, valuta, supporta, controlla e riferisce in merito al rischio di sanzioni legali o amministrative, perdite di efficienza, operative o economiche, deterioramento della reputazione aziendale, per il mancato rispetto di leggi, regolamenti, procedure e codici di condotta, best practices e certificazioni.

In prospettiva economico-aziendale, il termine compliance si riferisce al sistema di monitoraggio e controllo interno, inteso come «l'insieme delle regole, delle procedure e delle strutture organizzative volte a consentire, attraverso un adeguato processo di identificazione, misurazione, gestione dei principali rischi, una conduzione dell'impresa sana, corretta e coerente con gli obiettivi» [1].

La Compliance definisce i metodi per prevenire il rischio di non conformità dell'attività aziendale rispetto alle norme e per consolidare il rapporto fiduciario con la clientela e gli stakeholders.

La Compliance si rivolge quindi a tutte le aree imprenditoriali, in particolar modo a quelle dove risultano preminenti i punti di contatto con la P.A. ed il mondo finanziario, alle imprese quotate in borsa ed alle grandi imprese per le quali l'allineamento a tali norme ha bisogno di un presidio particolare.

#### 2.1.1 *Il D.Lgs 231/2001*

Il concetto di Compliance e di responsabilità amministrativa, in ratifica ed esecuzione delle convenzioni OCSE e UE, è stato introdotto nell'ordinamento Italiano dall'art. 11 della legge 29 settembre 2000, n. 300, il quale delegava il Governo a disciplinare l'articolazione di questo tipo di responsabilità. In attuazione di tale delega, il decreto legislativo 8 giugno 2001 n. 231 ha definito la disciplina della "Responsabilità amministrativa delle persone giuridiche, delle società e delle associazioni anche prive di personalità giuridica".

Con tale decreto, il legislatore – uniformando l'ordinamento italiano a quello degli altri Paesi – ha introdotto una responsabilità diretta dell'ente, secondo il modello statunitense.

Sulla base di quanto disposto dal decreto in oggetto, le società possono essere ritenute responsabili in relazione a taluni reati, specificatamente indicati, commessi o tentati nell'interesse e/o vantaggio della società stessa da:

- da persone fisiche che rivestono posizioni "apicali" di rappresentanza, amministrazione, direzione dell'ente o di una sua unità organizzativa, nonché da persone che esercitano, anche di fatto, la gestione ed il controllo dell'ente stesso;
- da persone sottoposte alla direzione o alla vigilanza di uno dei soggetti in posizione "apicale".

Nel caso in cui venga commesso uno dei reati specificatamente indicati dalla normativa di riferimento, alla responsabilità penale della persona fisica che ha realizzato materialmente il fatto si aggiunge anche la responsabilità "amministrativa" della società.

Per tutti gli illeciti amministrativi dipendenti da reato sono previste sanzioni pecuniarie, interdittive, di confisca e la pubblicazione della sentenza.

In particolare, nei casi di maggiore gravità, l'applicazione di sanzioni interdittive può comportare la sospensione o revoca di licenze, concessioni, autorizzazioni, l'interdizione dall'esercizio dell'attività, il divieto di contrarre con la P.A., il divieto di pubblicizzare beni e servizi, l'esclusione da finanziamenti, contributi e sussidi.



### 2.1.2. *Certificazioni e regolamenti*

Ogni azienda deve definire il perimetro di riferimento della propria Compliance individuando le norme di etero e autoregolamentazione rispetto alle quali ha la responsabilità di assicurare la conformità in via attuale e prospettica. In tale ambito, vanno considerati settori e aree di operatività, strategie perseguite, modelli di business adottati, prodotti e servizi offerti, tipologia di clientela, priorità di rischio eventualmente rilevate.

Tra le normative generali che abitualmente vengono fatte rientrare nell'ambito della Compliance, oltre al citato D.Lgs. 231/2001 e s.i., vanno ricordati a titolo di esempio:

- Antiriciclaggio e contrasto del finanziamento del terrorismo
- Privacy e protezione dei dati personali
- D.Lgs. 141/10 e Codice del Consumo
- Security - sicurezza informatica
- Safety - D.Lgs. 81/2008 sulla “sicurezza sul posto di lavoro”

e le certificazioni:

- Qualità - ISO 9001:2015
- Sicurezza - OSHAS 18001:2008 – ISO 45001:2018
- Ambientale - ISO 14001:2015
- Etica SA 8000.

Per le società quotate vanno aggiunte ulteriori norme, quali ad esempio:

- Legge 28 dicembre 2005, n. 262, “Disposizioni per la tutela del risparmio e la disciplina dei mercati finanziari”.

### 2.1.3. *Il Modello di Organizzazione, Gestione e Controllo*

In termini funzionali la Compliance è un sistema aziendale di presidi organizzativi e operativi; un vero e proprio modello di organizzazione, gestione e controllo, che la singola azienda pone in essere per evitare disallineamenti rispetto all'insieme delle regole esterne ed interne. Ai sensi della legge italiana, il Modello di Organizzazione e Gestione (MOG) è un documento che rientra nel quadro più ampio del tema della responsabilità di impresa. Si tratta di una descrizione dei processi organizzativi e dei percorsi sanzionatori adottati dall'impresa per prevenire e minimizzare i rischi derivanti dalla mancata applicazione di disposizioni di legge.

### 2.2 *Il Modello Organizzativo come strumento esimente*

L'adozione di un Modello Organizzativo, e quindi l'allineamento al sistema dispositivo, consente di circoscrivere ex ante per i cosiddetti asset visibili (il rischio di sanzioni penali, civili e amministrative) di minimizzare ex post le conseguenze di possibili disallineamenti, di salvaguardare i cosiddetti asset invisibili, ovvero la reputazione aziendale e la fiducia dei diversi stakeholders (azionisti, clienti, dipendenti, ecc.), di costruire un patrimonio di regole e di valori che possono caratterizzare l'identità dell'impresa con ricadute positive anche in termini di risultati di business.

Per i reati contemplati dal D.Lgs. 231/2001, è addirittura previsto l'esonero dalla responsabilità qualora la società dimostri che “... l'organo dirigente ha adottato ed efficacemente attuato, prima della commissione del fatto, modelli di organizzazione e di gestione idonei a prevenire reati della specie di quello verificatosi” [2].

### 2.3 *I limiti del Modello Organizzativo “statico”*

In molti casi i Modelli Organizzativi sono sviluppati come meri esercizi di analisi dei processi, riportanti semplici indicazioni sui controlli e sulle sanzioni, finalizzati a “certificare” al pubblico una “certa presa di coscienza” delle problematiche da parte delle figure apicali o peggio, a supportare burocraticamente, attraverso sterili iter documentali, percorsi di certificazione normativa e di processo.

In realtà, nella maggior parte delle imprese il Modelli Organizzativi sono realizzati nell'ottica di verificare dati ed eventi "ex-post", ma non contemplano l'adozione di apprezzabili misure atte a garantire "ex-ante" criteri di continuità e costanza dell'esercizio del controllo, di registrazione e certificazione degli eventi, di informazione e formazione preventiva delle figure interessate, di gestione e di segnalazione in real-time di eventuali non conformità.

Lo studio specificamente condotto da Resource Saving Consultant S.r.l. in collaborazione con Computer Solutions S.p.A. [3], ha analizzato a campione 200 sentenze processuali, emesse dal 2002 al 2012, inerenti alla sfera dei reati connessi al D.Lgs. 231/2001.

I risultati di questo studio rivelano che su 200 sentenze, ben 49 (24,5%) riguardano l'idoneità e l'applicazione dei Modelli Organizzativi di Gestione (MOG). Tra queste, 6 sono le sentenze di assoluzione, 9 sono le sentenze di rinvio o riesame, 34 (69,4%) sono le sentenze di condanna, nell'ambito delle quali sono stati comminati 9 provvedimenti interdittivi, ben 13 provvedimenti di sequestro o confisca, un valore pari a 122.005.010 Euro di sanzioni pecuniarie e 1.575.897.340 Euro di beni sequestrati.

Lo studio evidenzia quindi i limiti dell'adozione statica di un Modello Organizzativo, senza che venga messo in atto un effettivo monitoraggio e controllo sull'applicazione delle direttive in esso contenute.

L'esperienza quotidiana di supporto e consulenza alle imprese, conferma pienamente questa visione e permette di affermare che tale problema è comune anche ad altri Modelli Organizzativi ed in altri ambiti di Compliance, sebbene non direttamente connessi al D.Lgs. 231/2001, ad esempio per quanto riguarda ambiente e sicurezza.

#### *2.4 Il Controllo dell'impresa*

Gli scenari sempre più complessi all'interno dei quali si muovono le imprese, impongono nuovi e più sofisticati livelli di controllo. L'imprenditore può avvalersi di collaboratori, professionisti esterni e di figure istituzionali (Internal Auditor, CDA, Collegio Sindacale, Enti di Revisione, Organismo di Vigilanza, DPO, ecc.) che lo affianchino nell'attività di controllo, ma l'onere del controllo puntuale e sistematico e i rischi correlati ad insufficienti livelli di controllo gravano interamente sulle sue spalle.

La conformità alle prassi normative, alle certificazioni, al rispetto ambientale, ecc. pongono vincoli sempre più stretti e impongono prassi sempre più rigide, mentre la competizione sui mercati richiede scioltezza, elasticità e continua attenzione; lo stress derivante da questo paradosso risulta a volte insostenibile.

I rischi derivanti da un mancato o insufficiente controllo sono di varia natura e possono riguardare aspetti economici (costi elevati e perdita di profitto, pagamento di danni o penali, pagamento di sanzioni pecuniarie), o l'attività stessa (perdita di efficienza, imposizione di sanzioni interdittive, confische o sequestri di asset, revoche di licenze, autorizzazioni o concessioni, blocco dell'attività, danni alla reputazione e all'immagine), e non sempre è possibile terziarizzare tali rischi attraverso polizze assicurative o altro.

#### *2.5 La visione "dinamica": lo studio e l'adozione di strumenti informatici per il monitoraggio e controllo della Compliance*

Partendo da questi presupposti, è stata presa in esame la possibilità di trovare nell'Information Technology, strumenti atti a fornire supporto alle imprese per consentire un adeguato monitoraggio e controllo dei modelli organizzativi, al fine di segnalare eventi a rischio di non conformità, ancor prima che tali eventi possano tradursi in irregolarità o, peggio, in reati.

Si è ipotizzato come l'applicazione di tecnologie basate sui cosiddetti "sistemi esperti", sui "motori a regole", sull'applicazione di BPM (Business Process Management) e, più di recente, sul "machine learning", al notevole patrimonio informativo ormai sempre presente presso le

imprese, possa portare alla realizzazione di sistemi efficaci, efficienti e per nulla invasivi, atti a seguire passo passo nelle varie articolazioni, in tempo reale, i processi aziendali soggetti a monitoraggio e controllo.

Si è passati quindi a teorizzare un modello di architettura funzionale IT per la compliance, in grado di inserirsi trasparentemente nelle dinamiche aziendali, che potesse rispondere ai seguenti principi:

- Fornire adeguati tools allo staff per realizzare un completo risk assessment
- Porre le basi per una corretta ed efficace redazione del modello
- Definire nel dettaglio le attività di monitoraggio e controllo
- Integrarsi facilmente e a basso costo con i dati e i processi della base informativa aziendale esistente
- Completare eventualmente l'informatizzazione dei processi oggetto di monitoraggio, non coperti dalla base informatica aziendale
- Codificare le regole relative alla gestione e alla interpretazione di tutte le informazioni, gli eventi e i documenti relativi a processi e procedure oggetto di monitoraggio e controllo
- Codificare i processi di monitoraggio e controllo delle attività sensibili per la verifica delle non conformità rispetto ai dettami aziendali, normativi, di certificazione e di legge
- Codificare le regole e i parametri relativi ai processi di monitoraggio e controllo
- Raccogliere e certificare tutte le informazioni, gli eventi e i documenti che provengono dal quotidiano svolgimento delle attività ritenute sensibili e oggetto di monitoraggio e controllo
- Gestire il sistema di monitoraggio e controllo delle attività e degli eventi
- Registrare e certificare l'attività di monitoraggio e controllo
- Registrare ed evidenziare le eventuali non conformità, segnalandole immediatamente agli Organi preposti
- Rendere disponibili i dati certificati in maniera efficace e organizzata, per rendere possibili adeguati controlli da parte degli Organi preposti
- Fornire metodologie di misurazione delle performance e della compliance.

## 2.6 Il progetto *Complia*<sup>®</sup>

*Complia*<sup>®</sup> è un progetto IT di ricerca e sviluppo nato sulla base delle teorie su espone e volto a realizzare una piattaforma di interoperabilità e cooperazione applicativa allo scopo di supportare imprese e consulenti in una nuova visione dinamica del controllo e della compliance, garantendo nuove ed efficaci misure a tutela della proprietà e dei vertici apicali dell'impresa. La cooperazione applicativa è intesa infatti come «la capacità di uno o più sistemi informatici di avvalersi, ciascuno nella propria logica applicativa, dell'interscambio automatico di informazioni con gli altri sistemi, per le proprie finalità applicative» [4].

Il progetto rappresenta la risposta tecnologica al problema del monitoraggio e controllo poiché si integra con i sistemi informativi presenti nell'impresa e può quindi fornire strumenti di prevenzione in grado di monitorare sistematicamente tutti i comportamenti che potrebbero tradursi in un rischio per l'impresa, e segnalare con anticipo eventuali ambiti sospetti, anomalie o non conformità.

*Complia*<sup>®</sup> rappresenta un “metodo innovativo” perché permette di far incontrare in un unico ambito le tecnologie informatiche di nuova generazione, il patrimonio informativo dell'impresa, la conoscenza delle dinamiche aziendali dei vari settori e le competenze sull'apparato normativo dei vari attori che in azienda sono coinvolti sui temi della compliance, e inoltre consente di:

- sfruttare il patrimonio informativo presente in azienda, sia che si tratti di un sistema gestionale, di segnali provenienti da sensori, di email o di fogli di calcolo, ottimizzando gli investimenti già realizzati in tal senso;

- garantire il controllo su eventuali processi non informatizzati attraverso il sistema BPM (Business Process Management) e la rapida messa in linea di opportuni work-flow procedurali;
- tracciare i processi aziendali oggetto di controllo attraverso l’acquisizione automatica e sistematica, l’identificazione e la successiva memorizzazione in repository di eventi informativi e di documenti, relativi ad ogni singolo processo o procedura che si svolge in azienda;
- controllare gli eventi informativi e i documenti raccolti, e quindi i processi, attraverso l’applicazione di regole, stabilite con i vertici apicali, gli internal auditor e i consulenti, che evidenzino le anomalie e le non conformità rilevate;
- effettuare controlli incrociati tra diversi eventi informativi provenienti procedure e processi diversi, anche in forma storica;
- assegnare la diretta responsabilità di ogni azione alla figura aziendale preposta o alla quale è deputata la gestione e il controllo di un dato ambito, processo o procedura;
- fornire concreto supporto documentale sui processi monitorati, in caso di verifica ispettiva o in presenza di una controversia, sollevando in questo modo l’impresa da eventuali responsabilità amministrative attraverso la dimostrazione tangibile dell’applicazione sistematica di un modello di controllo e dell’effettuazione di un costante monitoraggio sui processi;
- applicare efficaci metodologie di misurazione di efficienza e della compliance d’impresa.

### *2.7 L’applicazione di Complia® nei processi d’impresa*

Il metodo Complia® è stato studiato ed applicato con successo per il monitoraggio e controllo dei processi legati ai Modelli Organizzativi Gestionali (MOG) ai sensi del D.LGS. 231/2001.

Successivamente, sono stati affrontati e analizzati altri modelli di Compliance, quali le certificazioni ISO, il GDPR, e più di recente gli aspetti della Legge 262/2005 relativa alle “Disposizioni per la tutela del risparmio e la disciplina dei mercati finanziari”.

### *2.8 Complia® e il monitoraggio ambientale*

Infine, un campo dove il metodo Complia® ha trovato una fortunata collocazione è quello del monitoraggio e controllo ambientale, relativamente alle prescrizioni indicate nel Piano di Monitoraggio e Controllo degli impianti sottoposti ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA).

È inoltre in corso uno studio riguardante l’applicazione del metodo Complia® per il monitoraggio e controllo dei processi collegati ai Sistemi di Monitoraggio delle Emissioni in continuo ed alla gestione di quanto previsto dalla Direttiva 2003/87/CE (Direttiva ETS) per la regolamentazione del cap&trade in Europa per gli impianti industriali, per il settore della produzione di energia elettrica e termica e per gli operatori aerei.

## **3. Conclusioni**

È stato evidenziato come sia utile, se non indispensabile, per un’impresa, dotarsi, nelle varie esigenze di compliance, di modelli organizzativi gestionali personalizzati e, soprattutto, seguiti da adeguate azioni di monitoraggio e controllo.

Una volta adottati i modelli in azienda, l’applicazione costante e un efficace presidio di tali strategie organizzative garantisce la sopravvivenza stessa dell’impresa sul mercato, il rispetto della sua immagine e della sua reputazione, la possibilità di conseguire e mantenere licenze, concessioni, autorizzazioni, finanziamenti, un buon livello di protezione per vertici apicali dell’impresa, la piena tutela del patrimonio e della proprietà e, non ultimo, un’elevata efficienza operativa.

L’adozione e l’applicazione di tali strategie è però un meccanismo lungo da avviare in termini di tempo, è molto complesso ed è oneroso in termini di risorse, aspetto che spaventa molti im-

prenditori, soprattutto quelli delle fasce aziendali medie e medio piccole, tanto da convincere molti sulla scarsa convenienza.

Lo studio evidenzia come, solo considerando il D.Lgs. 231/2001, che si applica comunque a tutte le imprese, e solo dal punto di vista patrimoniale e sanzionatorio, il rischio sia notevole, se non insostenibile.

Ancora una volta l'IT può fornire risposte efficaci attraverso la teorizzazione del modello di architettura funzionale IT per la compliance e la sua applicazione pratica nel consolidato metodo Complia®.

### **Bibliografia**

[1] **Borsa Italiana S.p.A., Comitato per la Corporate Governance, Codice di Autodisciplina**, 2006.

[2] **D.Lgs. 231/2001, Art. 6, comma 1., lettera a)**, G.U. serie generale n. 140 del 19/06/2001.

[3] **R.S.C. S.r.l., Studio di 200 sentenze inerenti il D.Lgs. 231/2001 dal 2000 al 2012, 2012**, <http://www.complia.com/it/il-progetto-complia/protezione-del-patrimonio-aziendale/>,99.

[4] **ICAR, Interoperabilità e cooperazione applicativa tra le regioni**, <http://www.progettoicar.it>.

# Open Platform e Design Collaborativo per una gestione sostenibile dei processi di Up Cycle per la valorizzazione degli scarti di PVC provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici

Domenico Lucanto [domenicolucanto08@gmail.com](mailto:domenicolucanto08@gmail.com)  
PMOpenlab s.r.l.s.  
Via Venezia 11, Reggio Calabria

## Riassunto

*Con riferimento al progetto-ricerca PVC UpCycling viene descritto il sistema di contabilizzazione ambientale "adattivo", per la sperimentazione e la costruzione di modelli gestionali sostenibili di filiera processo/prodotto, che misurano l'impatto del progetto, descrivendone differenti tipi di informazioni per descriverne fasi relazioni, nodi, questioni, tangenti, spazi di operatività (Figura 1 - Legenda PVC UPCycling Impact Map). In questo senso il modello riguarda la possibilità di avviare filiere del riciclo, capaci di autogestioni a livello energetico, con la finalità di abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub>. Tra gli obiettivi di risultato del sistema circolare, quelli di progettare il modello di filiera innovativa di simbiosi industriale sugli scenari PVC- MPS e la Piattaforma Collaborativa per i prodotti di ecodesign "open source". Dalla fase di de-manufacturing a quella di re-manufacturing, i modelli circolari attivati dalla nuova filiera innovativa PVC-MPS, attuata anche attraverso la sperimentazione degli scenari illustrati, attraverso i quali è possibile costruire una piattaforma collaborativa di scambio delle informazioni, intercettano la fase dell'ecodesign trasferendo la possibilità di intervenire sulla produzione di prototipi PVC-Upcycling.*

## Summary

*With reference to the PVC UpCycling research project, the "adaptive" environmental accounting system is described for experimenting and building sustainable management models of the process / product chain, which measure the impact of the project, describing different types of information to describe its phases relations, nodes, issues, tangents, operational spaces (Figure 1 - PVC Legend UPCycling Impact Map). In this sense, the model concerns the possibility of starting recycling chains, capable of self-management in terms of energy, with the aim of reducing CO<sub>2</sub> emissions. Among the objectives of the circular system result, those of designing the innovative industrial symbiosis supply chain model on PVC-MPS scenarios and the Collaborative Platform for open source ecodesign products. From the de-manufacturing phase to the re-manufacturing phase, the circular models activated by the new innovative PVC-MPS supply chain, implemented also through the experimentation of the illustrated scenarios, through which it is possible to build a collaborative platform for information exchange, intercept the ecodesign phase, transferring the possibility of intervening on the production of PVC-Upcycling prototypes.*

## 1. Introduzione

Affrontando le tematiche riguardanti l'Open Platform e il Design Collaborativo, per una gestione sostenibile dei processi di UpCycling si intende indagare la costruzione e l'organizzazione del modello di filiera innovativa riferita alla produzione del materiale carica PVC ed al suo trasferimento come MPS. In particolare si trattano le tematiche relative alla costruzione di piattaforme aperte (Open Platform) e strumentazioni che favoriscono il Design collaborativo, nell'ottica di una gestione sostenibile, dei processi di UpCycling per la valorizzazione degli scarti di PVC provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici, ma anche si conduce l'attività di design, prototipazione e valutazione sostenibile con applicazione ai mercati individuati dei prodotti/componenti, realizzati per impiego ed integrazione con le tecnologie abilitanti additive manufacturing/stampa 3D. [1]

## 2. Relazione

L'approccio metodologico a cui fa riferimento il paragrafo 1 permette di identificare i processi progettuali e i loro modelli accessibili (Open Platform), in grado di coinvolgere in attività di co-design gli utenti, al fine di produrre componenti a bassa manutenzione e alta flessibilità. In questo senso bisogna prendere in considerazione un tipo di piattaforma che riesce a trasferire la contabilizzazione degli impatti in rapporto alle quantità di PVC MPS utilizzato, dimensionando quindi le attività in grado di innescare la produzione di "rifiuti zero" nel processo circolare, modello a cui tende l'azienda alla quale fa riferimento il progetto PVC UP Ccycling. Altro livello di informazione fornito, è quello riferibile al settore con cui si può attuare la simbiosi industriale e nel caso della sperimentazione attuata, con il settore dell'edilizia sostenibile e della produzione di sistemi a basso impatto ambientale con buone prestazioni in fase di uso. *"Una sintesi di processo/prodotto nutrita dal trasferimento know-how di tecnologie e processi di produzione e lavorazione di nuovi componenti con l'uso del PVC recuperato e reso MPS, ma anche l'attività di design, prototipazione e valutazione sostenibile, con applicazione ai mercati individuati dei prodotti/componenti, realizzati per impiego ed integrazione con le tecnologie non convenzionali e ad alta produttività"*. [2]

### 2.1.1 PVC UpCycling Impact Map

I processi progettuali che hanno scandito i passaggi per l'elaborazione del modello per PVCUpCycling pongono in relazione i temi della "contabilizzazione ambientale e un modello gestionale sostenibile di filiera processo/prodotto", misurando l'impatto del progetto, descrivendone fasi, relazioni, nodi, questioni tangenti, spazi di operatività. Un modello operativo che mette in rete, ma anche condivide informazioni e attività, con l'attivazione di diversificati e interconnessi prodotti-processi. (Figura 2 - PVC PVC UPcycling Impact Map)

I concetti di economia circolare in ottica di riciclo, con il fine del miglioramento del metabolismo industriale e della simbiosi industriale, trovano riscontro nelle fasi della sperimentazione di PVCUpCycling, nel loro obiettivo generale di rispondere alla traiettoria della S3 - Smart Strategy connessa al tema dei rifiuti e della tutela ambientale, declinata sul settore del riciclo per la progettazione di un modello di filiera circolare di processo e di prodotto.

Il processo sperimentato con PVC UpCycling, riguarda tutti i sistemi ricettori che entrano in competizione nel modello lineare di smaltimento dei cavi PVC, dal loro sistema di approvvigionamento e stoccaggio, al sistema di smaltimento, interessando così il sistema dei trasporti, della qualità dell'aria, dei flussi energetici, del suolo, dei flussi di materia e energia legati alla logistica e ai servizi produttivi necessari a gestire la fase post-consumo e pre-consumo. Il modello di economia circolare a cui tende l'azienda R.ed.el, interessa e coinvolge un sistema di attori, che in ottica di condivisione mettono a disposizione dei Partners del progetto a vario titolo conoscenze, competitività e know-how per accrescere i significati e le competenze del progetto. [3]



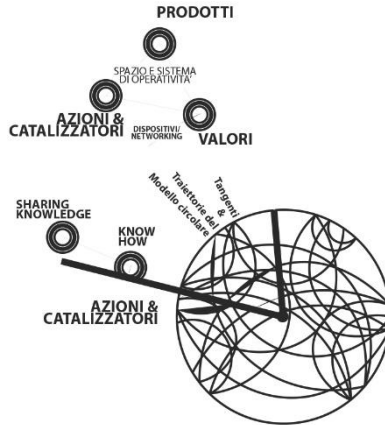


Fig. 1 – Legenda PVC UPCycling Impact Map (C. Nava - D. Lucanto 2019)

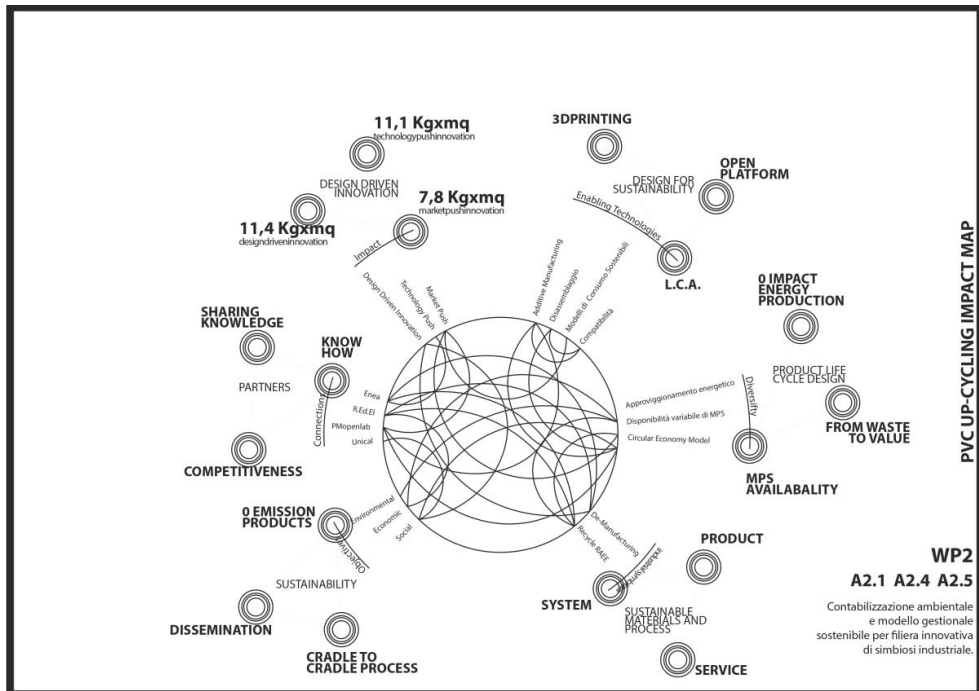


Fig. 2 – PVC PVC UPCycling Impact Map (C. Nava - D. Lucanto 2019)

### 2.1.2 PVC UPCycling Innovative Product Chain

Sui temi della “catena di valore”, come risorsa materiale e immateriale, si realizzano i modelli di filiera innovativa di simbiosi industriale sugli scenari PVC- MPS e la Piattaforma Collaborativa per i prodotti di ecodesign “open source”.

La costruzione di un modello di filiera innovativo in ottica circolare permette di descrivere a pieno le uscite e le condizioni che scaturiscono in tutto il processo di produzione del materiale-carica MPS dalla fase di de-manufacturing a quella di re-manufacturing. (Figura 3 - PVC UPCycling Innovative (Product Chain). I modelli circolari attivati dalla nuova filiera innovativa PVC-MPS in questo senso attivano la fase sperimentale, anche attraverso la realizzazione degli scenari di sperimentazione illustrati, restituiti in forma collaborativa, grazie alla costruzione di un impianto di tecnologie abilitanti digitali restituite in una piattaforma aperta (Open Platform).

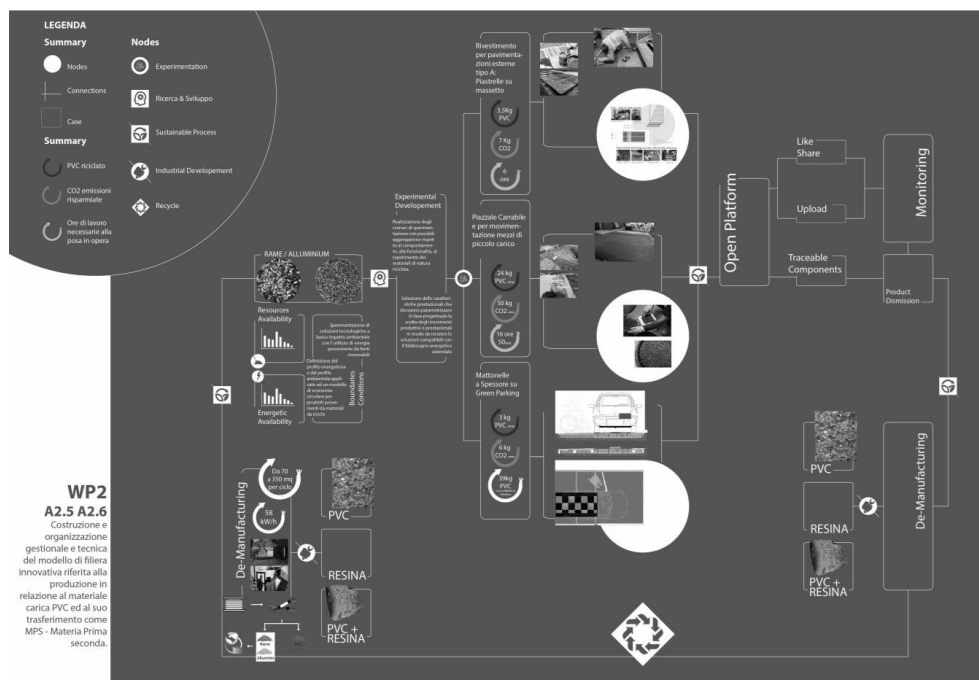


Fig. 3 – PVC UPCycling Innovative Product Chain (C. Nava - D. Lucanto 2019)

La costruzione di una piattaforma collaborativa permette a più livelli la condivisione e lo scambio di informazioni, conoscenze e buone pratiche sostenibili. Essa intercetta la fase dell’eco-design trasferendo la possibilità di intervenire sulla produzione di prototipi PVC-Upcycling. “Nel passaggio da una LE (Linear Economy) ad una CIE (Circular Industrial Economy) diventeranno sempre più importanti le modalità innovative per raggiungere i proprietari degli oggetti.” [3]

Tale piattaforma indaga inoltre tutta la contabilizzazione degli impatti in rapporto alle quantità di PVC MPS utilizzato, dimensionando quindi le attività in grado di innescare la produzione con l’obiettivo “rifiuti zero”, modello a cui tende l’azienda.

Altro livello di informazione fornito è quello riferibile al settore con cui si può attuare la simbiosi industriale e nel caso della sperimentazione attuata, con il settore dell’edilizia sostenibile e della produzione di sistemi a basso impatto ambientale con buone prestazioni in fase di uso.

### 2.1.3 PVC UPCycling Circular Process Map

Il progetto PVC Upcycling si pone come obiettivo il consolidamento di una serie di pratiche (know-how) per lo sviluppo di prodotti che riescano a rispondere a i requisiti di sostenibilità ambientale, secondo le norme di valutazione di impatto ambientale LCA, applicate al trattamento di specifiche tipologie di rifiuto, nei processi progettuali di prodotti, servizi e sistemi applicate ad un modello gestionale sostenibile di fiera circolare per il trattamento di MPS ricavata da PVC riciclato da rifiuti di tipo RAEE. (Figura 4 - PVC UpCycling Circular Process Map)

Si realizza così quella “Simbiosi Industriale”[4], ovvero quella cooperazione settoriale che permette di reintrodurre, come MPS (materia prima seconda), nel ciclo di produzione i rifiuti e i loro sottoprodotti, interferendo su altri processi e catene di valore

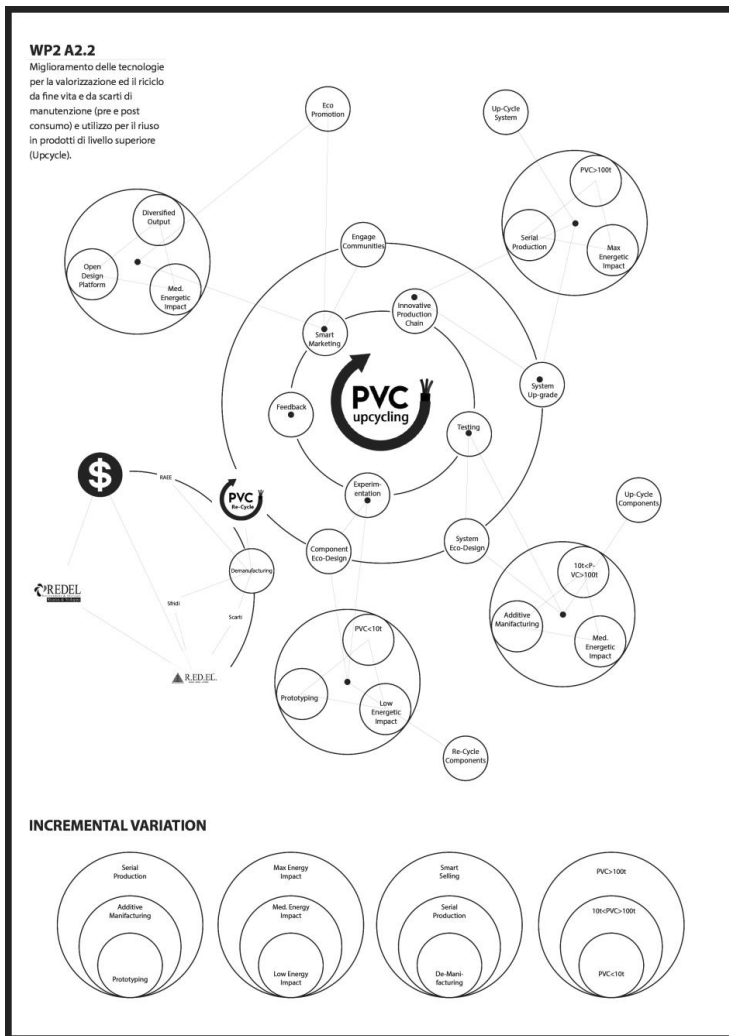


Fig. 4 – PVC UpCycling Circular Process Map

Un tipo di approccio che si interfaccia con la prospettiva L.C.A. è necessario a definire le caratteristiche degli strumenti di cui in ambito industriale ci si deve servire per sviluppare un sistema di soluzioni innovative che possano valorizzare le lavorazioni riferite al materiale carica PVC ed al suo trasferimento come MPS in un'ottica di sostenibilità, coerentemente ai concetti di Industria 4.0 ed EcoDesign, implementandone il valore sia in termini di capitale umano e produttivo sia in termini di efficacia. Prioritario diviene dichiarare la funzione di sistema che nel caso di PVC UpCycling riguarda la capacità di adattare il ciclo di produzione e modificarlo secondo due parametri che riguardano l'approvvigionamento energetico e la disponibilità di MPS. [5]

L'unità funzionale fa riferimento alle variabili che considerano il funzionamento del sistema, nel quale si deve tener conto del rischio per cui incentivando la produzione di materiali basso emissivi derivati da materiali di scarto, possono favorire delle politiche di consumo "usa e getta" che in ogni caso sono incoerenti con gli obiettivi di sostenibilità globale prefissati dall'Agenda SDGs 2030.

### 3. Conclusioni

Costruire dei modelli grafici ha permesso, nel caso di PVC UpCycling, di rendere accessibili l'impianto teorico necessario alla progettazione di un modello sostenibile di sperimentazione di tale complessità. L'utilizzo dei concetti di Open Platform e Design Collaborativo per una gestione sostenibile dei processi di UpCycling permette, oltre alla scalabilità dei concetti, di restituire in forma grafica quelli che vengono definiti i tre momenti dell'Eco-Design [6]:

#### -INDIVIDUAZIONE DI MATERIALI E PROCESSI A BASSO IMPATTO

Nel caso di PVC UpCycling si opera con un materiale di scarto, riciclato con un de-manufacturing a impatto ambientale vicino allo zero (nearby 0 impact). Nel ciclo di produzione si riesce a proporre un modello sostenibile per il riciclo e il riuso di materiali derivanti da componenti RAEE, i quali sono attualmente i rifiuti con la più rapida crescita nei paesi della Comunità Europea.

#### -PROGETTAZIONE DEL CICLO DI VITA DEI PRODOTTI

Convertire il ciclo di produzione dell'azienda da un sistema lineare tradizionale ad un modello circolare permette di abbandonare il vecchio processo basato su un modello di consumo "take, make, use, dispose" realizzando un UpCycling di prodotto-sistema, riuscendo nell'ibridazione con l'additive manufacturing a declinare i paradigmi dell'industria 4.0 secondo uno schema circolare, quest'ultimo necessario per realizzare un insieme di sistemi tecnici che soddisfino le caratteristiche di compatibilità dei vari materiali che facilitano il de-manufacturing qualificando i processi di Eco-Design.

#### -DESIGN PER LA SOSTENIBILITÀ

Iniziare a progettare secondo le norme di compatibilità ai fini del riciclo UpCycling significa tener conto di un prodotto qualificando l'insieme delle sue componenti in modo da facilitare il disassemblaggio dei vari materiali.

### Bibliografia

- [1] **Bonomi A. - Della Pappa F. - Masiero R.,** *La società Circolare. Fordismo, Capitalismo molecolare, sharing economy; Derive Approdi Editrice, 2016.*
- [2] **Nava C.,** *Ipersostenibilità e Tecnologie abilitanti. Teoria, metodo, progetto., Aracne ed., Roma, 2019*
- [3] **Nava C.,** *Progetto di ricerca POR Calabria 14-20, ASSE I, Azione 1.2.2 Promozione della ricerca e dell'innovazione, Regione Calabria, 2017/18/19 - UpCycling – Economia circolare e Rifiuti zero con l'upcycling degli scarti provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici, [www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com)*
- [4] **Stahl W. R.,** *Economia Circolare per tutti. Concetti base per cittadini politici ed imprese. Edizioni Ambiente, 2019*

- [4] **Ayres R.**, *Industrial Metabolism, in Technology and Environment*, pag. 23-49, Washington D.C., National Academy Press, 1989.
- [5] **Verganti R.**, *Design Driven Innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*, Rizzoli ETAS, 2009.
- [6] **Vezzoli C.**, *Design Multiverso. Design per la sostenibilità ambientale*; Zanichelli 2007

# La gestione dei RAEE in Italia alla luce dell'applicazione del sistema Open scope

Sebastiano Mangiagli [sebastianomangiagli@libero.it](mailto:sebastianomangiagli@libero.it) - Istituto di Istruzione Superiore Einstein-Bachelet, Via Pasquale II n. 237 00168 Roma

## Riassunto

*Negli ultimi anni la gestione e lo smaltimento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) sono diventati una delle principali sfide per le amministrazioni locali e municipali incaricate della raccolta, del recupero, del riciclaggio e dello smaltimento dei rifiuti.*

*Il presente articolo, partendo da un'analisi della normativa, dei principi e degli strumenti definiti a livello italiano in materia di gestione e smaltimento, analizza i risultati conseguiti in termini di raccolta di RAEE.*

*Nello specifico, lo studio si prefigge di operare un raffronto fra i RAEE raccolti in Italia nel 2017, prima dell'applicazione del sistema Open scope, e i risultati conseguiti nel 2018.*

## Summary

*In recent years the management and disposal of waste from electric and electronic equipment (WEEE) have become one of the major challenges for local and municipal administrations responsible for the collection, recovery, recycling and disposal of waste.*

*This article, based on an analysis of legislation, principles and instruments defined at Italian level in the management and disposal, analyzes the results achieved in terms of WEEE collection.*

*Specifically, the study aims to operate a comparison between the WEEE collected in Italy in 2017, before the entry into force of the Open scope system and the results achieved in 2018.*

## 1. Introduzione

La produzione di rifiuti ha assunto negli ultimi anni dimensioni sempre maggiori principalmente per il miglioramento delle condizioni di vita della popolazione e per la conseguente crescita dei consumi. Ciò vale altresì in riferimento alla produzione di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (AEE), uno dei settori manifatturieri che registra la crescita più rapida [1, 2, 3], nel quale l'innovazione tecnologica e l'espansione del mercato continuano ad accelerare il processo di sostituzione e il numero di nuove applicazioni [4, 5]. Ne deriva che la gestione delle stesse apparecchiature alla fine del loro ciclo di vita, quando cioè si trasformano in Rifiuto da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE), risulta alquanto complessa [6]. È così emersa la necessità di una legislazione europea armonizzata inerente questi flussi di rifiuti, al fine di superare alcune difficoltà sorte in seguito all'attuazione di politiche nazionali diversificate sulla gestione dei RAEE. Il 24 luglio 2012 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea la direttiva 2012/19/UE approvata dal Parlamento e dal Consiglio di Bruxelles per imporre nuovi vincoli normativi sulla raccolta dei RAEE, abrogando la precedente direttiva 2002/96/CE [7]. La nuova direttiva, il cui recepimento da parte dell'Italia è avvenuto attraverso il Decreto Legislativo n. 49 del 14 marzo 2014, ha introdotto il ritiro "uno contro zero" per i rifiuti elettronici, in base a cui i grandi distributori devono provvedere al ritiro gratuito degli apparecchi anche in assenza di un prodotto nuovo equivalente.

Lo stesso decreto ha stabilito che fino al 15 agosto 2018 l'obbligo vale per i rifiuti elettronici di piccole dimensioni; a partire da tale data l'obbligo è stato esteso anche agli apparecchi di grandi dimensioni, ovvero l'ambito di applicazione del decreto è diventato aperto, Open scope appunto [8].

Alla luce delle sopra esposte considerazioni, la presente ricerca si prefigge di analizzare i risultati raggiunti dal sistema italiano di gestione dei RAEE successivamente all'entrata in vigore del sistema Open scope; a tal fine, si opererà un raffronto fra quanto raccolto nel 2017, anno precedente all'entrata in vigore del decreto, e i risultati conseguiti nel 2018.

## 2. Relazione

### 2.1 Le novità introdotte dal sistema Open scope

In Italia, il sistema di gestione dei RAEE ha preso avvio dalla pubblicazione del Decreto Legislativo 25 luglio 2005 n. 151, anche se l'effettiva attuazione è avvenuta alla fine del 2007 in seguito all'emanazione di alcuni dei quattordici decreti ministeriali previsti. Fra questi, il più significativo è stato il Decreto Ministeriale 25 settembre 2007 n. 185 che, oltre ad istituire il Centro di Coordinamento RAEE e, contestualmente, definire il Registro Nazionale dei Produttori di AEE e il Comitato di Indirizzo sulla gestione dei RAEE, ha individuato i seguenti raggruppamenti di RAEE [9]: Raggruppamento R1: freddo e clima (frigoriferi, congelatori, condizionatori e scaldacqua); Raggruppamento R2: grandi bianchi (lavatrici, lavastoviglie, forni, piani cottura, cappe); Raggruppamento R3: tv e monitor; Raggruppamento R4: piccoli elettrodomestici, elettronica di consumo, apparecchi di illuminazione e altro; Raggruppamento R5: sorgenti luminose.

Alla data del 31 dicembre 2018, i Sistemi Collettivi attivi in Italia nel settore dei RAEE domestici sono 15, alcuni dei quali sono specializzati su singoli raggruppamenti, mentre altri si occupano di gestire più categorie di prodotto (Sistemi Collettivi Multifiliera). Il tutto è sintetizzabile nella tabella 1 successiva.

Sistema Collettivo	Sede legale	Raggruppamento				
		R1	R2	R3	R4	R5
APIRAEE	Torino					
COBAT RAEE	Roma					
CONSORZIO ERP ITALIA	Cassina De' Pecchi (MI)					
CONSORZIO RLG	Torino					
ECODOM	Lainate (MI)					
ECOELIT	Milano					
ECOEM	Pontecagnano Faiano (SA)					
ECOLAMP	Milano					
ECOLIGHT	Milano					
ECOPED	Milano					
ECORIT	Milano					
ESA GESTIONE R.A.E.E.	Bagno a Ripoli (FI)					
PV CYCLE ITALIA CONSORZIO	Milano					
REMEDIA	Milano					
RIDOMUS	Milano					

**Tab. 1** – I Sistemi Collettivi attivi in Italia al 31 dicembre 2018

Fonte: ns. elaborazione da [10]



A partire dal 15 agosto 2018 è entrato in vigore il sistema Open scope del D. lgs. 49/2014, che estende l'ambito di applicazione della normativa RAEE ad un numero più ampio di prodotti, secondo quanto previsto dalla direttiva 2012/19/UE sui rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Il sistema aperto non comporta nessuna modifica sostanziale al Decreto RAEE, ma ne allarga l'applicazione a tutte quelle apparecchiature che fino al 15 agosto 2018 non erano esplicitamente citate ma neanche esplicitamente escluse. Nello specifico, la novità è rappresentata dal passaggio dalle dieci categorie dell'Allegato 1 della direttiva RAEE alle sei nuove categorie dell'Allegato III della nuova Direttiva, con la previsione di due categorie aperte relative alle apparecchiature di grandi e piccole dimensioni [11]. Conseguentemente, se in passato in virtù dell'elenco in Allegato I non sempre era possibile distinguere tra grandi e piccoli elettrodomestici, sino ai distributori automatici, dal 15 agosto, con il nuovo allegato III, restano le tre categorie di AEE individuate per tipologia di prodotti ma se ne aggiungono altre tre che invece si riferiscono a:

- apparecchiature di grandi dimensioni (con almeno una dimensione esterna superiore a 50 cm);
- apparecchiature di piccole dimensioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm);
- piccole apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm).

Le novità consistono quindi esclusivamente in una diversa ripartizione delle categorie di AEE, con l'inserimento di classi aperte all'interno delle quali potrebbero confluire dei prodotti che fino al 15 agosto 2018 ne venivano esclusi.

Nel caso in cui un produttore non riusciva ad inquadrare un proprio prodotto in nessuna delle dieci categorie di cui all'allegato I, pur avendo tutte le caratteristiche rintracciabili nella definizione di AEE, semplicemente non lo considerava nel campo di applicazione del D. lgs. 49/2014. Di contro, a partire dal 15 agosto 2018 qualsiasi apparecchiatura AEE è ascrivibile a una delle tre categorie aperte, che prevedono soltanto parametri dimensionali.

In ultima analisi, si rileva come obiettivo del nuovo sistema Open scope consista nell'aumento delle quantità di AEE immesse sul mercato e delle quantità di RAEE raccolti. Alla luce di ciò, nel paragrafo che segue, verrà svolta una comparazione fra i risultati ottenuti prima dell'applicazione del nuovo sistema e quelli conseguiti a partire dall'anno 2018.

## *2.2 La raccolta dei RAEE in Italia nel 2018*

In relazione ai risultati ottenuti dall'Italia in termini di raccolta dei RAEE, va segnalato come il 2018 sia stato un anno in crescita rispetto agli esiti ottenuti nel 2017, anno precedente all'entrata in vigore del sistema Open scope. Nel 2018, infatti, sono stati raccolti complessivamente 310.610 tonnellate di RAEE sull'intero territorio nazionale con un aumento del 4,84% rispetto alle 296.274 tonnellate raccolte dai Sistemi Collettivi nel 2017 [12].

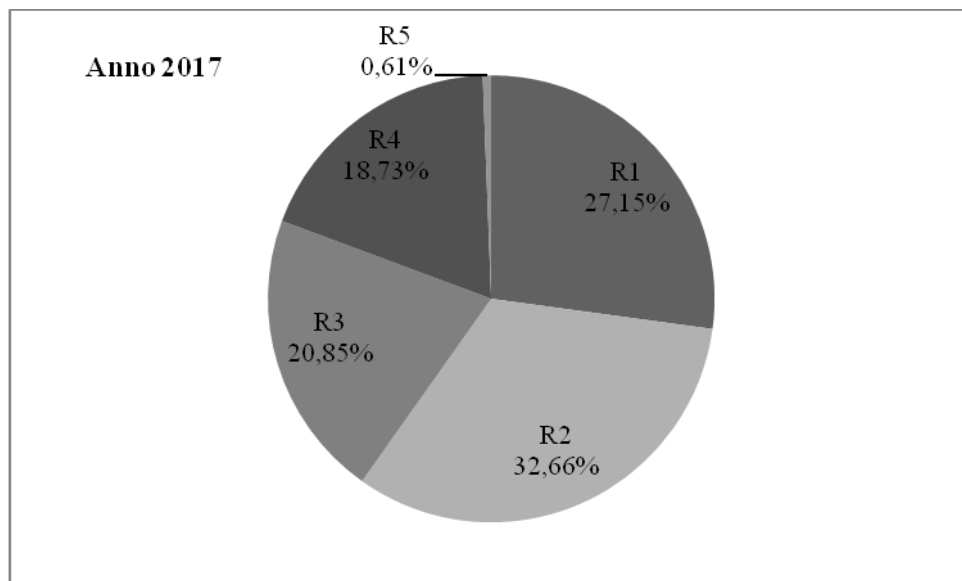
Questi risultati evidenziano i segnali di ripresa dalla crisi economica che negli scorsi anni aveva inciso negativamente sul mercato delle Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche; inoltre, possono essere interpretati come la conseguenza di una costante diffusione della cultura della raccolta dei RAEE. Anche il valore della media di raccolta pro-capite pari a 5,14 kg per abitante è superiore al corrispondente dato del 2017 (4,89 kg per abitante [12]).

Analizzando i dati relativi alla raccolta dei RAEE suddivisi per raggruppamento, dalla tabella 2 e dalle figure 1 e 2 si evince come nel 2018 si siano ottenuti dei miglioramenti rispetto al 2017 per tutti i raggruppamenti, fatta eccezione per il Raggruppamento 3 (Tv e Monitor), il quale ha subito una riduzione da 61.773 a 59.784 tonnellate, dato comunque in linea con l'andamento di questo settore negli ultimi anni. Resta infine da notare che per il raggruppamento R5, le sorgenti luminose, le quantità raccolte sono molto ridotte, ancorché leggermente in aumento rispetto all'anno 2017 (+162), a causa dello scarso peso di questi prodotti.

Raggruppamento	Totale Anno 2017		Totale Anno 2018	
	Val. ass. (Ton)	Val. rel.	Val. ass. (Ton)	Val. rel.
R1	80.448	27,15%	84.125	27,08%
R2	96.773	32,66%	101.755	32,76%
R3	61.773	20,85%	59.784	19,25%
R4	55.481	18,73%	62.985	20,28%
R5	1.799	0,61%	1.961	0,63%
<b>Totale Italia</b>	<b>296.274</b>	<b>100,00%</b>	<b>310.610</b>	<b>100,00%</b>
<b>Kg per abitante</b>	<b>4,89</b>		<b>5,14</b>	

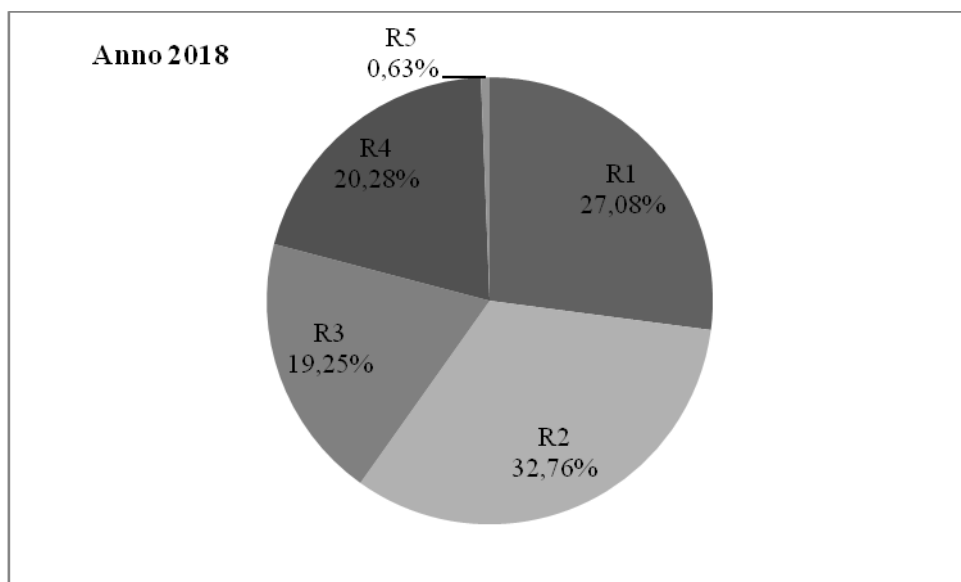
**Tab. 2** – La raccolta dei RAEE in Italia negli anni 2017-2018 (dati suddivisi per raggruppamento)

Fonte: ns. elaborazione da [10]



**Fig. 1** – La raccolta dei RAEE in Italia nell'anno 2017 (dati suddivisi per raggruppamento)

Fonte: ns. elaborazione da [12]



**Fig. 2 –** La raccolta dei RAEE in Italia nell'anno 2018 (dati suddivisi per raggruppamento)

Fonte: ns. elaborazione da [10]

### 3. Conclusioni

Lo studio condotto nel presente contributo ha messo in rilievo come il sistema italiano di gestione multi-consortile dei RAEE derivante dall'entrata in vigore dal 15 agosto 2018 del sistema Open scope abbia raggiunto dei buoni risultati in considerazione dell'aumento dei RAEE raccolti in Italia fra il 2017 e il 2018.

Non va però trascurata la circostanza per cui l'attuale impianto normativo, pur avendo disciplinato le tematiche della sicurezza ambientale e della promozione del recupero dei RAEE finalizzato al relativo reimpiego e riciclaggio, non si è adeguatamente soffermato su un aspetto che si ritiene avrebbe meritato un'attenzione maggiore: quello legato alla prevenzione dell'aumento della produzione di RAEE, nella cui direzione dovrebbero agire, in un prossimo futuro, sia gli indirizzi normativi che le scelte progettuali. Infatti, è possibile costruire AEE riducendo l'impiego di risorse mediante il riutilizzo tanto di materiali riciclati quanto di componenti recuperabili. Fondamentale è altresì il ricorso a manufatti realizzati, ove possibile, con un solo materiale, nonché l'adozione delle tecniche della modularità e dell'intercambiabilità dei componenti comuni allo scopo di facilitare lo smontaggio, la riparazione, il riutilizzo ed il recupero degli stessi.

In conclusione, dunque, si ritiene che la gestione della prevenzione in questo particolare comparto produttivo debba costituire un obiettivo prioritario per le aziende di produzione di AEE, essendo essa fondamentale ai fini non solo della tutela dell'ambiente, ma anche della salute e della sicurezza degli stessi lavoratori addetti al trattamento dei RAEE.

### Bibliografia

- [1] Tsai W.-H., Hung S.-J., "Treatment and recycling system optimisation with activity-based costing in WEEE reverse logistics management: an environmental supply chain perspective", in *International Journal of Production Research*, vol. 47, n. 19, 2009, pp. 5391-5420;
- [2] Agarwal G., Barari S., Tiwari M.K., "A PSO-based optimum consumer incentive policy for WEEE

- incorporating reliability of components”, in *International Journal of Production Research*, vol. 50, n. 16, 2012, pp. 4372-4380;
- [3] **A. Falbo, L. Biganzoli, F. Forte, L. Rigamonti, M. Grosso**, “Il sistema di gestione dei RAEE in Lombardia. Parte I: bilancio di materia”, in *Ingegneria dell’Ambiente*, vol. 2, n. 2, 2015, pp. 17-28;
- [4] **Hirschier R., Wäger P., Gauglhofer J.**, “Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)”, in *Environmental Impact Assessment Review*, n. 24, 2005, pp. 525-539;
- [5] **Fraige F.Y., Al-khatib L.A., Alnawafleh H.M., Dweirj M.K., Langston P.A.**, “Waste electric and electronic equipment in Jordan: willingness and generation rates”, in *Journal of Environmental Planning & Management*, vol. 55, n. 2, 2012, pp. 161-175;
- [6] **Gupta V., Abidi N., Bansal T., Kumar Jain R.**, “Green Supply Chain Management Initiatives by IT Companies in India”, in *IUP Journal of Operations Management*, vol. 12, n. 2, 2013, pp. 6-24;
- [7] **Che Z.H.**, “Using fuzzy analytic hierarchy process and particle swarm optimization for balanced and defective supply chain problems considering WEEE/RoHS directives”, in *International Journal of Production Research*, vol. 48, n. 11, 2010, pp. 3355-3381;
- [8] **Angelelli V.**, “Rifiuti elettronici – Ecco le nuove regole dall’Europa”, in *Ambiente & sicurezza sul lavoro*, n. 10, 2012, pp. 65-70;
- [9] **M. Favot, R. Veit, A. Massarutto**, “The evolution of the Italian EPR system for the management of household Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Technical and economic performance in the spotlight”, in *Waste Management*, vol. 56, 2016, pp. 431-437;
- [10] Centro di Coordinamento RAEE, *Rapporto annuale 2018 – Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia*, 2019;
- [11] **J. Ylä-Mella, E. Romàn**, “Waste electrical and electronic equipment management in Europe: Learning from best practices in Switzerland, Norway, Sweden and Denmark”, in **V. Goodship, A. Stevels, J. Huisman** (Eds.), *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook*, Elsevier, 2019, pp. 483-519;
- [12] Centro di Coordinamento RAEE, *Rapporto annuale 2017 – Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia*, 2018.

# Progetto “Città Compatta” | Un modello applicato di gestione dei rifiuti innovativo, flessibile e tracciabile per l’Area ad alta densità del Comune di Perugia

*Massimo Pera, [m.pera@gesenu.it](mailto:m.pera@gesenu.it), Gesenu srl, Perugia  
Marco Bagnini, [m.bagnini@gesenu.it](mailto:m.bagnini@gesenu.it), Gsa srl, Perugia*

## **Riassunto**

*Il Progetto Città Compatta applicato da Gest srl (Gruppo Gesenu spa) nell’area ad alta densità abitativa del Comune di Perugia nasce da un’idea progettuale di adottare modelli evoluti di raccolta differenziata domiciliare in contesti urbanisticamente complessi. L’obiettivo della progettazione è stato quello di garantire un servizio di raccolta rifiuti domiciliare e tracciabile, in grado di migliorare la quantità e la qualità dei rifiuti raccolti, ottemperando alle direttive di settore emanate dall’Unione Europea, dallo Stato Italiano e dalla Regione Umbria. Elementi innovativi e sostanziali del progetto sono stati quelli di garantire all’utenza la possibilità di conferire i rifiuti con estrema flessibilità ed allo stesso tempo di assicurare la piena tracciabilità dei conferimenti nell’ottica della tariffa “puntuale” sui rifiuti.*

## **Summary**

*The Project “Città Compatta” applied by Gest srl (Gesenu spa Group) in the high population density area of Perugia was born from a project idea to adopt advanced models of household waste separation in complex urbanistic contexts. The aim of the design was to provide a waste collection service home and traceable, able to improve the quantity and quality of the waste collected, complying with the sector directives issued by the European Union, the Italian Government and the Umbria Region. Innovative and substantive elements of the project were to assure the users the opportunity to deliver its waste with extreme flexibility and at the same time to ensure the full traceability of contributions in view of the “Pay as you throw”.*

## **1. Introduzione**

Il Modello di raccolta “Città Compatta”, adottato nell’area ad alta densità abitativa di Perugia, è stato approvato il 24 Gennaio 2018 con Delibera di Giunta Comunale del Comune di Perugia n° 18. È stato redatto dopo un’attenta analisi delle criticità strutturali sia in termini qualitativi che quantitativi riscontrate nel precedente servizio di raccolta rifiuti che prevedeva un modello di raccolta stradale, di seguito descritte:

- insufficiente percentuale di raccolta differenziata, rispetto agli obiettivi previsti dalla pianificazione Regionale (DGR 34/2016). Il dato percentuale riscontrato nell’area in oggetto al 31 Dicembre 2017 era pari al 35,53% di raccolta differenziata;

- scarsa qualità delle frazioni raccolte con particolare riguardo per la frazione organica (% MNC materiale non compostabile superiore al 15%);
- inadeguatezza del sistema di raccolta per alcune tipologie di utenze non domestiche;
- scarsa responsabilizzazione dei cittadini nell'effettuare correttamente la raccolta differenziata;
- mancanza di tracciabilità dei conferimenti che non permetteva neppure una corretta attività di vigilanza ed attività sanzionatoria;
- inadeguatezza del modello di raccolta nell'applicare la tariffazione puntuale sui rifiuti;
- il modello stradale incentivava il fenomeno di migrazione dei rifiuti, permettendo agli utenti residenti in altre zone del territorio comunale servite da sistemi di raccolta domiciliare di conferire liberamente i propri rifiuti in tali contenitori depotenziando al contempo le performance dello stesso porta a porta.

Pertanto, a partire dall'analisi delle suddette criticità, è stato elaborato il progetto “*Città Compatta*” che ha previsto l'introduzione delle seguenti novità tecnologiche:

- Adeguamento dei codici colore assegnati alle diverse tipologie di rifiuto, alle normative Europee, quali *Colore Grigio* per la raccolta del rifiuto Secco Residuo, *Colore Blu* per la raccolta differenziata di Carta e Cartone, *Colore Giallo* per la raccolta differenziata della frazione Multileggera (plastica e metalli), *Colore Marrone* per la raccolta differenziata della frazione organica e *Colore Verde* per la raccolta differenziata del Vetro Monomateriale;
- Utilizzo di mastelli per la raccolta della frazione organica, del rifiuto secco residuo, di carta e cartone e di plastica e metalli per civici da 1 a 4 nuclei familiari;
- Utilizzo di contenitori condominiali per la raccolta della frazione organica, del rifiuto secco residuo, di carta e cartone e di plastica e metalli per civici a partire da 5 nuclei familiari;
- Adozione di modalità di raccolta differenziata mirate e differenti per macro tipologie di utenze non domestiche, calibrate in base alla reale produzione di rifiuti;
- Attivazione della raccolta differenziata del vetro monomateriale con campane da 2200 lt., limitando la modalità multimateriale solo per le frazioni plastica e metalli, in linea con gli orientamenti normativi;
- Impiego di attrezzature di raccolta (mastelli/contenitori con RFID e lettori RFID installati sugli automezzi) compatibili con sistemi di contabilizzazione degli svuotamenti in grado di consentire l'applicazione di modelli di tariffazione puntuale e di ridurre i fenomeni di evasione fiscale;
- Impiego di serrature gravitazionali su tutti i contenitori installati presso le utenze domestiche aggregate e/o attività commerciali;
- Installazione di n° 10 ecoisole informatizzate per la raccolta del rifiuto secco residuo, frazione organica, carta e multimateriale leggero (plastica e metalli) a supporto del servizio porta a porta;
- Impiego di n° 5 fototrappole ed ulteriori 2 ausiliari di polizia ambientale, come strumento di deterrenza all'abbandono abusivo dei rifiuti.

Le innovazioni introdotte dal sistema di raccolta “*Città Compatta*” hanno consentito di offrire ai cittadini dell'area ad alta densità abitativa un servizio più flessibile e compatibile con le proprie necessità nonché di aumentare la quantità di raccolta differenziata raccolta nell'intero territorio comunale. Gli obiettivi progettuali raggiunti mediante l'attivazione del nuovo servizio di raccolta domiciliare nella “*Città Compatta*” sono stati:

- Riduzione della produzione dei rifiuti urbani (art.179 e ss.mm.ii del D.lgs. 152/06) e riduzione del fenomeno della cosiddetta migrazione dei rifiuti;
- Miglioramento della quantità e qualità della raccolta differenziata relativa all'intero Comune di Perugia;

- Incremento degli indici di recupero agli impianti di destinazione;
- Agevole separazione dei rifiuti all'interno delle abitazioni;
- Maggiore flessibilità del sistema di raccolta;
- Tracciabilità dei conferimenti e applicazione potenziale del sistema di tariffazione puntuale;
- Maggiori controlli sui conferimenti;
- Riduzione dell'evasione TARI dovuta all'impiego di strumenti informatizzati di controllo.

## 2. Relazione

### 2.1 Analisi del territorio oggetto di intervento



Fig. 1 – Planimetria area di interesse progettuale

La zona del Comune di Perugia che è stata oggetto di intervento, denominata “Città Compatta”, interessa un’area di circa 11,48 kmq nella quale risultano residenti 21.735 Utenze Domestiche e 42.753 abitanti. La densità abitativa media è pari a 3.714 ab/kmq e la composizione familiare media è di circa 2 abitanti ad Utente Domestica. Nella stessa area insistono 3.149 Utenze non Domestiche di natura prevalentemente commerciale/servizi. Sull’area insiste una tipologia di viabilità “ibrida”, con la presenza di strade interquartiere e a scorrimento veloce nella zona Sud, strade interquartiere a dimensione ridotta e di quartiere nella zona a Nord dove, a ridosso delle mura del centro storico, insistono strade locali interzonali a dimensione ancora

più ridotta (fig.1). L’analisi delle utenze domestiche e non domestiche è stata condotta sulla base dei dati pervenuti dall’Anagrafe Comunale del Comune di Perugia e sulla base dei dati pervenuti dalla Banca Dati Tari ed integrati da attività tecniche sul campo. Tali dati sono stati rielaborati raggruppando le Utenze Domestiche in 12 classi di appartenenza aventi caratteristiche omogenee e raggruppando le Utenze non Domestiche nelle 31 categorie merceologiche indicate dal Comune di Perugia, ottenendo i prospetti complessivi riportati di seguito (Tabelle 1 e 2).

TIPOLOGIA	N° CIVICI	N° UD	%
Civici con 1 sola utenza	1.119	1.119	5,15
Civici da 2 a 4 Utenze	929	2.527	11,63
Civici da 5 a 10 Utenze	866	6.379	29,35
Civici da 11 a 20 Utenze	542	7.560	34,79
Civici da 21 a 30 Utenze	88	2.129	9,80
Civici da 31 a 35 Utenze	14	456	2,10
Civici da 36 a 45 Utenze	10	381	1,74
Civici da 46 a 50 Utenze	9	428	1,97
Civici da 51 a 60 Utenze	9	478	2,20
Civici da 61 a 90 Utenze	2	149	0,69
Civici da 90 a 130 Utenze	1	129	0,59
<b>TOTALE</b>	<b>3.589</b>	<b>21.735</b>	<b>100</b>

Tab. 1 – Analisi Utenze Domestiche – Fonte anagrafe Comunale



Cat. DPR 158/1999	DESCRIZIONE	N°	%
1	MUSEI,BIBLIOTECHE,ASSOCIAZIONI,LUOGHI DI CULTO	121	3,84%
1b	SCUOLE DI OGNI ORDINE E GRADO	20	0,64%
2	CINEMATOGRAFI E TEATRI	2	0,06%
3	AUTORIMESSE E MAGAZZINI SENZA ALCUNA VENDITA DIRETTA	221	7,02%
4	CAMPEGGI,DISTRIBUTORI CARBURANTE,IMPIANTI SPORTIVI	50	1,59%
5	STABILIMENTI BALNEARI	0	0,00%
6	ESPOSIZIONI,AUTOSALONI	23	0,73%
7	ALBERGHI CON RISTORANTE	9	0,29%
8	ALBERGHI SENZA RISTORANTE	14	0,44%
9	CASE DI CURA E RIPOSO,CASERME,RICOVERI,CARCERI,COLLEGI	12	0,38%
10	OSPEDALI	2	0,06%
11	UFFICI,AGENZIE,STUDI PROFESSIONALI	1371	43,53%
12	BANCHE ED ISTITUTI DI CREDITO	64	2,03%
13	NEGOZI ABBIGLIAMENTO,CALZATURE,LIBRERIA,CARTOLERIE,FERRAMENTA,AL	287	9,11%
14	EDICOLA,FARMACIA,TABACCAIO,PLURILICENZE	86	2,73%
15	NEGOZI PARTICOLARI QUALI FILATELIA,TENDE,TESSUTI,TAPPETI,CAPPELL	77	2,45%
16	BANCHI DI MERCATO BENI DUREVOLI	0	0,00%
17	ATTIVITÀ ARTIGIANALI TIPO BOTTEGHE: PARRUCCHIERE,BARBIERE,ESTETI	181	5,75%
18	ATTIVITÀ ARTIGIANALI TIPO BOTTEGHE: FALEGNAME,IDRAULICO,FABBRIO,E	40	1,27%
19	CARROZZERIA,AUTOFFICINA,ELETTRAUTO	44	1,40%
20	ATTIVITÀ INDUSTRIALI CON CAPANNONI DI PRODUZIONE	1	0,03%
21	ATTIVITÀ ARTIGIANALI DI PRODUZIONE BENI SPECIFICI	146	4,64%
22	RISTORANTI,TRATTORIE,OSTERIE,PIZZERIE,PUB	84	2,67%
23	MENSE,BIRRERIE,AMBURGHERIE	5	0,16%
24	BAR,CAFFÈ_PASTICCERIA	147	4,67%
25	SUPERMERCATO,PANE E PASTA,MACELLERIA,SALUMI E FORMAGGI,GENERI AL	80	2,54%
26	PLURILICENZE ALIMENTARI E/O MISTE	13	0,41%
27	ORTOFRUTTA,PESCHERIE,FIORI E PIANTE, PIZZA AL TAGLIO	43	1,37%
28	IPERMERCATI DI GENERI MISTI	5	0,16%
29	BANCHI DI MERCATO GENERE ALIMENTARI	0	0,00%
30	DISCOTECHE,NIGHT CLUB	1	0,03%
<b>TOTALE</b>		<b>3.149</b>	<b>100,00%</b>

Tab. 2 – Analisi Utenze non Domestiche – Fonte Ufficio TARI

## 2.2 Servizio di raccolta Domiciliare Utenze Domestiche – Civici da 1 a 4 nuclei familiari (Utenze singole)

Il nuovo servizio ha previsto il passaggio da un sistema di raccolta stradale a una raccolta domiciliare porta a porta. A ogni utenza singola è stato consegnato un kit di contenitori per la raccolta differenziata. Tutti i contenitori consegnati sono dotati di un microchip, che associa inequivocabilmente gli stessi all'utenza. Questa tecnologia è propedeutica all'implementazione della tariffa puntuale sui rifiuti. Il rifiuto Secco Residuo, la Carta e il Multimateriale leggero vengono ritirati 1 v/ sett., mentre la frazione organica viene ritirata 2 vv./ sett.. Il vetro monomateriale viene raccolto attraverso le apposite campane stradali (è stato installato un numero di campane sufficiente a garantire il fabbisogno quantitativo di 1 campana ogni 200 abitanti e una distanza massima di conferimento pari a circa 150 metri).

 <b>UTENZE SINGOLE</b> (da 1 a 4 nuclei familiari)	
PLASTICA E METALLI	 <b>Kit di Sacchi Gialli</b> ad uso esclusivo della singola Utenza
CARTA E CARTONE	 <b>Mastello Blu</b> ad uso esclusivo della singola Utenza
UMIDO	 <b>Mastello Marrone</b> ad uso esclusivo della singola Utenza
SECCO RESIDUO	 <b>Mastello Grigio</b> ad uso esclusivo della singola Utenza
VETRO	 <b>Campana Stradale Verde</b> Il vetro andrà conferito nelle apposite campane stradali, di conseguenza non verrà consegnato nessun contenitore condominiale dedicato a questo rifiuto.

## – Civici da 5 nuclei familiari a salire (Utenze Condominiali aggregate)

Il nuovo servizio ha previsto il passaggio da un sistema di raccolta stradale a una raccolta domiciliare porta a porta. A ogni condominio sono stati consegnati dei contenitori carrellati, il cui volume e numero varia in base alle unità abitative. I contenitori assegnati sono stati muniti di serratura e ogni nucleo familiare ha a disposizione le chiavi dei contenitori riservati al proprio condominio. Tutti i contenitori sono dotati di un microchip, che associa inequivocabilmente gli stessi all'utenza condominiale. Questa tecnologia è propedeutica all'implementazione di una futura tariffa puntuale sui rifiuti. Il vetro monomateriale viene raccolto attraverso le apposite campane stradali (è stato installato un numero di campane sufficiente a garantire il fabbisogno quantitativo di 1 campana ogni 200 abitanti ed una distanza massima di conferimento pari a circa 150 metri).

 <b>UTENZE CONDOMINIALI</b> (a partire da 5 nuclei familiari)	
PLASTICA E METALLI	 <b>Contentore Carrellato* Giallo</b> ad uso esclusivo delle Utenze residenti nel condominio
CARTA E CARTONE	 <b>Contentore Carrellato* Blu</b> ad uso esclusivo delle Utenze residenti nel condominio
UMIDO	 <b>Contentore Carrellato* Marrone</b> ad uso esclusivo delle Utenze residenti nel condominio
SECCO RESIDUO	 <b>Contentore Carrellato* Grigio</b> ad uso esclusivo delle Utenze residenti nel condominio
<small>* Il numero ed il volume dei contenitori assegnati varieranno in base alle unità abitative da servire.</small>	
VETRO	 <b>Campana Stradale Verde</b> Il vetro andrà conferito nelle apposite campane stradali, di conseguenza non verrà consegnato nessun contenitore condominiale dedicato a questo rifiuto.

Fig. 2 – Kit di raccolta consegnato alle Utenze Domestiche

## 2.2 Servizio per le Utenze non Domestiche

Il Modello di servizio “Città Compatta” ha previsto per le utenze non domestiche una differente modalità di servizio sulla base della categoria merceologica prevista dal DPR 158/99. A tal proposito le varie tipologie di Utenze non Domestiche risultanti da DPR 158/99 sono state raggruppate in 3 macrocategorie aventi caratteristiche affini per il servizio:

- Uffici, agenzie e studi professionali
- Attività Commerciali non alimentari (es. musei, biblioteche, banche, negozi, botteghe, ecc.)
- Commercio alimentare e ristorazione (es. ristoranti, alberghi con ristorante, bar, birrerie, ecc.)

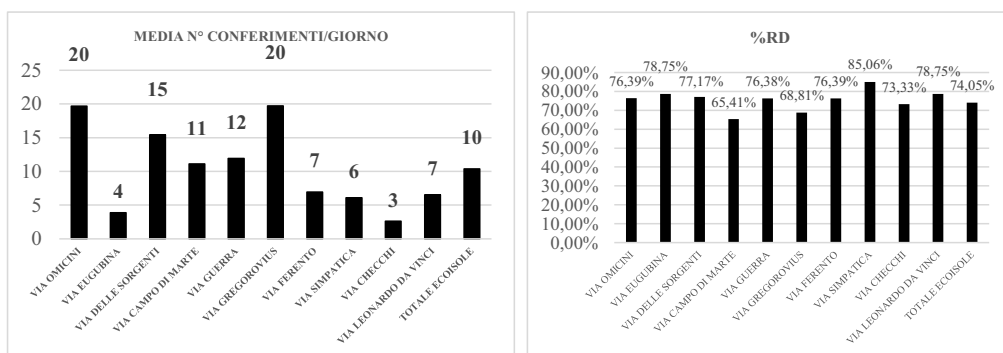
La dotazione delle attrezzature per la raccolta differenziata è congruente con la tipologia dell'utenza da servire e commisurata in numero e volumetria alla categoria merceologica della stessa e alla superficie (mq) da essa occupati. I contenitori sono stati dotati di serratura gravitazionale dedicata per evitare conferimenti abusivi da parte di altri utenti e microchip che coniuga in maniera univoca l'utenza non domestica ai contenitori.

Frazione di rifiuto	Uffici, agenzie e studi professionali	Attività Commerciali non alimentari	Commercio alimentare e ristorazione
SECCO RESIDUO	X	X	X
CARTA	X	X	X
PLASTICA E METALLI	X	X	X
ORGANICO			X
VETRO			X (Solo Grandi Attività)

**Tab. 3** – Elenco delle frazioni raccolte per ogni Macrocategoria Commerciale

### 2.3 Ecoisole informatizzate

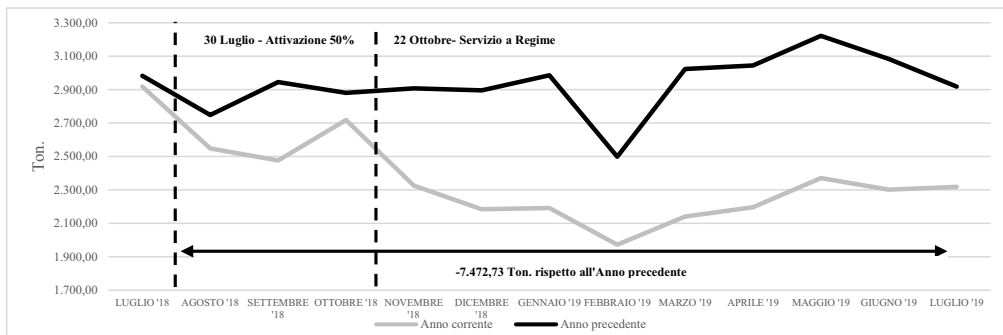
Volendo agevolare il conferimento dei rifiuti da parte dei cittadini a supporto del servizio domiciliare base sono state installate 10 ecoisole informatizzate per il conferimento di secco residuo, plastica/metalli, carta/cartone e frazione organica. Grazie alle ecoisole, i cittadini che si dovessero trovare nella condizione di dover gettare un quantitativo di rifiuti straordinario, possono utilizzare questo servizio, che è sempre attivo, senza vincoli di orario né di giorno. Gli utenti possono utilizzare le ecoisole, identificandosi semplicemente con la tessera sanitaria dell'intestatario della bolletta TA.RI.. Tutti i conferimenti presso le ecoisole sono tracciati e monitorati.



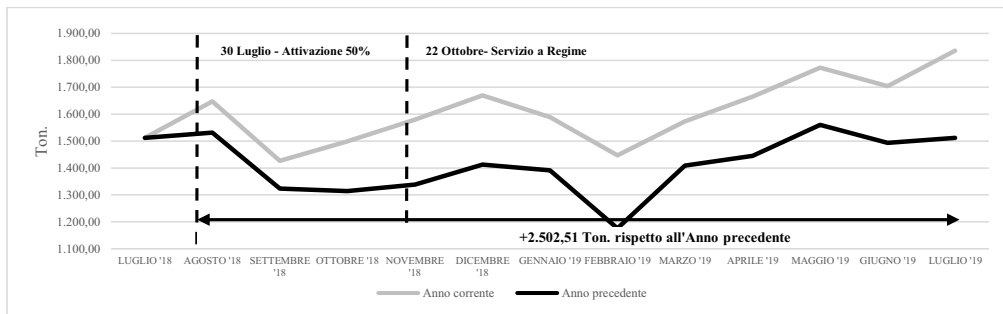
**Tab. 4** – Analisi Performance Conferimenti Ecoisole informatizzate

### 2.5 Risultati ottenuti

I grafici seguenti mettono in correlazione i risultati ottenuti nel Comune di Perugia grazie all'attivazione del progetto "Città Compatta" a partire da Luglio 2018 e le performance registrate nell'anno precedente sia in termini di quantità che qualità della raccolta differenziata, con particolare riferimento alla riduzione del rifiuto secco residuo (fig.3) e all'aumento della frazione organica (fig.4).



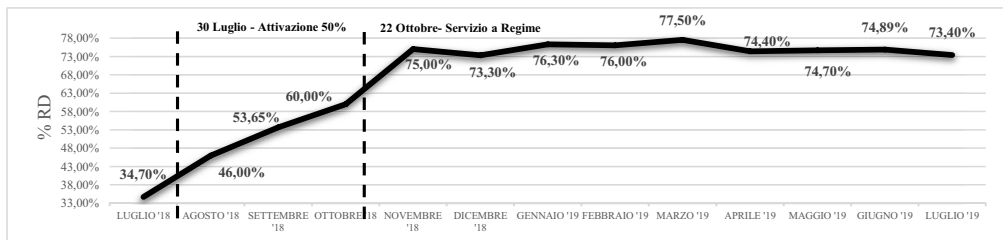
**Fig. 3 – Analisi trend di riduzione rifiuto Secco Residuo Lug '18 – Lug '19**



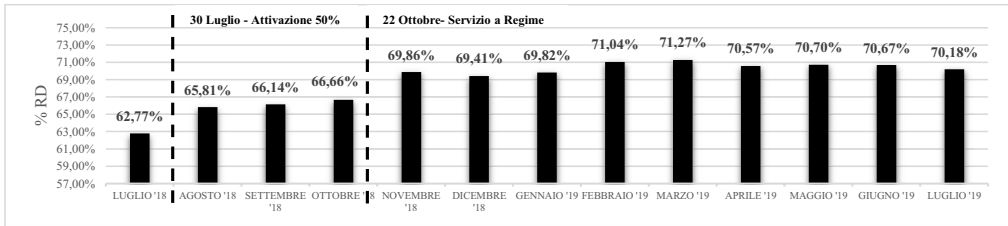
**Fig. 4 – Analisi trend quantitativo rifiuto Organico raccolto Lug '18 – Lug '19**

A seguito dell’attivazione del nuovo servizio di raccolta differenziata “Città Compatta” è stato possibile altresì evidenziare il netto miglioramento della qualità della frazione organica raccolta in forma differenziata nell’area in oggetto, che presenta ad oggi percentuali di Materiale Non Compostabile (MNC) inferiori al 3% rispetto alla percentuale superiore al 15% riscontrata prima dell’attivazione del nuovo servizio.

Di seguito vengono riportati anche i risultati ottenuti in termini di percentuale di raccolta differenziata raggiunta nell’area progettuale e nell’intero territorio comunale da Luglio 2018 a Luglio 2019 (figg. 5 e 6):



**Fig. 5 – Trend % Raccolta differenziata area “Città Compatta” Lug '18 – Lug '19**



**Fig. 6** – % Raccolta differenziata mensile intero Comune di Perugia Lug '18 – Lug '19

### 3. Conclusioni

Il servizio “Città Compatta” non è solo un punto di arrivo. È soprattutto un punto di partenza. La riuscita o meno di un modello di raccolta adottato sul territorio non può più prescindere dalla collaborazione dei cittadini e delle attività commerciali coinvolte. Per permettere ciò è indispensabile progettare sistemi di raccolta differenziata flessibili, puntuali e tagliati su misura per le reali esigenze delle Utenze. Questo è il sistema “Città Compatta”, un modello dinamico e flessibile, in continuo perfezionamento, grazie soprattutto alla partecipazione attiva della cittadinanza che, mediante gli strumenti di comunicazioni messi a disposizione, quali APP per smartphone, numero WhatsApp dedicato e Pagina Ufficiale Facebook, collabora con il Gestore nella cura e pulizia di uno dei Comuni più belli d’Europa.

# Carretta Caretta

*Roberto Pirani roberto.pirani@wormitalia.com, Paolo Garelli, Worm snc, Augusta (SR)*

## **Riassunto**

*Il Piano Carretta Caretta, sistema innovativo di raccolta differenziata finalizzato alla qualità merceologica e alla riduzione della produzione, rappresenta un'alternativa più efficiente e più economica al classico porta a porta, in luoghi complessi a livello urbanistico e ad alta densità abitativa/commerciale.*

*Il progetto prevede precise procedure tecniche e metodologiche in fase di attuazione e monitoraggio, sostenute da una parte tecnologica molto specifica, che permette agli operatori di essere disponibili per le esigenze delle utenze. Gli ordini di servizio rendono efficace e sicuro al 100% di poter raggiungere tutti i cittadini e ogni altro target di non residenti e utenze commerciali che si ritiene coinvolgere.*

## **Summary**

*The Carretta Caretta Plan, an innovative separate waste collection system aimed at product quality and reduced production, represents a more efficient and more economical alternative to the classic door-to-door service, in complex locations with urban planning and high residential / commercial density.*

*The project provides precise technical and methodological procedures in the implementation and monitoring phase, supported by a very specific technological part, which allows operators to be available for the needs of users. Service orders make it 100% effective and safe to be able to reach all citizens and any other target of non-residents and commercial users who are considered to be involved.*

## **1. Introduzione**

Il nuovo sistema di raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani in contesti urbanizzati denominato "Carretta Caretta" (depositato nel registro pubblico Generale delle opere protette parte II al n° A117 in data 13 Dicembre 2006, ai sensi dell'art. 99 della L. 633/1941) alza l'asticella della prevenzione e qualità dei rifiuti in quanto il servizio è costantemente assistito da personale che instaura un rapporto umano con gli utenti, coinvolgendo tutti i cittadini grazie alla comunicazione continua da parte dell'operatore, che permette una correzione degli errori sistemica. Il servizio originale evita la giacenza di mastelli e carrellati su suolo pubblico necessari al sistema porta a porta. I mezzi utilizzati raccolgono due o più frazioni in ogni turno lavorativo (durante la raccolta a motore spento) e ogni giorno in orari predefiniti si posizionano per un numero di ore in spazi pubblici dedicati. La soluzione è indicata in luoghi turistici, città d'arte, centri storici, luoghi di difficile accesso ai civici, isole, contesti limite a livello sociale. Il servizio diviene più comodo e flessibile creando coesione sociale, grazie a postazioni note di incontro ove conferire. Carretta Caretta permette più funzioni in ogni turno (l'operatore svolge anche pulizia della zona limitrofa, abbattendo i costi di spazzamento). Grazie alla piattaforma operativa *fisica e tecnologica* si erogano diversi servizi di interesse pubblico, non solo la raccolta. Il valore economico, sociale, ambientale ha una evidente ricaduta diretta e indiretta sui luoghi. Non si crea intralcio stradale oppure ostacoli a carico e scarico merci, creando al

contempo occasioni di sviluppo nelle comunità (compresi investimenti da parte di privati). Si applicano rilevanti aspetti tecnologici già predisposti e già applicati con tariffa puntuale. Diverse le esperienze in contesti urbani complessi con riduzione dell'energia spesa in carburante e manutenzione dei mezzi (e attrezzature rigide come mastelli e carrellati, non più necessari). Gli operatori vengono formati per fornire assistenza, controllo, consigli ogni giorno in quanto hanno il tempo materiale di dare qualità al servizio e gestire al meglio i luoghi.

## 2. Relazione

Le città hanno necessità di implementare un sistema di raccolta differenziata economicamente vantaggioso, più performante, decoroso e flessibile specie in centri storici e adiacenze.

Il metodo innovativo risulta risolutivo in contesti particolari come centri storici e zone con forte vocazione turistica, commerciale quando ogni altro servizio non funziona e crea problemi insormontabili per mancanza di spazi adeguati (a volte il mezzo non può neppure transitare in determinate strade, vicoli, sensi unici, e meno che mai in scalinate).

Le caratteristiche urbanistiche di un centro storico in cui i mezzi erogano servizi creano molto spesso difficoltà di accesso o di ritiro e rispetto a queste precondizioni la raccolta presidiata risulta sempre economicamente vantaggiosa, non crea ingombro, ha orari flessibili.

Il miglioramento avviene grazie alla possibilità di escludere i cassonetti della raccolta stradale e i mastelli e carrellati della raccolta domiciliare porta a porta con relative criticità ormai note.

[1]

Carretta Caretta è frutto di ricerca originale ed è stato ideato, depositato, sviluppato e applicato in diversi contesti, permettendo di soddisfare molteplici esigenze. La possibilità di incidenti, di vario tipo, si riduce drasticamente. Si evita del tutto la giacenza di mastelli o sacchetti nel cuore delle città (anche di notte) col rischio di vandalismo, randagismo, abbandono scorretto, problemi di immagine, odori sgradevoli. Il metodo risulta anche antiterrorismo, permettendo la totale eliminazione di contenitori incontrollabili, per esempio anche durante eventi che richiamano molti non residenti.

Tramite i cassonetti stradali (anche "ingegnerizzati") è testimoniato da molteplici dati in letteratura che non si ottengono altissimi risultati (si intende minimo 80-85%), e soprattutto la qualità merceologica ottenuta risulta scadente per la mancanza di controllo sui conferimenti.

Il "classico" sistema di porta a porta in centro storico presenta problematiche legate ai costi, alla lentezza operativa per numero di prese orarie per gli operatori, agli orari troppo rigidi da rispettare, a frequenze di passaggi di raccolta non soddisfacenti per contesti di pregio, attraversati ogni giorno da centinaia o migliaia di non residenti per motivi di lavoro, studio, svago, turismo, shopping etc. Contestualmente i servizi più noti sono concausa di congestione stradale e a volte è impossibile trovare posto per il deposito dei contenitori atti alla raccolta differenziata su pertinenze private, dopo il loro svuotamento.

In caso di eventi meteo estremi, il rischio di distruzione di carrellati e mastelli è molto alto (doverli ricomprare e associare a ogni singola utenza è un processo lento e costoso). Carretta Caretta previene problematiche di questo tipo dematerializzando la raccolta da contenitori rigidi.

I Report della ERRA (European Recovery and Recycling Association, oggi ASSURRE, Association for the Sustainable Use and Recovery of Resources in Europe [2]) testimoniano come Carretta Caretta rappresenti una innovazione originale all'interno della EU a partire dal 2006. In precedenza sul mercato erano disponibili solo sistemi a cassonetti stradali e sistema porta a porta e ancora oggi in molti progetti si trova indicato: i metodi di raccolta sono divisi in raccolta stradale ("bring method") e raccolta domiciliare o "porta a porta" ("kerbside method"). La differenza sostanziale del suddetto sistema dagli altri sistemi "tradizionali" di raccolta a cassonetti stradali o porta a porta risiede, in sostanza, nelle modalità applicative rese all'u-



tenza, per usufruire del servizio di raccolta rifiuti differenziati non già in postazioni fisse incontrollate e più o meno diffuse in città, non già a domicilio con servizio di ritiro quotidiano secondo calendari prestabiliti, ma secondo una distribuzione meno continua rispetto al porta a porta e razionalmente congegnata rispetto al servizio a cassonetti stradali, tramite l'istituzione di postazioni e/o fermate a tempo di mezzi di capacità volumetrica adeguata e in luoghi di ottimali rispetto alla distribuzione territoriale della densità di popolazione. [3]

### *2.1 Comparazione con altri metodi di raccolta: aspetti economici*

- I mezzi utilizzati sono gli stessi utilizzati per il sistema porta a porta (non servono “mezzi dedicati”) e quindi non servono rilevanti investimenti specifici.
- Riduzione dell'usura dei mezzi nonché dei consumi lungo percorsi non più caratterizzati da continui stop and go nè da necessità di marcia e retromarcia, ma definiti in punti fissi e prestabiliti (a servizio di aree comprese dalla fermata in un raggio di circa 150 metri secondo le indicazioni della Worm snc).
- Riduzione dei costi di acquisto dei kit di raccolta domiciliare nella parte relativa ai dispositivi da esposizione (mastelli, bidoncini carrellati);
- Garanzia della qualità delle raccolte in particolare per l'organico da cucine e mense con indubbi vantaggi derivanti dalla immediata accettabilità nei pochi impianti di compostaggio;
- Servizio di spazzamento e lavaggio delle aree servite: indicativamente il risparmio strutturale, limitandosi a calcolare l'accorpamento dello spazzamento stradale alla raccolta settimanale nelle aree di influenza di ogni postazione, incide per 22 euro abitante/anno in Italia. Esempio: un centro storico con 10.000 residenti, comporta una riduzione dei costi per oltre 200.000 euro ogni anno, da poter investire per potenziare i servizi pubblici (circuiti dedicati a persone disabili o persone in situazioni di disagio socio/economico).
- Intercettazione di 8-9 frazioni al mese (non solo 5 come avviene con altri sistemi di raccolta).
- Fino a mezzi di 6 metri cubi di carico serve un solo operatore, non due operatori. L'operatore non necessario in centro storico e adiacenze può andare a potenziare i servizi in periferia ove vi è una maggiore intensità di manodopera necessaria col sistema porta a porta.

### *2.2 Comparazione con altri metodi di raccolta: aspetti ambientali*

- Riduzione inquinamento atmosferico e acustico
- Garanzia della qualità delle raccolte
- Comunicazione continua e più efficace, correzione sistemica degli errori di conferimento
- Assenza di impatto odorigeno (frazione organica intercettata in ogni turno, non 3 gg su 7)

### *2.3 Comparazione con altri metodi di raccolta: aspetti sociali*

- Alta flessibilità degli orari e comodità da parte dell'utente di conferire in orari diurni;
- Assenza di impatto estetico
- Favoreggiamento delle pratiche di condivisione sociale e sensibilizzazione molto spinta delle buone pratiche in luoghi di aggregazione tra utenza e istituzioni;
- Forte riduzione del carico di lavoro da parte degli operatori impiegati rispetto al servizio porta a porta, sia nella frequenza dei movimenti che nell'intensità;
- Valorizzazione degli operatori ecologici nella loro funzione sociale e di divulgazione delle buone pratiche più che nella loro veste di forza-lavoro usurante.

### *2.4 Riduzione dei rifiuti e qualità merceologica*

Quando un servizio pubblico funziona al meglio favorendo un alto coinvolgimento della popolazione diventa normalità considerarsene parte: non a caso il metodo Carretta Caretta rappresenta una innovazione innanzitutto sociale. Ci si ritrova ogni giorno per evitare di sporcare, non per pulire in modo episodico (su base volontaria) per ovviare ai difetti dei servizi più noti.

La Piattaforma operativa che si utilizza in modo flessibile è sia tecnologica che fisica e ogni postazione rappresenta anche un luogo di incontro per la popolazione.

Proprio per questo motivo la qualità merceologica che si ottiene è più alta rispetto ai servizi “tradizionali”: la conseguenza di un rapporto umano è sia consigliare di acquistare beni con minori imballaggi, sia di correggere i possibili errori di conferimento. Se nei servizi “tradizionali” gli incontri pubblici avvengono in modo sporadico, tramite Carretta Caretta avvengono ogni giorno. La riduzione dei costi in tariffa avviene per la riduzione della produzione, non si premia chi conferisce più plastica o più lattine (la “premieria” è un concetto in aperto contrasto con la riduzione prevista gerarchicamente dalla norma, come opzione ambientalmente preferibile)

### 2.5 Aspetti tecnologici

Per brevità se ne citano alcuni per punti:

- Altissima facilitazione per applicazione tariffa puntuale in conformità al D.M. 20 aprile 2017 pubblicato in GU n.117 del 22-05-2017.
- Alta flessibilità degli orari e maggiore comodità da parte dell’utente tramite smartphone.
- Palmare android rugged con software dedicato, in dotazione agli addetti operativi.
- Raccolta diretta alle persone sole con difficoltà motorie o in stato di disagio, di concerto ai servizi sociali + circuito dedicato per pannolini/pannoloni.
- Telecamere a presidio 24 ore su 24 (è possibile documentare fotograficamente abbandoni in casi gravi in cui si renda poi necessario pronto intervento, e/o segnalazione sia alle forze dell’ordine che ad agenti accertatori).
- Gestione facile di eventuali gettacarte differenziati alla postazione e di eventuali tubi per mozziconi di sigari/sigarette nella zona di influenza quando il mezzo staziona alla postazione ed è attivo il servizio di raccolta differenziata in alcune ore specifiche.

### 2.6 Un servizio multidisciplinare

Un difetto dei servizi “tradizionali” è tentare di dimensionare orari e frequenza di raccolta in modo settoriale, a volte con poco coinvolgimento della popolazione. Mentre l’opportunità di erogare più servizi nelle 24 ore è resa possibile sia dalle caratteristiche di un centro storico e adiacenze (o luoghi complessi con difficile viabilità di accesso) sia dalle nuove tecnologie, dalla sensoristica, dalla evidenza che ormai quasi tutti i cittadini hanno un cellulare in mano e possono sempre sapere quando, dove e come sono attivi i servizi erogati in postazioni note e ben definite per segnaletica verticale e orizzontale. Ad esempio in orari serali la postazione può fungere da luogo di raccolta (tramite un camion frigo) di cibo privo di valore commerciale, ma utile per essere donato e non diventare rifiuto organico il giorno dopo.

Carretta Caretta è anche occasione di mettere a sistema diverse competenze a soddisfare le esigenze di luoghi spesso complessi, privi di adeguati spazi, e per questo preda di degrado.

Rappresenta anche occasione di ridisegnare spazi pubblici. Il suolo è pubblico, non è privato e come tale va gestito come si evince in questa grafica utile per visualizzare:



La palina intelligente non identifica solo il luogo della piattaforma, ma a livello tecnologico permette all’Ente locale di gestire molteplici servizi su concessione e di pubblico interesse.

## 2.7 Dati in letteratura

Alcune citazioni in letteratura per Carretta Caretta:

- Piano rifiuti della Regione Sicilia (2010) [4]
- Piano d’ambito provinciale della SRR Ragusa (2016) [5]
- Progetti di partenariato europeo (2011)[6]
- Consultazione pubblica on-line sul Documento di inquadramento e posizionamento strategico “Verso un modello di economia circolare per l’Italia”, Ministero dell’Ambiente (2017)[7]
- Documentario che testimonia il positivo, seppur troppo breve, progetto pilota sull’isola di Stromboli (2008) [8]

## 3. Conclusioni

L’impatto del progetto sulla città è di natura sociale, economica e ambientale e va dalla valorizzazione di ogni frazione merceologica raccolta in purezza, alla riqualificazione degli operatori ecologici, al risparmio sulla gestione dei maldefiniti “rifiuti”.

I risultati attesi sono raccolte differenziate ben oltre l’80%, maggiore vivibilità della città, e impatto ambientale, odorigeno, e acustico quasi annullato (i mezzi lavorano prevalentemente di giorno e comunque a motore spento, quindi niente manodopera notturna, niente rumori notturni a meno di esigenze particolari), nessun intralcio stradale o ostacolo al carico e scarico merce, e un decoro urbano senza precedenti per l’assenza di contenitori stradali, ma con presidio continuo del territorio.

L’approccio innovativo volto a considerare la raccolta differenziata non come un servizio a se stante, ma parte di un sistema di servizi multidisciplinari e integrati risulta vantaggioso in termini di applicabilità e di risparmio economico, considerando le possibilità previste (ogni servizio ne completa e integra un altro): palina informativa per le comunicazioni del Comune, gestione degli spazi pubblicitari, gestione negli spazi di sosta per altre attività mentre il servizio di raccolta non è attivo, info-point per servizi pubblici, trasbordo merci in favore dei commercianti in aree ztl e centri commerciali, ricarica mezzi elettrici sia pubblici che privati, etc. Questo metodo di lavoro si rivolge principalmente agli Enti locali orientati al raggiungimento di un’eccellenza organizzativa e gestionale, in particolare ai Comuni con particolari esigenze turistiche e/o geomorfologiche riguardo al settore della raccolta differenziata in miglioramento continuo, anche per potenziamento estivo del servizio. Si rivolge altresì alle aziende nel settore green tech, sistemi hardware e software, smart city, terzo settore, imprese di distribuzione di prodotti a basso impatto ambientale che intendono innovare i loro processi e procedure tramite ottimizzazione di mezzi e personale.

Un centro storico non va solo pulito, deve essere valorizzato.

## Bibliografia

- [1] <http://www.altoadige.it/cronaca/bolzano/salta-la-raccolta-porta-a-porta-in-centro-1.1544124>
- [2] <https://uia.org/s/or/en/1100018639>
- [3] Ing. Francesco Girardi, *Studio tecnico, scientifico e di impatto ambientale: confronto tra 3 modelli di raccolta differenziata dei rifiuti urbani. Carretta Caretta, Eco-stazioni e Raccolta Domiciliare*, 2019
- [4] <https://va.minambiente.it/File/Documento/136269>
- [5] [http://www.srrato7ragusa.it/wp-content/uploads/2014/10/4-all.-1-al-CAP.6-DESCRIZIONE-DEI-SERVIZI\\_CON-T.pdf](http://www.srrato7ragusa.it/wp-content/uploads/2014/10/4-all.-1-al-CAP.6-DESCRIZIONE-DEI-SERVIZI_CON-T.pdf)
- [6] [http://www.dsps.unict.it/sites/default/files/files/green\\_entrepreneurship\\_italy.pdf](http://www.dsps.unict.it/sites/default/files/files/green_entrepreneurship_italy.pdf)
- [7] <http://consultazione-economiacircolare.minambiente.it/sites/default/files/Esperienze.pdf>
- [8] <https://vimeo.com/45354174>
- [9] <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2018>

# Un capitolato per la TARIP

Antonio Sperduti [ing.sperduti@tin.it](mailto:ing.sperduti@tin.it), Studio Tecnico, Sora (FR)

## Riassunto

*Fino ad oggi la diffusione dell'applicazione della Tariffa Puntuale TARIP in Italia è stata merito e vanto quasi esclusivamente di Aziende "Municipalizzate" o "In House".*

*Nel momento in cui la TARIP, in conformità al D.M. 20 aprile 2017 - G.U. n 117 del 22.05.2017, diventerà un'alternativa generalizzata alla TARI, si porrà il problema di applicarla correttamente anche negli appalti di servizio tra un'Amministrazione Pubblica ed un Appaltatore Privato.*

*Finora non erano stati sviluppati appositi Capitolati che stabilissero con chiarezza le attività a carico dell'Amministrazione Pubblica e quelle di competenza dell'Appaltatore Privato; inoltre, gli appalti di questo tipo sono stati finora gestiti A CORPO, ma con l'introduzione delle "misure", che sono una peculiarità della TARIP, questi appalti di servizi dovranno essere gestiti necessariamente con appalti MISTI a corpo e a misura.*

*La gestione a misura delle frazioni monitorate del rifiuto e dello spazzamento meccanizzato si rende indispensabile per accertarsi che il servizio sia effettivamente svolto secondo le disposizioni di contratto, assicurando all'Appaltatore un compenso commisurato alla quantità e qualità del servizio svolto.*

## Summary

*To date, the spread of the application of the TARIP Punctual Rate in Italy has been merit and boast almost exclusively of "Municipalized" or "In House" companies.*

*When TARIP, in accordance with the D.M. 20 April 2017 - G.U. N 117 of 22.05.2017, becomes a generalized alternative to TARI, the problem of applying it correctly will also apply it in service contracts between a Public Administration and a Private contractor.*

*Until now, no special specification had been developed which clearly established the activities of the Public Administration and those of the Private Contractor. Moreover, such contracts have so far been managed AS LUMP SUM, but with the introduction of 'measures', which are a peculiarity of TARIP, these service contracts will necessarily have to be managed both as lump sum contracts and contracts to measure.*

*The management of the monitored fractions of waste and mechanized sweeping is essential to ensure that the service is actually carried out according to the provisions of the contract, ensuring to Contractor a payment related to quantity and quality of service.*

## 1. Introduzione

Ci si chiede spesso perché, a 22 anni dal Decreto Ronchi [1], sono appena 350 circa (fonte ISPRA 2018) su 8.000, i Comuni Italiani che hanno adottato la Tariffa Puntuale (TARIP) anche denominata (TARIC) Tariffa Corrispettiva.

Queste 350 Amministrazioni hanno applicato la Tariffa di propria iniziativa in "autoregolazione spontanea" adottando "regole semplici e di buon senso" oggi avvalorate dal D.M. TARIP del 20.04.2017 [2].

La causa di questo ritardo è un combinato disposto di queste situazioni:

– Non è mai esistito un vero obbligo di applicare la Tariffa e quindi niente penali.

- Mancava fino al DM (20.04.2017) una normativa chiara sul come applicare la Tariffa.
- Solo alcune Regioni hanno direttive chiare sul Modello di Governance, DL 138/2011.
- Ci sono obiettivi ed aspettative divergenti tra: Enti Gestori, Aziende di Servizio, Cittadini.
- Diffusa mancanza negli Enti preposti delle professionalità necessarie per governare i processi organizzativi di tipo 4.0 necessari per gestire la Tariffa Corrispettiva.
- Paura della Politica di rischiare un cambiamento che non garantisce risultati immediati.

La “Raccolta Differenziata a Tariffa” non può costare di più di della “Raccolta Differenziata Tradizionale”; l’applicazione della Tariffa è lo strumento a supporto dell’abbattimento dei costi, come dimostrato da coloro che la applicano.

Il semplice “buon senso”, suggerisce che una corretta raccolta differenziata favorisce il miglioramento della qualità della vita e dell’ambiente, allunga la vita delle discariche e, recuperando per quanto possibile le materie prime, fa propri i principi dell’Economia Circolare. Combinando la pratica della raccolta differenziata con la volontà di far pagare il Servizio al cittadino in proporzione a quanto produce (Tariffa Corrispettiva), nel breve e medio termine, si innescherà un processo mentale ed educativo in grado di responsabilizzare la popolazione che porterà ad un risparmio percentuale certo a due cifre, invece che un aumento dei costi come semplicisticamente ed impropriamente affermato da chi non ha interesse ad avviare o partecipare a questo processo.

Sulla base di queste semplici considerazioni il vento sta cambiando e la TARIP potrebbe presto sostituire progressivamente la TARI; già alcune Regioni la stanno rendendo obbligatoria come il Lazio [3] e la Provincia di Imperia [4]

## 2. Relazione

### 2.1 Il Decreto TARIP

Deve essere chiaro che il D.M. 20 aprile 2017 del MATTM, pubblicato in GU n. 117-22.05.2017, non istituisce l’obbligo della TARIP ma bensì detta le regole da adottare per chi decide di applicarla; da solo non può essere la base per la redazione di un Capitolato Speciale d’Appalto.

Di seguito sono riportati i punti chiave (Articoli, Commi, Punti) che influenzano l’applicabilità delle misure attraverso le tecnologie abilitanti descritte in seguito.

- Vale il principio dei «soggetti produttori» e non delle «categorie di produttori».
- Le singole Utenze Domestiche e Non Domestiche devono avere un loro codice di univoca identificazione, Art. 5, c1 nel rispetto delle norme sulla Privacy Art.3 (comporta problemi nella consegna delle dotazioni agli utenti).
- Possono esistere ed essere gestite «utenze aggregate» (condomini, zone sparse, Art.2, d) a cui applicare sistemi di riparto semplificati, Art.7 e 8.
- La RUR (Rifiuto Urbano Residuo) è la frazione minima di riferimento da misurare per applicare la TARIP (Art. 4, c1), ma possono essere effettuate ed usate, ad integrazione del calcolo, anche misure su altre frazioni a cui applicare misure semplificate: Art. 4, c4.
- Le misure degli svuotamenti di contenitori a volume prefissato (sacchetti e mastelli) possono essere effettuate con sistemi fissi o mobili e sono ammessi sistemi di misurazione volumetrica (calotte): Art.6, a, b, c, d.
- Il peso diretto è equiparato a quello indiretto (volume x peso specifico della frazione), Art.6, c. 4, 5, ...

### 2.2 La teoria della TARIP: le 4 fasi

Il processo organizzativo per arrivare ad applicare la TARIP passa attraverso 4 (quattro) Fasi Operative, rappresentate temporalmente nello schema di Fig. 1 da sinistra a destra:

- **Fase 1:** Creazione e Bonifica Banca Dati, Anagrafe Utenze Digitale, compreso lo studio delle modalità di aggiornamento

- **Fase 2:** Consegna\Distribuzione Kit Materiali che presuppone la scelta dei contenitori (Mastelli e/o Sacchetti)
  - **Fase 3:** Raccolta e Misurazione che comprende la programmazione delle attività \ percorsi
  - **Fase 4:** Applicazione Tariffa sulla base delle misure e Riscossione
- Il completo e rigoroso rispetto, in senso temporale, del processo di filiera è la condizione “sine qua non” per la riuscita di un progetto TARIP; esattamente come un processo produttivo di filiera in una qualsiasi organizzazione del Tipo Industria 4.0.
- A loro volta le 4 Fasi possono essere suddivise in due Obiettivi:
- **STARTUP**, Obiettivo a breve stimato a grandi linee in 12 mesi
  - **GESTIONE**, Obiettivo a medio e lungo termine che dipende dalla durata dell’appalto



Fig. 1 – Schema delle 4 Fasi di filiera

Un Capitolo per la TARIP deve pertanto basarsi su di una teoria; quella delle 4 fasi appare ad oggi la più credibile e quella che ha trovato le principali applicazioni; il testo che ne fissa i canoni, “La TARIP conviene” di Pierluigi Fedrizzi [5], alla data di redazione del presente documento, è in corso di pubblicazione.

Le parole d’ordine che accompagnano le 4 Fasi sono Software, Tecnologie ed Integrazione dei processi, ma soprattutto competenze nuove e quindi diverse da quelle tradizionali e consolidate della Riscossione Tributi.

Tra 5, 10 anni lo schema di Fig. 1, sarà dato per scontato e accettato come standard; oggi però non è assolutamente così, tant’è che non è ancora chiaro a molti, benché operanti a diverso titolo nel settore, che la scelta dei contenitori giusti (mastelli e/o sacchetti), delle tecnologie che servono per monitorarli (Tag e Lettori) e la banca dati Utenza - Contenitore, sono l’elemento più strategico di tutto il processo TARIP perché senza i dati degli svuotamenti (peso indiretto) non si può applicare una Tariffa Corrispettiva.

### 2.3 Chi fa cosa

Il successo ottenuto da alcuni Enti Gestori, per lo più del Nord-Est dell’Italia, è stato anche favorito dalla chiarezza delle norme fissate dalle Regioni di appartenenza, in attuazione del Modello di Governance DL 138/2011, che hanno permesso l’adozione di un modello di organizzazione del processo di tipo industriale.

Il Modello di successo più diffuso è un Ente di Bacino, composto da un insieme di Comuni,



che diventa unico interlocutore solidale della Società in House che funge da Ente Gestore ed attuatore delle direttive.

In altre Regioni, in assenza di direttive, il tutto è semplicemente rimandato al TUEL (Testo Unico Enti Locali) che non si può dire che sia assimilabile ad un manuale di processo e le “condizioni a contorno” possono essere anche molto diverse.

In molte regioni l’insuccesso di fatto degli ATO dei rifiuti ha determinato situazioni in cui gli Enti Locali hanno sostanzialmente affidato il servizio o a imprese private con gare pubbliche o a società in house, con elevata frantumazione degli Ambiti Territoriali di Raccolta.

Rebus sic stantibus ovvero tenendo conto della situazione di fatto è opportuno definire quali sono i compiti che gli attori del Servizio di Raccolta dei Rifiuti Urbani devono assumere a loro carico a prescindere dal Modello di Governance dominante.

Con riferimento alla prassi delle “4 FASI”:

ATTIVITÀ	COMPETENZA
Fase 1: Creazione e Bonifica Banca Dati - Anagrafe Utenze, modalità di aggiornamento	ENTE LOCALE o CONSORZIO DI ENTI LOCALI
Fase 2: Consegna\Distribuzione Kit Materiali che presuppone la scelta Contenitori (Bidoncini e/o Sacchetti)	ENTE LOCALE o MUNICIPALIZZATA o IMPRESA PRIVATA
Fase 3: Raccolta e Misurazione che comprende la programmazione delle attività \ percorsi	MUNICIPALIZZATA o IMPRESA PRIVATA
Fase 4: Applicazione Tariffa sulla base delle misure e Riscossione	ENTE LOCALE o CONSORZIO DI ENTI LOCALI

**Tab. 1 – Attività e Competenze**

La Fase 1 può, anzi deve, essere attuata indipendentemente dallo stato del servizio, può essere espletata anche se è in corso un appalto affidato ad un Impresa Privata sulla base della TARI, in quanto non coinvolge le competenze dei soggetti attuatori del Servizio di Raccolta.

La Fase 2 può essere attuata indifferentemente dalla Stazione Appaltante (generalmente Ente Locale) o dall’Appaltatore. In qualche caso la sua attuazione da parte dell’Ente Locale comporta minori possibilità di errori ed una più rapida attuazione della TARIP, per questioni legate al Codice degli Appalti ed al Cronoprogramma dell’Appalto che non spiegheremo in questo documento.

La Fase 3 è di competenza esclusiva dell’attuatore del servizio azienda in house o privata sulle base delle specifiche di capitolato indicate dalla Stazione Appaltante.

La Fase 4 è di competenza esclusiva dell’Ente Locale o Consorzio di Enti Locali costituito sulla base del TUEL.

Tutte le fasi necessitano di un sistema di software di supporto che sia in grado di trasferire le informazioni (ovvero i dati raccolti) da una fase a tutte le altre.

#### 2.4 *Necessità di un capitolato per la TARIP*

In ampie zone d’Italia la principale criticità è legata alla elevata frammentazione del servizio di raccolta.

È vero che l’adozione del Modello di Governance costituito da un Ente di Bacino, unico interlocutore di una Società in House, risolverebbe questa criticità, ma la pluridecennale storia della gestione dei rifiuti ha insegnato che mettere d’accordo gli Enti Locali su questa necessità è molto difficile, forse impossibile.

Finora la TARIP ha attecchito nei territori in cui è vigente il predetto Modello di Governance



in quanto tutte le innovazioni e le correzioni di rotta necessarie all'applicazione di un modello 4.0 avvengono "in house", senza generare attriti e conflitti.

Nel caso in cui il servizio di raccolta venga esternalizzato con una gara che deve seguire il Codice degli Appalti [6], la situazione si complica notevolmente e non può essere concretizzata, se non fissando le regole come finora teorizzate, in un capitolato scritto per la TARIP.

Probabilmente il primo capitolato in Italia scritto pensando alla TARIP, teorizzata secondo i concetti finora illustrati, è stato quello per la gara del servizio di raccolta indetta dal comune laziale di Cori, in provincia di Latina [7].

#### *2.5 Come è organizzato un capitolato per la TARIP*

La WORM snc, che con la mia collaborazione ha progettato il servizio per Cori, ha utilizzato un Capitolato Speciale d'Appalto organizzato come segue:

1. Oggetto, ammontare e forma dell'appalto;
2. Disposizioni particolari riguardanti l'appalto;
3. Applicazione della Tariffa Puntuale;
4. Ordine da tenersi nell'andamento dei servizi e relative competenze;
5. Norme per l'esecuzione dei servizi;
6. Norme in materia di personale;
7. Norme per la misurazione e la valutazione dei servizi;
8. Qualità dei materiali e dei componenti;
9. Norme generali per l'allestimento tecnologico;
10. Criteri Ambientali Minimi (CAM);
11. Criteri premiali

1. Rispetto al passato l'appalto non sarà a CORPO, come la quasi totalità dei capitolati scritti per la TARI, ma MISTO a corpo e misura in quanto le raccolte delle frazioni soggette a lettura e lo spazzamento in cui sono tracciati i percorsi delle spazzatrici, saranno pagati a misura, il resto ancora a corpo;

2. Questa sezione è quella che recepisce tutte le indicazioni fornite dal Codice dei Contratti e quindi seguirà le continue modificazioni del D.Lgs n. 50/2016;

3. In questa sezione viene esplicitata la teoria della TARIP secondo le 4 fasi e le conseguenze per l'Appaltatore della mancata registrazione delle "misure";

4. Vengono chiarite le competenze dell'Ente Appaltante e quelle dell'Appaltatore e l'ordine delle attività necessarie all'attuazione della TARIP;

5. Per ogni frazione del rifiuto urbano e per ogni servizio collaterale messo in appalto vengono evidenziate le modalità generali di esecuzione e le indicazioni per il caso specifico;

6. Non ci sono sostanziali differenze rispetto agli attuali capitolati per la TARI;

7. Si chiarisce che le "misure" fatte per la TARIP sono anche la contabilità del servizio effettuato; considerato che il passaggio da TARI a TARIP non potrà essere immediato e che bisogna prevedere una fase di transizione viene specificato come pagare l'Appaltatore nel periodo transitorio;

8. Per la TARIP non tutti i materiali e non tutti i mezzi sono idonei, vengono fornite le specifiche per i materiali ed i mezzi che potranno essere utilizzati; in questa fase le specifiche sono scritte per l'Appaltatore, ma valgono, per le forniture di competenza, anche per la Stazione Appaltante che, se non opportunamente indirizzata, corre il rischio di acquisire dotazioni inidonee senza che all'Appaltatore possa essere imputata colpa alcuna;

9. Vengono specificate le caratteristiche che devono avere i mezzi, il software e le dotazioni fornite agli utenti affinché le 4 fasi della teoria TARIP possano e debbano scambiarsi i dati tra di loro;

10. Vengono introdotti i CAM che per i rifiuti sono per ora quelli dell' "Affidamento del servizio di gestione dei rifiuti urbani (approvato con (DM 13 febbraio 2014, in G.U. n. 58 dell' 11 marzo 2014)", ma dovrebbe essere in procinto di essere emesso un nuovo DM dal Ministero dell' Ambiente, in acronimo MATTM;

11. Considerato che queste gare vengono svolte con il criterio dell' Offerta Economicamente più Vantaggiosa (in acronimo OEPV) sono specificati i criteri premiali da adottare.

### 3. Conclusioni

La TARIP presenta ancora difficoltà di applicazione, qualora il servizio di raccolta dei rifiuti urbani non dovesse essere gestito da un' azienda "in house", ma affidato ad un appaltatore attraverso una gara regolata dal Codice degli Appalti, è indispensabile:

– Definire le caratteristiche minime teoriche della TARIP, a mio avviso dovrebbe essere adottata la Teoria delle 4 Fasi;

– Adottare un Capitolato specifico che faccia propria la teoria della TARIP traducendola in diritti e doveri.

Per il primo punto si spera che provvederà l' Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) con una propria determinazione.

Per il secondo punto spero di aver dato un contributo con un Capitolato come quello redatto per il Comune di Cori, basato sulla Teoria delle 4 Fasi, come formulata dall' ing. Pierluigi Fedrizzi [5].

### Bibliografia

[1] Decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. "Attuazione delle direttive 91/56/CEE sui rifiuti, 91/698/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti ..."

[2] Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Decreto 20 aprile 2017 "Criteri per la realizzazione da parte dei comuni di sistemi di misurazione puntuale della quantità di rifiuti conferiti al servizio pubblico o di sistemi di gestione caratterizzati dall' utilizzo di correttivi ai criteri di ripartizione del costo del servizio, finalizzati ad attuare un effettivo modello di tariffa commisurata al servizio reso a copertura integrale dei costi relativi al servizio di gestione dei rifiuti urbani e dei rifiuti assimilati." (GU Serie Generale n.117 del 22-05-2017).

[3] Regione Lazio - L.R. 10 Agosto 2016, n. 12 – art. 12 - Modifica alla legge regionale 9 luglio 1998, n. 27 "Disciplina regionale della gestione dei rifiuti" e successive modifiche.

[4] Piano dell' Area Omogenea Imperiese per la Gestione Integrata del Ciclo dei Rifiuti - Revisione Finale marzo 2018 – al punto 5.6 Sistema di tariffazione puntuale si legge che "Un' efficace politica di incentivazione dei comportamenti virtuosi non può prescindere dalla graduale introduzione della tariffa puntuale e comunque obbligatoria a partire dal 01.01.2021, in base alla quale il cittadino paga in relazione all' effettiva produzione di rifiuti. [...]. Si ritiene necessario il passaggio alla tariffazione puntuale entro 18 mesi dall' avvio dei servizi di raccolta a livello di bacino definitivo e comunque non oltre la data del 30.06.2022."

[5] Pierluigi Fedrizzi "La TARIP conviene" (di prossima pubblicazione).

[6] Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull' aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d' appalto degli enti erogatori nei settori dell' acqua, dell' energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture". (GU Serie Generale n. 91 del 19-04-2016 - Suppl. Ordinario n. 10).

[7] Delibera di G.M. del Comune di Cori del 8 agosto 2019 n. 123.

# Tariffa puntuale e impatto prodotto dai mezzi di raccolta

*Andrea Valentini, Studio Associato Wastelab, [wastelab.andrea@gmail.com](mailto:wastelab.andrea@gmail.com);  
Luca Belfiore, Altraleonia srl, Benedetta De Santis, Giunco srl; Noemi De Santis, Giunco srl*

## **Riassunto**

*Si presenta una nuova metodologia, denominata Real-Time Optimization Methodology for Waste Collection Services (in breve TOC), per il calcolo degli impatti, espressi in termini di CO<sub>2</sub> prodotta, della componente trasporto nella gestione dei rifiuti. La metodologia TOC riguarda la possibilità di conoscere preventivamente le utenze che intendono conferire i propri rifiuti permettendo così, da un lato, di conoscere ed ottimizzare il percorso di raccolta da parte degli operatori del servizio, dall'altro, di individuare le utenze a cui associare l'impatto della componente trasporto. Nel documento viene descritta la sperimentazione avviata nel Comune di Terre Roveresche (PU) che ha permesso sia di calibrare il modello tariffa puntuale alla produzione di CO<sub>2</sub> emessa da ogni singola utenza nella propria gestione dei rifiuti, sia di associare l'impatto della componente trasporto ad ogni utenza partecipante.*

## **Summary**

*A new methodology is presented, called Real-Time Optimization Methodology for Waste Collection Services (in short TOC), for the calculation of the impacts, expressed in terms of CO<sub>2</sub> produced, of the transport component in waste management. The TOC methodology involves the possibility of knowing in advance the users who intend to deliver their waste, thus allowing, on the one hand, to know and optimize the collection path by the service operators, on the other, to identify the users to whom to associate the impact of the transport component. This document presents the experimentation started in the Municipality of Terre Roveresche (PU) which has allowed both to correlate the pay-as-you-throw tariff model for the production of CO<sub>2</sub> emitted by each individual user in its waste management, and to associate the impact of the transport component with each user.*

## **1. Introduzione**

Negli ultimi anni, diversi studi [1, 2] hanno evidenziato l'inefficacia del sistema di tariffa puntuale che prevede la contabilizzazione della sola frazione indifferenziata, prevalentemente utilizzato in Italia, rispetto ai diversi obiettivi normativi, ovvero:

- la riduzione dei rifiuti alla fonte,
- la riduzione del conferimento di rifiuti indifferenziati,
- la separazione alla fonte dei rifiuti riciclabili e lo sviluppo della raccolta differenziata,
- l'individuazione di indicatori relativi all'efficienza nell'uso delle risorse e alla riduzione di emissioni di gas a effetto serra.

Uno dei documenti più recenti a livello europeo sul tema tariffa puntuale è quello realizzato, nel 2019, nell'ambito dell'Action 12 - Circular Economy's, EU Urban Agenda Partnership, "Pay As You Throw (PAYT) Toolkit for European Cities" [1].

Tale documento descrive le caratteristiche metodologiche per l'applicazione della tariffa pun-

tuale, da applicarsi negli Stati Membri dell'unione Europea, secondo tre modelli a livello crescente di performance, secondo criteri (1) di completezza nella valutazione dei diversi comportamenti delle utenze, (2) di semplicità di calcolo, (3) di entità della quota economica destinata alla componente misurata della tariffa e (4) di rispetto degli obiettivi delle direttive europee a partire dalla gerarchia rifiuti.

I tre modelli proposti sono:

- modello “*Minimo*” che prevede la quantificazione almeno della quantità di rifiuto urbano residuo, cioè del rifiuto destinato a essere smaltito;
- modello “*Best Practice*”, che prevede di contabilizzare un numero maggiore di rifiuti conferiti dalle utenze, possibilmente con sistemi informatizzati rapportata alla quantità misurata di rifiuti conferiti al pubblico servizio;
- modello “*Advanced Best Practice*” in cui si prevede di migliorare il modello “*Best Practice*” considerando che la produzione di rifiuto, nelle sue diverse forme, determina un impatto ambientale esprimibile, per esempio, in termini di CO<sub>2</sub> prodotta.

## 2. Lo sviluppo di metodologie di calcolo dell'impatto della componente trasporto

Negli ultimi due anni è in fase di studio una nuova metodologia, denominata *Real-Time Optimization Methodology for Waste Collection Services* (in breve *TOC*), per il calcolo degli impatti, espressi in termini di CO<sub>2</sub> prodotta, della componente trasporto nella gestione dei rifiuti ed associazione degli stessi al comportamento della singola utenza.

La metodologia ruota intorno alla possibilità di conoscere preventivamente le utenze che intendono conferire i propri rifiuti permettendo così, da un lato, di conoscere ed ottimizzare il percorso di raccolta da parte degli operatori del servizio, dall'altro, di individuare le utenze a cui associare l'impatto della componente trasporto.

Per il calcolo degli impatti della componente trasporto ed attribuzione degli stessi ad ogni singola utenza, il modello prevede le seguenti fasi:

- costruzione ed inserimento nella banca dati utenze della quota di competenza della rete viaria del circuito di raccolta relativa alla singola utenza
- sviluppo di un sistema informatico (in genere un'applicazione per dispositivi Android ed Apple di tipo mobile) che sia in grado di comunicare in modo interattivo con l'utenza per poter conoscere l'intenzione o meno di conferire il proprio rifiuto nella giornata a calendario (azione denominata anche “comunicazione preventiva”)
- calcolo dell'impatto della componente trasporto per ogni percorso di raccolta e distribuzione ad ogni utenza conferente in base alle quote di competenza

Alla base delle potenzialità della metodologia è la stretta relazione tra consumo di carburante e emissioni di gas serra, in questo caso, espresse in termini di CO<sub>2</sub>.

Infatti, durante lo spostamento di un mezzo ci sono tre fattori che incidono in misura importante sul consumo di carburante e sulle emissioni di gas serra:

- la distanza percorsa dal mezzo, distinguendo tra circuito di raccolta, trasferimenti cantiere e impianto,
- la velocità media di viaggio dal mezzo nel circuito di raccolta,
- l'effetto del sistema “stop and go”, ovvero la frequenza di fermata e ripartenza del mezzo.

Da letteratura [3, 4] si riscontra come il fattore di emissione di gas di scarico del mezzo durante il percorso di raccolta è funzione della velocità media del mezzo e del numero di fermate; entrambi questi elementi dipendono dal numero di prese.

Il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> avviene attraverso l'individuazione di opportuni fattori di emissione [5], espressi in kgCO<sub>2</sub>eq per unità di consumo di carburante (in lt o kg), come riportato in Tabella 1.

Tipologia di carburante	Fattore di Emissione
Gasolio	2,650 kgCO <sub>2</sub> ,eq/lt
Benzina	2,370 kgCO <sub>2</sub> ,eq/lt
Metano	2,575 kgCO <sub>2</sub> ,eq/kg
GPL	1,670 kgCO <sub>2</sub> ,eq/lt

**Tab. 1** – Fattori di Emissione per tipologia di carburante; fonte: adattato da [5]

Nel caso non sia possibile ricavare, al termine di ogni giornata di raccolta, il consumo di carburante del mezzo, il valore delle emissioni può essere dedotto computando un fattore di emissione funzione della distanza percorsa dal mezzo ed espresso in kgCO<sub>2</sub>,eq/km.

In particolare, nella sperimentazione del Comune di Terre Roveresche (PU), descritta di seguito, il fattore di emissione (FE) è calcolato tramite la seguente relazione (riferita a mezzo pesante a gasolio su strade urbane):

$$\text{equazione 1)} \quad FE = 0,728 \times 19,26 \times [ TC / NP \times 3600 ]^{(-0,6826)}$$

ove

FE = fattore di emissione per unità di strada percorsa (espresso in kgCO<sub>2</sub>,e/km)

TC = tempo effettuato dal mezzo di raccolta (espresso in ore/giorno)

NP = numero di prese effettuate dal mezzo di raccolta (espresso in n/giorno)

Le costanti della relazione sono state calcolate incrociando i dati della sperimentazione con quelli riscontrati in letteratura [3].

### 3. Sperimentazione nel Comune di Terre Roveresche (PU)

Nel Comune di Terre Roveresche (PU), è stata avviata una sperimentazione che permette di calibrare il modello tariffa puntuale alla produzione di CO<sub>2</sub> emessa da ogni singola utenza nella propria gestione dei rifiuti, sia di associare l'impatto della componente trasporto ad ogni utenza partecipante.

Nel Comune di Terre Roveresche il servizio di raccolta è di tipo domiciliare sull'intero territorio ed a tutte le utenze, per la raccolta di indifferenziato, organico e carta, sono stati forniti contenitori rigidi, mastelli o bidoni, dotati di transponder per la lettura dei singoli conferimenti.

Le frequenze di raccolta dei rifiuti oggetto di sperimentazione risultano come segue:

- frazione indifferenziata: 1 v/sett
- frazione organica: 2 vv/sett
- frazione carta e cartone: 1 v/sett

In tabella 2 si riportano le caratteristiche principali del territorio comunale.

Caratteristica	Valore	Unità Misura
Popolazione residente	5.238	abitanti
Superficie territoriale	70,37	kmq
Densità abitativa	74,4	ab/kmq
Famiglie	2.167	unità
Utenze complessive	2.278	unità

**Tab. 2** – Caratterizzazione del territorio del Comune di Terre Roveresche (PU)

La sperimentazione è durata sei mesi, dal 2 maggio 2019 al 31 ottobre 2019, anticipata da una fase di comunicazione all'utenza in merito alle modalità di contabilizzazione dei conferimenti ed al nuovo strumento della comunicazione preventiva.

#### 4. La nuova utility di Junker App e la comunicazione preventiva

La sperimentazione ruota intorno alla possibilità da parte dell'utenza di comunicare preventivamente la propria intenzione di conferire o meno il rifiuto previsto a calendario. Per permettere tale soluzione, la App utilizzata dalle utenze per differenziare correttamente e seguire il calendario di raccolta (*App Junker, www.junker.app*) si è dotata di una nuova utility (denominata *TOCTOC*) che prevede la seguente procedura:

- 1) l'utenza che accede alla App deve preliminarmente autenticarsi tramite tessera sanitaria o codice identificativo del contenitore già iscritto nel ruolo TARI;
- 2) nella giornata di ritiro il sistema invia un promemoria all'utenza profilata chiedendo di comunicare l'intenzione o meno di conferire il proprio rifiuto.

#### 5. Risultati

I risultati di seguito esposti si riferiscono al periodo di sperimentazione tra il 2 maggio ed il 31 agosto 2019.

Il numero di utenze che ha attivamente partecipato alla cosiddetta "comunicazione preventiva" è in realtà modesto, pari a 60 unità, corrispondente al 2,8% delle famiglie del Comune di Terre Roveresche.

In tabella 3 si riporta l'analisi delle risposte delle utenze partecipanti attivamente alla sperimentazione nel periodo Maggio-Agosto.

Frazione	Risposta alla richiesta di conferimento			
	SI	NO	Nessuna risposta	NO / (NO + SI)
Indifferenziato	24,6%	31,7%	43,7%	56,3%
Frazione Organica	27,6%	29,1%	43,3%	51,3%
Carta	35,1%	24,0%	40,8%	40,6%

**Tab. 3 – Analisi delle risposte delle utenze partecipanti alla sperimentazione**

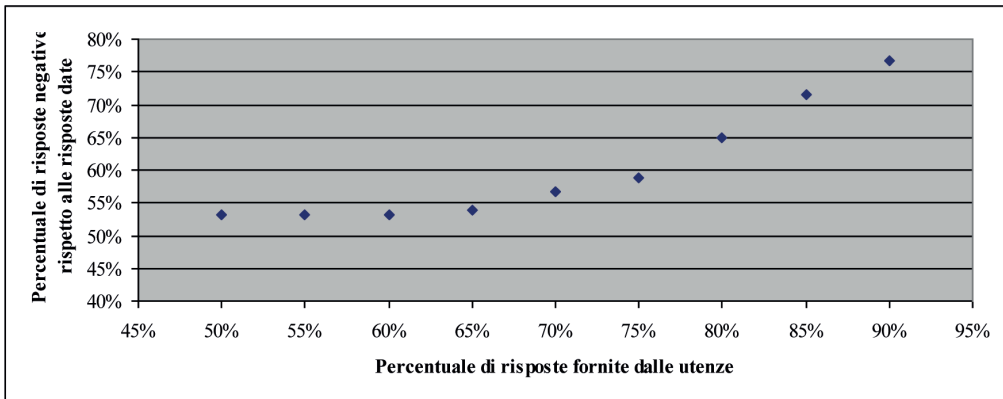
Nel periodo Maggio-Agosto si registrano le seguenti percentuali medie di esposizione da parte delle utenze:

- Rifiuto indifferenziato 41%
- Frazione Organica 52%
- Carta 55%

Le utenze partecipanti alla sperimentazione, presentano percentuali di esposizione, rispetto alle risposte dichiarate, simili a quelle medie del territorio:

- Rifiuto indifferenziato 44%
- Frazione Organica 49%
- Carta 59%

Analizzando la tipologia di risposte fornite dalle singole utenze (Figura 1) si evidenzia come più le utenze partecipano attivamente alla sperimentazione maggiore la percentuale di risposte negative alla richiesta di esposizione del contenitore.



**Fig. 1** – Relazione tra percentuale di risposte negative rispetto alla percentuale di risposte complessive fornite dalle utenze

Per stimare l’impatto potenziale nell’ottimizzazione dei percorsi di raccolta, ad alcune utenze, residenti in zone più periferiche tra quelle partecipanti, è stata associata la quota di competenza del circuito di raccolta e, quando comunicata una risposta negativa, è stato calcolato, secondo l’equazione (1), l’impatto in termini di riduzione di CO<sub>2</sub>.

Il calcolo, estendendo il risultato della sperimentazione al valore annuo, mostra riduzione medie pari a 19,1 kgCO<sub>2</sub>eq/utenza/anno, con un intervallo di valori compreso tra 1,6 e 50,7 kgCO<sub>2</sub>eq/utenza/anno.

Considerando il valore della riduzione media per la gestione rifiuti riscontrata nel Comune di Mompeo [6] pari a 382,3 kgCO<sub>2</sub>eq/utenza/anno, si ricava che l’incidenza della componente trasporto per le utenze più periferiche si attesta mediamente intorno al 5%, con punte intorno al 13%.

Poiché, come evidenziato dall’applicazione della metodologia Carbon WastePrint [6] l’impatto nella gestione dei rifiuti dipende fortemente dal rifiuto che viene conferito, mentre, ovviamente, l’impatto della componente trasporto è indipendente dalla tipologia di rifiuto, l’incidenza della componente trasporto rispetto all’impatto generato dalle singole merceologie di rifiuto conferite dalle utenze più periferiche, espressa in percentuale, ha evidenziato i seguenti valori medi:

- Rifiuto indifferenziato                      3,9% della CO<sub>2</sub> emessa per trasporto
- Frazione Organica                            2,2% della CO<sub>2</sub> emessa per trasporto
- Carta    59,0% della CO<sub>2</sub> emessa per trasporto
- Plastica e Metalli                            76,9% della CO<sub>2</sub> emessa per trasporto
- Vetro    21,8% della CO<sub>2</sub> emessa per trasporto

Quindi, mentre per alcune raccolte l’incidenza della componente trasporto risulta pressoché trascurabile, in altri casi (carta, plastica e metalli, vetro) l’impatto generato dal movimento dei mezzi può risultare anche determinante nel bilancio complessivo.

Per poter determinare l’entità dei vantaggi della comunicazione preventiva e dei servizi di raccolta ottimizzati, parallelamente alla sperimentazione a livello di singola utenza, sopra esposta, sono state svolte alcune campagne di confronto tra **modalità di raccolta standard** e **modalità di raccolta senza prese** (di seguito anche “bianco”), monitorando e confrontando i principali parametri, quali:

- lunghezza percorsa dal mezzo nel circuito di raccolta e nelle fasi di trasferimento



- tempi impiegati dal mezzo nel circuito di raccolta e nelle fasi di trasferimento
- carburante consumato a fine percorso
- numero di prese effettuate dal mezzo (nella raccolta standard)

In tabella 4 si riportano i valori medi dei parametri delle campagne svolte nel territorio.

Caratteristica	Raccolta standard	Bianco
Distanza percorsa dal mezzo (km), di cui:	105,5	105,5
<i>per trasferimenti cantiere e impianto (km)</i>	34,6	34,6
<i>per circuito di raccolta (km)</i>	70,9	70,9
Tempo svolgimento del servizio (h), di cui:	5,07	2,67
<i>per trasferimenti cantiere e impianto (h)</i>	0,93	0,93
<i>per circuito di raccolta (h)</i>	4,13	1,73
Velocità media del mezzo (km/h), di cui:	20,8	39,6
<i>per trasferimenti cantiere e impianto (km/h)</i>	37,1	37,1
<i>per circuito di raccolta (km/h)</i>	17,2	40,9
Consumo di carburante (lt), di cui:	42,60	32,45
<i>per trasferimenti cantiere e impianto (lt)</i>	10,64	10,64
<i>per circuito di raccolta (lt)</i>	31,96	21,81
Emissioni di CO <sub>2</sub> emesse dal mezzo (kg)	112,89	85,99
Numero utenze circuito	952	-
Numero prese effettuate	459	-
Volume totale dei contenitori svuotati (lt)	11.950	-
Quantità rifiuti conferiti all'impianto (kg)	2.390	-

**Tab. 4** – Confronto dei parametri di caratterizzazione di un circuito di raccolta tra condizione standard e bianco (senza prese) nella sperimentazione

Dai dati riportati in tabella 4 si determina il consumo di carburante del mezzo:

- nei tratti a velocità costante relativi ai trasferimenti ed alla fase di bianco: consumo pari a 3,3 km/Lt;
- nel circuito di raccolta durante la modalità standard: consumo pari a 2,2 km/Lt.

Il rapporto di consumo di carburante tra tratti a velocità costante e tratti soggetti a “stop and go” risulta pari ad 1,5 simile a valori riscontrati in letteratura [2].

La quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> prodotta dal mezzo di raccolta è stata ricavata considerando i fattori di emissione riportati in tabella 1, mentre gli stessi valori di emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte dal mezzo di raccolta, sia in modalità “standard” che “bianco”, si ottengono utilizzando l'equazione (1). I risultati della sperimentazione hanno permesso di ricavare i parametri espressi in tabella 5.

Parametro	Valore unitario
tempo raccolta per presa effettuata (sec/presa)	32,42
tempo raccolta per utenza (sec/ut)	15,63
tempo raccolta per litro contenitore conferito (sec/lit)	1,25
tempo raccolta per kg rifiuto conferito (sec/kg)	6,23
consumo carburante per presa effettuata (lit/presa)	0,070
consumo carburante per utenza (lit/ut)	0,034
consumo carburante per litro contenitore conferito (lit/lit)	0,003
consumo carburante per kg rifiuto conferito (lit/kg)	0,013
emissioni di CO <sub>2</sub> per presa effettuata (kg/presa)	0,184
emissioni di CO <sub>2</sub> per utenza (kg/ut)	0,089
emissioni di CO <sub>2</sub> per litro contenitore conferito (kg/lit)	0,007
emissioni di CO <sub>2</sub> per kg rifiuto conferito (kg/kg)	0,035

**Tab. 5** – Calcolo di parametri unitari dalla sperimentazione del Comune di Terre Roveresche (PU)

## 6. Conclusioni

La sperimentazione svolta nel Comune di Terre Roveresche mostra come la componente trasporto presenti, almeno per le utenze ubicate in area vasta, impatti, in termini di CO<sub>2</sub> prodotta, non trascurabili sull'intera gestione dei rifiuti urbani.

La metodologia applicata evidenzia, inoltre, come risultati di impatto possano essere raggiunti solo se l'utente è obbligato alla procedura di comunicazione preventiva, attraverso apposita disposizione nel regolamento di igiene urbana.

I parametri unitari calcolati permettono di definire vantaggi interessanti, sia dal punto di vista ambientale che economico; per esempio una riduzione delle esposizioni di circa il 20% potrebbe comportare una riduzione di risorse e, quindi, di costi del servizio, di circa il 5%.

## Bibliografia

- [1] **Action 12 - Circular Economy's EU Urban Agenda Partnership**, "Pay As You Throw (PAYT) Toolkit for European Cities", 2019
- [2] **Laboratorio REF Ricerche**, "La Tariffa Puntuale: un'opportunità da gestire", Rifiuti n.123, 2019, Laboratorio SPL Collana Ambiente
- [3] **Alessandrini A., Cignini F., Holguin C., Stam D.**, "Corso di Sistemi di Trazione, Influenza di traffico e guidatore su consumi ed emissioni", Università degli Studi La Sapienza, Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica, AA 2014-2015, Roma
- [4] **European Environment Agency (EEA)**, "COPERT IV. Methodology and Emission Factors, Technical Report. Version 2.1.", 2005, www.eea.europa.eu
- [5] **JRC (Joint Research Centre - Institute for Energy and Transport)**, "Technical report - Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context" - WELL-TO-TANK Report Version 4.0, Brussels 2013
- [6] **Valentini A., Belfiore L.**, "La certificazione, ai sensi della UNI EN ISO 14064-2, della metodologia Carbon Wasteprint, il primo metodo di calcolo della CO<sub>2</sub> emessa dalle utenze nella produzione dei rifiuti", Ecomondo 2018 - Fiera e seminari del recupero e riciclaggio di materie ed energia, Rimini

# WASTE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## NUOVE FRONTIERE PER IL RICICLO ED IL RECUPERO, IN UNA PROSPETTIVA DI ECONOMIA CIRCOLARE

Gli avanzamenti compiuti negli ultimi decenni nell'ambito delle tecnologie di trattamento dei rifiuti hanno reso possibile il riciclo ed il recupero di frazioni merceologiche prima considerate irrecuperabili, contribuendo in maniera significativa all'attuazione di un'economia circolare.

Soluzioni innovative, riguardanti la selezione e la separazione di materiali differenti, l'estrazione ed il recupero di costituenti di valore presenti anche in ridotte concentrazioni, la realizzazione di nuove matrici utilizzabili in applicazioni originali, hanno consentito di progredire considerevolmente nella riduzione del rifiuto destinato allo smaltimento, generando un vantaggio ambientale ed economico.

La sessione affronta nuove esperienze relative alla valorizzazione di materiali tessili, polimerici e compositi (quali quelli impiegati in imballaggi, rivestimenti o dispositivi elettrici ed elettronici) e si occupa anche della valorizzazione di matrici particolarmente complesse o pericolose (quali residui di trattamenti termici o materiali da attività di bonifica e recupero di vecchie discariche – *landfill mining*).

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Società Chimica Italiana – Divisione CABG, ENEA, UNICIRCULAR**

**Presidenti di sessione:**

- Andrea Fluttero, UNICIRCULAR
- Fabrizio Passarini, CTS Ecomondo, Università di Bologna



# Recupero biometano da fanghi e da discarica, un caso virtuoso in Emilia Romagna

*Nicola Labartino, [n.labartino@crpa.it](mailto:n.labartino@crpa.it); Sergio Piccinini*

*Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia - Reggio Emilia*

## **Riassunto**

*Il presente lavoro riporta i risultati delle campagne di monitoraggio eseguite su due impianti di upgrading del biogas a biometano. Gli impianti, con tecnologia a membrane e membrane + PSA, sono stati, rispettivamente, installati presso un depuratore di acque civili ed industriali e presso una discarica. La tecnologia a membrane si è dimostrata una tecnologia affidabile, compatta e di facile gestione, ma è risultata insufficiente per trattare il biogas di discarica. Quest'ultimo è ricco in azoto e nel processo di separazione che avviene nelle membrane, tale composto non si separa dal metano. L'analisi dei campioni ha evidenziato che il biometano prodotto presso i due siti è idoneo all'immissione in rete, pertanto è stato utilizzato in autotrazione su auto aziendali e su mezzi del trasporto pubblico.*

## **Summary**

*The present work reports the results of the monitoring sessions performed on two plants for upgrading biogas to biomethane. The plants, one with “membrane” technology and the other one with membranes plus PSA, have been installed respectively in a civil and industrial wastewater treatment plant and in a landfill. The “membrane” technology proved to be a reliable, compact and easy to manage technology, but it was insufficient to treat landfill biogas. This biogas is rich in nitrogen and in the separation process that takes place in the membranes, this compound does not separate from the methane. The analysis of the samples showed that the biomethane produced in the two sites was suitable for injection on the gas grid, therefore it was used in refueling of company cars and of public transport vehicles.*

## **1. Introduzione**

L'Italia si conferma il quarto Paese al mondo per la produzione di biogas, e il secondo a livello europeo preceduto dalla sola Germania [1]. La produzione di biometano in Italia è ancora poco sviluppata poiché il Decreto Ministeriale sulla promozione e l'uso del biometano è stato pubblicato solo a marzo 2018. In riferimento all'anno 2019, in Italia gli impianti di biometano che immettono in rete sono 5. [2]

L'attività è stata condotta nell'ambito del progetto LIFE BioMethER [3], cofinanziato dalla Regione Emilia Romagna, che mira a colmare il divario tra ricerca, politica e sviluppo di tecnologia e a migliorare soluzioni innovative che incidono sulla dimensione pubblica per quanto riguarda le politiche in materia di energia e rifiuti, con lo scopo di:

- contribuire alla riduzione delle EMISSIONI di GHG
- ridurre l'impatto ambientale della GESTIONE DEI RIFIUTI
- superare gli ostacoli tecnologici e amministrativi alla produzione e all'uso del BIOMETANO.

## 2. Materiali e metodi

Il recupero del biogas prodotto dalle discariche e dagli impianti di depurazione delle acque civili ed industriali ha un elevato valore ambientale, se il biogas viene valorizzato energeticamente la valenza ambientale si accresce e si abbina ad un valore economico. CRPA, coordinatore scientifico del progetto, ha verificato la qualità del biometano prodotto nei due impianti di upgrading. Il primo sistema è stato installato presso il depuratore civile di Roncocesi a Reggio Emilia, gestito da Iren. Il sistema sfrutta la tecnologia a membrane per separare il metano presente nel biogas dalla  $\text{CO}_2$  e da altre componenti presenti in tracce. Il secondo sistema di upgrading è stato installato presso la discarica di Ravenna, gestita da Hera. In questo caso il biogas captato dalla discarica è ricco di azoto ( $\text{N}_2$ ) (circa 8-10% in volume) e la tecnologia a membrane, da sola, non è sufficiente per ottenere un biometano idoneo all'immissione in rete. Pertanto oltre al sistema di upgrading a membrane è stato installato un sistema a tecnologia PSA. I campioni di biogas, biometano e off-gas, sono stati analizzati sia con uno strumento portatile con sensori a infrarosso e celle elettrochimiche, sia in laboratorio con metodologie e strumentazione certificate.

## 3. Risultati e discussione

I valori illustrati sono stati ottenuti con metodologie atte a verificare la qualità del biometano secondo la norma UNI TR 11537. [4]

### 3.1 Sistema di upgrading a membrane presso il depuratore di Roncocesi

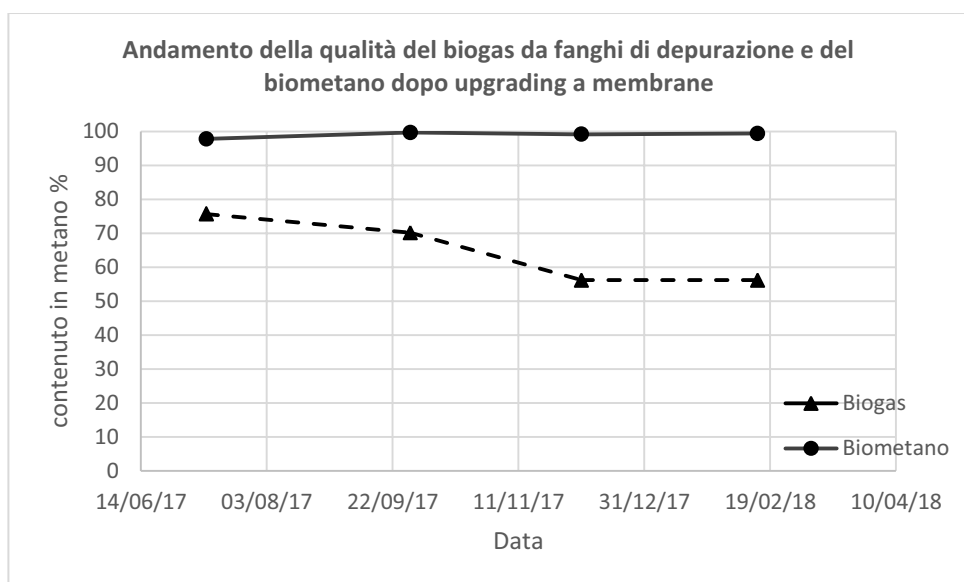
La **Tab. 1** riporta i valori di qualità del biogas ottenuto dalla digestione anaerobica dei fanghi di depurazione dell'impianto Iren di Roncocesi e del relativo biometano prodotto dopo upgrading del biogas con tecnologia a membrane. La tecnologia di separazione con membrane è basata sulla capacità di alcuni materiali polimerici di separare i diversi componenti di miscele di gas. Una membrana è infatti più permeabile ad alcune molecole rispetto ad altre. I principali parametri di merito sono dunque la permeabilità dei diversi componenti del biogas e la selettività, definita come rapporto tra le permeabilità di due specie. Per la produzione di biometano, sono di particolare interesse la permeabilità della  $\text{CO}_2$  e la selettività  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ . Nel caso specifico, il biogas prodotto dalla digestione dei fanghi di depurazione viene inviato ad un sistema di separazione delle condense tramite chiller, successivamente viene fatto passare attraverso carboni attivi e filtri a candela, in ultimo viene inviato al sistema a membrane per la purificazione a biometano.

In **Fig. 1** si può notare la qualità del biogas e del biometano nel tempo.

Numero campionamenti	Punto di campionamento	CH <sub>4</sub> %	CO <sub>2</sub> %	S tot mg/Sm <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> %	Silossani mg/Sm <sup>3</sup>	P.C.S. MJ/Sm <sup>3</sup>	WI MJ/Sm <sup>3</sup>
4	Biogas in ingresso all'impianto di upgrading- <b>Media e dev.st</b>	64,60 (±9,9)	34,7 (±10,6)	772,30 (±642,9)	0,30 (±0,1)	3,70 (±4,4)	23,80 (±2,1)	25,30 (±5,3)
4	Biometano <b>Media e dev.st</b>	99,00 (±0,8)	0,30 (±0,3)	1,20 (±1,6)	0,20 (±0,1)	0,10 (±0,3)	36,30 (±2,1)	50,30 (±0,3)

\*\* i valori di HCl, HF e NH<sub>3</sub> nel biometano sono sempre risultati <0,05mg/Sm<sup>3</sup>

**Tab. 1** – Qualità del biogas prodotto dalla digestione anaerobica dei fanghi di depurazione civile e industriale e del biometano dopo upgrading. Media e deviazione standard



**Fig. 1** – Andamento della qualità del biogas da fanghi di depurazione e del biometano prodotto dopo upgrading a membrane

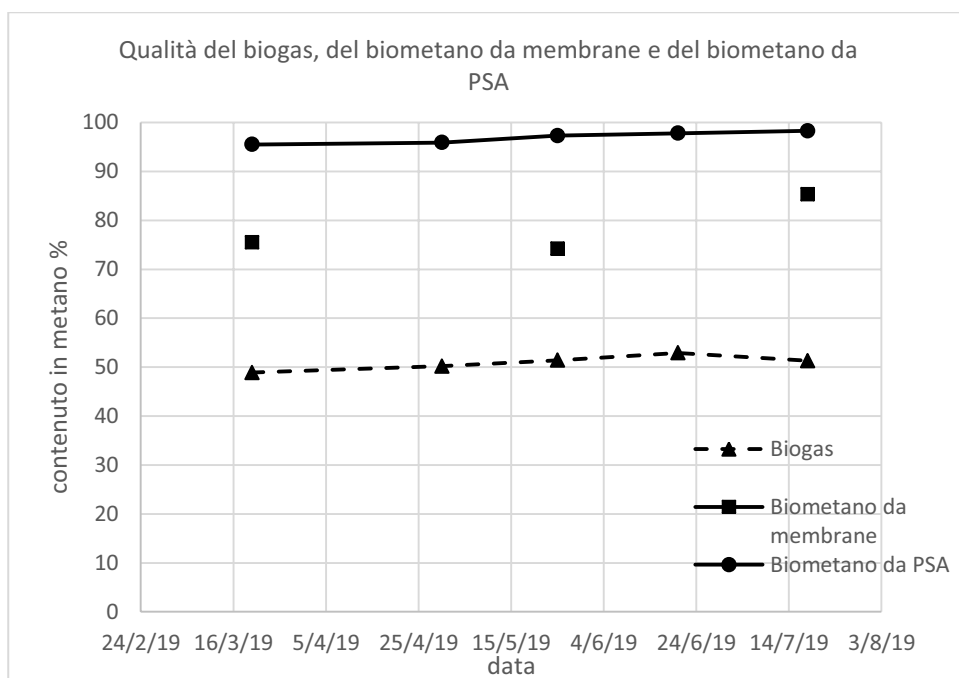
3.2 Sistema di upgrading del biogas della discarica di Ravenna con tecnologia a membrane e PSA  
 La **Tab. 2** riporta i valori di qualità del biogas captato dalla discarica Hera di Ravenna, la qualità del biometano dopo il passaggio attraverso le membrane e quella del biometano in uscita dal sistema PSA. Nei sistemi Pressure Swing Adsorption (PSA), la corrente gassosa di biogas viene messa in contatto in letti fissi con un materiale solido poroso, dove la separazione della CO<sub>2</sub> avviene tramite due meccanismi:



1) Attraverso la deposizione selettiva della CO<sub>2</sub> sulla superficie del materiale sorbente per effetto della diversa affinità della superficie solida con le diverse molecole nella fase gassosa;  
 2) All'interno dei setacci molecolari, invece, le molecole più piccole riescono ad insinuarsi ed attraversare le porosità del letto solido, mentre le molecole più grandi restano intrappolate.  
 A seconda del materiale sorbente selezionato, uno dei due meccanismi può essere prevalente. La purificazione avviene nei letti fissi, a cui viene inviato biogas in pressione. Durante la fase di adsorbimento avviene una progressiva saturazione del letto sorbente, per cui il fronte di saturazione si sposta dalla sezione di ingresso a quella di uscita del biometano. Quando il letto fisso è prossimo alla completa saturazione, si procede alla sua rigenerazione, mentre un altro letto provvede alla purificazione del biogas. Il processo non avviene quindi in continuo, ma servono più reattori che operino alternativamente in fase di purificazione e rigenerazione. La rigenerazione del sorbente avviene diminuendo la pressione all'interno del letto (Pressure Swing), per cui la CO<sub>2</sub> viene rilasciata. Nel caso specifico vi è un sistema di soffianti che capta il biogas proveniente da diversi settori della discarica per poi inviarlo al sistema di pretrattamento. Il sistema di pretrattamento prevede un sistema di separazione delle condense tramite chiller, dei carboni attivi e dei filtri a candela. Il biogas così purificato viene inviato ad un sistema di separazione a membrane e successivamente al sistema a PSA per ottenere un biometano a specifica per l'immissione in rete secondo la norma UNI TR 11537.

Numero campioni	Punto di campionamento	CH <sub>4</sub> %	CO <sub>2</sub> %	S tot mg/Sm <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> %	Silossani mg/Sm <sup>3</sup>	P.C.S. MJ/Sm <sup>3</sup>	WI MJ/Sm <sup>3</sup>
5	Biogas in ingresso all'impianto di upgrading- <b>Media e dev. st</b>	50,94 (±1,9)	39,72 (±1,68)	34,54 (±11,22)	9,00 (±3,27)	4,47 (±5,96)	19,23 (±0,57)	19,46 (±0,54)
3	Biometano in uscita dal sistema a membrane <b>Media e dev. st</b>	78,33 (±6,07)	0,57 (±0,89)	-	20,10 (±6,20)	-	29,58 (±2,29)	36,76 (±3,64)
5	Biometano in uscita dal sistema PSA <b>Media e dev. st</b>	96,96 (±1,21)	0,03 (±0,02)	4,37 (±9,47)	2,84 (±1,24)	0,04 (±0,05)	36,62 (±0,44)	48,48 (±0,78)
** i valori di HCl, HF e NH <sub>3</sub> nel biometano sono sempre risultati <0,05mg/Sm <sup>3</sup>								

**Tab. 2 – Qualità del biogas captato, del biometano dopo membrane e di quello dopo il PSA**



**Fig. 2** – Andamento della qualità del biogas da discarica, del biometano dopo upgrading a membrane e del biometano dopo upgrading con PSA.

#### 4. Conclusioni

La campagna di monitoraggio sui due impianti ha confermato la facilità di gestione e l'affidabilità del processo di purificazione basato sulle membrane, però ha anche dimostrato che per biogas ricchi in azoto tale tecnologia non è sufficiente a raggiungere livelli di qualità del biometano tali da poter immettere il biometano in rete.

In entrambi i siti è stato raggiunto il grado di qualità per cui il biometano può essere utilizzato per l'autotrazione. Infatti il Progetto Biomether ha potuto definire un accordo con Volkswagen per l'utilizzo, in via dimostrativa, del biometano prodotto a Roncocesi in due autovetture a metano messe a disposizione dall'azienda automobilistica stessa (**Fig. 3**).

Per quanto riguarda il biometano prodotto presso la discarica, Hera ha raggiunto un accordo con l'azienda di trasporti cittadini della città di Ravenna, Start Romagna, per l'uso del biometano negli autobus a metano.



**Fig. 3** – Una delle auto fornite da Volkswagen ed alimentate con il biometano prodotto presso l'impianto di Roncocesi.



**Fig. 4** – L'impianto di upgrading del biogas a biometano presso la discarica di Ravenna, sulla destra il sistema a membrane, sulla sinistra il sistema PSA.

### **Bibliografia**

[1] EBA "Statistical Report 2017"

[2] Linee Guida per lo sviluppo della filiera del Biometano in Emilia-Romagna, a cura del progetto Biomether, 2019.

[3] Biomether "Sistema regionale del Biometano in Emilia-Romagna". [www.biomether.it](http://www.biomether.it)

[4] UNI (2016), UNI TR 11537 Regulations:2016 – Immissione di biometano nelle reti di trasporto e distribuzione del gas naturale.

# EcoDesign e Manufacturing nei processi di valorizzazione del rifiuto per PVCUpCycling

*Domenico Lucanto [domenicolucanto08@gmail.com](mailto:domenicolucanto08@gmail.com), Andrea Procopio ([andreaprocopio86@gmail.com](mailto:andreaprocopio86@gmail.com)) PMopenlab s.r.l.s. Via Venezia 11, 89128, Reggio Calabria*

## **Riassunto**

*PVCUpCycling con R.ED.EL., progetto innovativo finanziato dal POR Calabria 14-20, Asse 1 - Azione 1.2.2, si occupa della gestione dei rifiuti e degli scarti ricavati dai processi di gestione dei cavi elettrici all'interno dell'attuale filiera produttiva dell'azienda R.ED.EL.*

*Il trattamento dei rifiuti provenienti dagli scarti di impianti elettrici trova nella sua fase di disassemblaggio il maggior numero di criticità; tale questione diventa ancora più sensibile se si considera che da questo passaggio dipende l'approvvigionamento di materiali preziosi come Rame e Alluminio. Con la prima fase di "de-manufacturing" si sono verificate le caratteristiche tecniche del PVC appartenente al componente "cavo elettrico". Nella successiva fase di "re-manufacturing" tali materiali vengono reimpiegati per la realizzazione di prodotti/componenti di eco-innovazione industriale. Il settore edilizio e il mercato di riferimento riguardano le filiere sostenibili che impiegano materiali ecocompatibili e multifunzionali". Gli autori del testo hanno condotto le attività di ricerca sperimentale all'interno del laboratorio della startup innovativa PMopenlab, consulente del progetto-ricerca.*

## **Summary**

*PVCUpCycling with R.ED.EL., an innovative project funded by POR Calabria 14-20, Axis 1 - Action 1.2.2, deals with waste management and waste derived from electrical cable management processes within the current production line of the company R.ED.EL.*

*The treatment of waste coming from the waste of electrical plants finds the greatest number of critical issues in its disassembly phase, this question becomes even more sensitive if we consider that from this passage depends the supply of precious materials such as Copper and Aluminum. With the first "de-manufacturing phase", the technical characteristics of the PVC belonging to the "electric cable" component were verified. In the subsequent "re-manufacturing" phase, these materials will be re-used for the production of industrial eco-innovation products / components. The building sector and the reference market regard sustainable supply chains that use eco-compatible and multi-functional materials. The authors of the text conducted the experimental research activities within the innovative startup laboratory PMopenlab, project-research consultant.*

## **1. Introduzione**

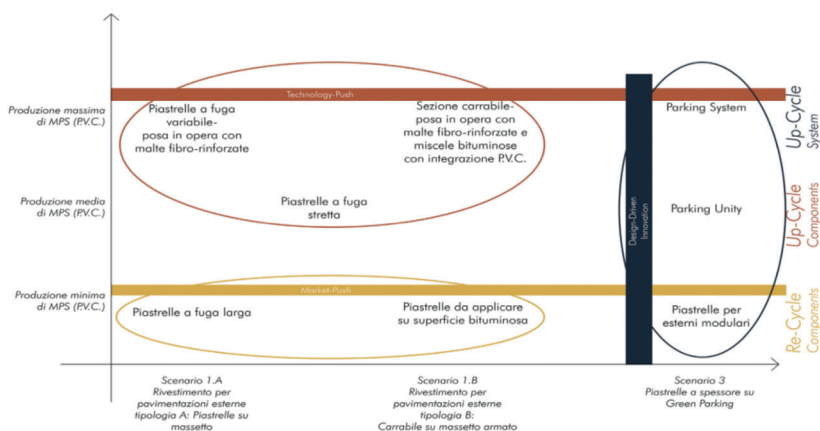
Il caso studio presentato descrive i processi di EcoDesign e Manufacturing nei processi di valorizzazione delle plastiche provenienti dalla dismissione dei cavi elettrici in PVC, con riferimento al progetto-ricerca PVCUpCycling [1]. Il documento evidenzia le relazioni messe in campo nei processi di EcoDesign e Digital Manufacturing, adottando un sistema complesso

di tecnologie abilitanti capaci di interpretare gli obiettivi di sostenibilità richiesti in tutte le fasi del progetto, dal demanufacturing al remanufacturing.

Nella fase di smart manufacturing/smart materials - smartsolutions, il controllo delle prestazioni e delle qualità tecniche dei prodotti finali è attuato attraverso la formulazione di un modello che verifica criteri e prestazioni di sostenibilità, attraverso check-list di tipo energetico-ambientale, che costruiscono il quadro delle prestazioni nelle schede tecniche formulate sugli scenari sperimentati in cantiere-laboratorio e con il confronto con prodotti di mercato competitivi.

## 2. Relazione

Il modello di Ecodesign utilizzato di tipo “ibrido” punta a riformare ed innovare il “sistema-prodotto” ed è quindi formulato sull’innovazione spinta dal mercato (market push) e su quella governata dalla tecnologia (technology push). Questo modello viene testato sugli scenari nelle tre dimensioni riferite alla produzione minima, media e massima di PVC nel processo di Upcycling (Fig. 1).



**Fig. 1** – Design Driven Innovation per PVCUpCycling (fonte: [www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com))

### 2.2.1 Design Driven Innovation

*“[...] le aziende spesso posseggono i semi delle capacità Design-Driven. Ma occorre riconoscerle e trasformarle in risorse aziendali, coltivandole, modificandole, incrociandole e usandole. Questi ultimi processi non avvengono spontaneamente. Devono essere guidati.” [2]*

Perseguire un tipo di innovazione sperimentale del tipo Design-Driven significa nel caso di PVCUpCycling usufruire di un asset concettuale di processi/prodotti che possano guidare la realizzazione degli scenari di sperimentazione in modo sostenibile, sia in termini di approvvigionamento energetico sia in termini di approvvigionamento di Materia Prima Seconda (MPS), coerentemente con l’obiettivo primario di formulare scenari che in maniera progressiva riescano ad impiegare il miglior profilo energetico-ambientale.

Nello specifico le voci della figura 1 si riferiscono secondo il modello di Design Driven Innovation di R. Verganti a tre tipi di innovazione qualitativamente differenti: Innovazione legata alla spinta del mercato (a), innovazione tecnologica (b), innovazione di tipo design driven (c). (a) Il riferimento all’innovazione sostenuta dalla spinta del mercato è innescato nel caso di PVCUpCycling, avviando una fase sperimentale nella quale la scelta dell’oggetto di sperimentazione è legata ad un tipo di prodotto facilmente collocabile sul mercato di competenza, sia

per quanto riguarda gli aspetti delle restrizioni normative di cui tener conto, sia rispetto alla facilità di applicazione e sperimentazione in situ.

Il caso in questione riguarda la sperimentazione che si riferisce al primo output relativo alla prima fase di PVCUpCycling, ovvero la realizzazione della mattonella 4,9x7cm, realizzando un tipo di rivestimento per pavimentazione esterne.

(b) La seconda fase di sperimentazione riguarda l'innovazione tecnologica durante la quale, tenuto conto dei risultati dalla sperimentazione del mercato, si utilizza l'impianto di tecnologie abilitanti (KET) messo a sistema nella stesura del progetto PVCUpCycling, per orientare la sperimentazione verso l'aumento delle performance in ottica competitiva. A questo punto l'applicazione dello stesso output (mattonella 4,9x7cm), viene implementata con un altro tipo di output, ovvero il polverino di PVC, che ricavato dalla fase di de-manufacturing, è la base per la realizzazione delle mattonelle per il sistema di rivestimento pedonale. In questo caso il componente viene ibridato con la malta per la realizzazione di fughe, realizzando un tipo di malta per "fughe ad alta resistenza", e un ibrido di polverino di PVC e malta cementizia per la realizzazione di un massetto armato con un tipo di malta che, a questo punto può dirsi fibro-rinforzata.

(c) L'ultimo step sperimentale riguarda la costruzione di un impianto teorico per la realizzazione della sperimentazione del tipo Design Driven. [2] Secondo la definizione di R. Verganti: *"L'innovazione non è solo quella indotta dal processo tecnologico o quella spinta del mercato. C'è anche una terza strategia, un cambiamento radicale di prospettiva che introduce un nuovo forte modo di competere. È l'innovazione "Design driven", guidata dal design, che non viene dal mercato, ma crea nuovi mercati; non spinge nuove tecnologie, ma dà vita a nuovi significati. E cambia le regole del gioco."*

Per realizzare questo *cambio di prospettiva* auspicato da Verganti è stato necessario cambiare l'oggetto della sperimentazione; mentre nelle prime due fasi di sperimentazione l'oggetto ha riguardato il Design per l'UpCycling di un processo/prodotto, questo step consiste in un avanzamento a livello di sistema, con il pretesto della sperimentazione di un sistema di "green parking ad alta resilienza" si riesce a testare l'utilità del sistema anche considerando le sue componenti unitarie.

La sperimentazione a questo punto riguarda sia il componente riciclato (ReCycle Component), un tipo di mattonella di rivestimento per esterni di 20x20x2cm, inserita in un sistema complesso quale l'unità di parcheggio (UpCycle Component), per testarne la sua operatività nella realizzazione di un sistema di Green Parking ad alta resilienza (Up-Cycle System), nel quale attraverso l'ibridazione del Digital Design e dell'Additive Manufacturing, si riesce a realizzare quel tipo di innovazione riferito ad un modello di Ecodesign di tipo "ibrido".

### 2.2.2 Scenari di Sperimentazione/Testing in situ

Nello specifico la sperimentazione, riferita all'impianto teorico costruito nel paragrafo precedente (2.1 Design Driven Innovation), riguarda la realizzazione di tre diversi scenari: Scenario 1 - Rivestimento per pavimentazioni esterne - tipologia A: piastrelle in PVC riciclato su massetto armato esistente; Scenario 2 - Realizzazione Piazzale Carrabile per movimentazione Mezzi di piccolocarico – Carica di PVC vergine in polverino ibridato in malta cementizia; Scenario 3 - Green Parking costituito da una sezione stradale con asfalto drenante e da blocchi a spessore in PVC riciclato – Sistema ibridato con tecnologie additive – stampa di componenti in 3D e blocchi in PVC MPS stampati.

Si realizzano in cantiere-laboratorio c/o R.ED.EL. i 3scenari che utilizzano componenti di PVC ibrido quale MPS in differenti consistenze: polverino sciolto, polverino stampato su più formati. L'obiettivo è quello di contabilizzare la quantità di materiale PVC riciclabile su un'unità funzionale e definirne anche un profilo energetico-ambientale per la riduzione di



CO<sub>2</sub> corrispondente al sistema realizzato. Si tratta quindi di percorrere altri due obiettivi ai fini della fase pre-prototipale:

- valutare quale prodotto pre-commerciale può trovare nell'innescio della filiera industriale un settore disponibile, per le tecnologie già disponibili in azienda (scenari realizzati) e con quali ricadute sul modello di business e di filiera innovativa recupero-riciclo per un'economia circolare a rifiuti zero;
- valutare quali mercati competitivi possano accogliere prodotti più elevati e con quali tecnologie da attivare con un allargamento della scala tecnica ed economica dell'azienda (scenari da realizzarsi). [3]

### 2.2.3 Scenario 1 Rivestimento per pavimentazioni esterne - tipologia A: piastrelle in PVC riciclato su massetto armato esistente.

La prima fase di sperimentazione riguarda la realizzazione di una pavimentazione pedonale, utilizzando la piastrella in PVC riciclato, posata su massetto armato già esistente, come rivestimento per esterni.

La messa in opera riguarda la realizzazione di un tappetino di 120x55cm (Fig. 2) nel quale si ha avuto modo di testare sia la fase di verniciatura (post-posa) sia l'ibridazione dello stucco per il riempimento delle fughe con i granuli di MPS. Questa fase è avvenuta nella sede R.ED. EL. di Campo Calabro (RC). Nell'ottica di avere una catena di produzione diversificata in base alla quantità di MPS disponibile in azienda, o nel periodo dell'anno in cui si ha un minore approvvigionamento energetico derivante da fonti rinnovabili.

COMPONENTI: Adesivo poliuretano bicomponente, stucco adesivo epossidico bicomponente, polverino PVC riciclato, fondo all'acqua pre-verniciatura + smalto all'acqua a rapida essiccazione; IMPATTI: Kg di PVC per mq di scenario messo in opera: 3,5 Kg PVC; Kg di CO<sub>2</sub> risparmiato per mq di scenario messo in opera: 7 Kg di CO<sub>2</sub>. Ore di lavorazione necessarie per la posa in opera: 6 h.



Fig. 2 – Fase realizzativa scenario 1

### 2.2.4 Scenario 2 Realizzazione Piazzale Carrabile per movimentazione Mezzi di piccolocarico – Carica di PVC vergine in polverino ibridato in malta cementizia.

Nella seconda fase di sperimentazione l'attenzione è stata rivolta nello specifico alle tecniche di ibridazione dei materiali, la posa in opera di un massetto di calcestruzzo misto a PVC, per la realizzazione di un piazzale carrabile per movimentazione mezzi di piccolo carico.

La fase di preparazione (Fig. 3) si è avviata con la preparazione dell'impasto con il polverino PVC riciclato dai cavi elettrici dismessi e scarti, quale componente dell'impasto con cemento e misto di inerti da riciclo.



Su un'unità funzionale di un metro quadro per 18 cm di spessore, il nostro impasto ha impiegato 24 kg di PVC riciclato, 25 kg di cemento, 50 kg di inerte riciclato da lavorazioni di cantiere.

Sul piazzale di sperimentazione di 50 mq, abbiamo portato fuori dalla fabbrica e non conferito in discarica 1200 kg di PVC in polverino. Un risparmio ambientale in CO<sub>2</sub> e impatto da plastiche ed economico di circa 400 euro per l'azienda.

COMPONENTI: calcestruzzo 25 kg, polverino PVC 24 kg, inerti 50 kg. (su un'unità funzionale di 1mq per 18cm di spessore), rete elettro saldata 10\*10. IMPATTI: Kg di PVC per mq di scenario messo in opera: 24 Kg PVC; Kg di CO<sub>2</sub> risparmiato per mq si scenario messo in opera: 50 Kg di CO<sub>2</sub>; Ore di lavorazione necessarie per la posa in opera:16 h per 5 mq.



Fig. 3 – Fase realizzativa scenario 2

2.2.5 Scenario 3 Green Parking costituito da una sezione stradale con asfalto drenante ed a blocchi a spessore in PVC riciclato – Sistema ibridato con tecnologie additive – stampa di componenti in 3 D e blocchi in PVC MPS stampati.

Il Green Parking (Fig. 4) è costituito da una sezione stradale con asfalto drenante ed a blocchi a spessore in PVC riciclato – Sistema ibridato con tecnologie additive – stampa di componenti in 3 D e blocchi in PVC MPS stampati. La sperimentazione realizza quanto previsto nel progetto in tema di additive manufacturing e realizzazione di scenario con componenti ibridi e provenienti da processi di ecodesign. La realizzazione di un'unità funzionale di misura 280\*450 cm, di un green parking altamente resiliente, con un sistema integrato di assorbimento delle acque per funzionamento della superficie permeabile e semipermeabile vegetale e ghiaia, con un massetto di completamento già sperimentato (scenario 1) e con un sistema stampato e componibile a misura, per lo smaltimento delle acque meteoriche, che svolge la funzione di canale e di giunto. La superficie di carico è rinforzata dalla maglia alveolare in PLA stampata, che accoglie i blocchi in spessore di PVC riciclato e il riempimento permeabile e semi permeabile e consente l'aggancio dei moduli-componenti al sistema di smaltimento delle acque. Quest'ultimo così dimensionato e realizzato nell'unità funzionale risponde con capacità in caso di sovraccarico in un tempo breve di impatto da dilavamento per pioggia (bombe d'acqua), con una capienza del sistema di circa 1,61 metri cubi.

L'acqua convogliata può essere recuperata e riutilizzata per innaffiare la stessa superficie permeabile o attività manutentive della parte impermeabile del green parking. Inoltre la realizzazione in stampa 3d dei componenti può essere utilizzata in forma prototipale quale stampo per produzione con altri materiali più performanti e in linea con processi industrializzati. L'uso delle tecnologie additive ha innescato un processo di Ecodesign e d'ingegnerizzazione dei componenti che viene descritto in allegato al presente report in tutte le sue fasi.

COMPONENTI:58 blocchi a spessore in PVC riciclato (16,30x17.31x5,00 cm); 58 alloggi per in blocchi in PVC riciclato (16,60x15,60x3,40 cm), 33 moduli alveolari (18 per inerbimen-

to, 15 per ghiaia) della misura 16,60x15,50x5 cm; 4 giunti strutturali in PLA stampati in 3D, 52 elementi per la canalizzazione delle acque in PLA stampati in 3d. IMPATTI: Kg di PVC per mq di scenario messo in opera: 24 Kg PVC; Kg di CO<sub>2</sub> risparmiato per mq si scenario messo in opera: 50 Kg di CO<sub>2</sub>.

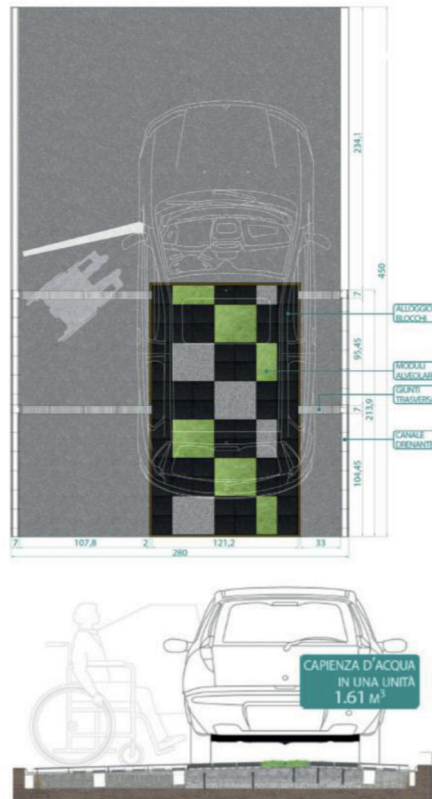


Fig. 4 – Design Scenario 3 (F. Autelitano)

### 3. Conclusioni

PVC Upcycle EcoDesign è il secondo step del modello circolare progettato per la missione “rifiuti zero” dell’azienda R.ED.EL., con l’obiettivo specifico di indirizzare il ciclo di vita del prodotto verso modelli più o meno performanti [4]. In conclusione si può asserire che il successo dell’obiettivo si è avuto grazie al modello dell’ecodesign “cradle to cradle”, operato su due diversi livelli:

- Il primo, che possiamo definire indirizzato alla “capacity building”, ovvero attraverso un laboratorio “dedicato” del tipo “design driven innovation”, fondato sulla creazione asset relazionali, per costruire capacità e scambio su quattro attività: I. strategie; II. sviluppo e rinnovamento; III. processo di interpretazione dell’avanzamento della ricerca, di acquisizione e miglioramento di metodologie e strumentazioni in un sistema di workshop che sviluppa concept dei prodotti/prototipi; IV. innesto del design discours, per incrementare la reputazione dell’azienda e attrarre nuovi competitors e mercati.
- Il secondo livello, di “smart manufacturing” nella fase di individuazione delle smart solu-

tions, con le attività di prototipazione di prodotti e componenti realizzati per impiego delle tecnologie non convenzionali e ad alta produttività.

### **Bibliografia**

- [1] **Nava C.**, Progetto di ricerca POR Calabria 14-20, ASSE I, Azione 1.2.2 Promozione della ricerca e dell'innovazione, Regione Calabria, 2017/18/19 - UpCycling – Economia circolare e Rifiuti zero con l'upcycling degli scarti provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici, [www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com)
- [2] **Verganti R.**, Design Driven Innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi; Rizzoli ETAS, 2009
- [3] **Nava C.**, Ipersostenibilità e Tecnologie Abilitanti. Teoria, Metodo e progetto., lez.IV., Aracne ed., Roma, 2019
- [4] **Vezzoli C.**, Design Multiverso. Design per la sostenibilità ambientale; Zanichelli, 2007

# Lana di pecora come ammendante naturale: una risorsa a sostegno dell'economia circolare

*Mazziotti Carla [carla.mazziotti@ibe.cnr.it](mailto:carla.mazziotti@ibe.cnr.it) (1), Ugolini Francesca (1), Fardelli Antonio (2), Mari Massimo (2), Camilli Francesca (1)*

*(1) Istituto per la BioEconomia – CNR– sede di Roma*

*(2) Istituto sull'Inquinamento Atmosferico - CNR*

## **Riassunto**

*Questo lavoro intende dare un contributo al possibile impiego della lana di pecora nelle coltivazioni agrarie nell'ottica di un'economia circolare e di un uso efficiente delle risorse (direttive del 30 maggio 2018, n. 849-850-851-852/2018/EU, in materia di rifiuti).*

*La lana utilizzata in questo studio è stata sottoposta a lavaggio industriale e applicata in due prove in campo condotte in un suolo franco sabbioso, su due specie diverse: *Phaseolus vulgaris* L. (fagiolino verde) e *Spinacia oleracea* L. (spinacio). La lana è stata distribuita a 20 cm di profondità e mista a suolo nei primi 20 cm di profondità. I risultati hanno dimostrato un incremento della biomassa e della produzione di fagiolini tre volte superiore rispetto al controllo (senza lana) e nello spinacio, un incremento di dimensione fogliare, ma non di biomassa complessiva.*

*La soluzione proposta si configura in linea con gli obiettivi europei che prevedono, tra l'altro, una diminuzione dei rifiuti prodotti e dei conferimenti in discarica ed un contestuale aumento della quantità di rifiuti biodegradabili riciclati. Essa appare inoltre rispondere in pieno ai principi cardine che governano il modello "economia circolare" proposto nell'U.E.: 1) unused value (eliminazione dello "spreco d'uso" e contestuale valorizzazione dello stesso); 2) waste as raw materials (generazione di materia prima seconda per la sostituzione di materia prima vergine); 3) end of materials early death (allungamento ciclo di vita, non permettere che materia sana venga dismessa).*

## **Summary**

*The present paper shows the possible use of the sheep's wool in the agricultural cultivations with a view of a circular economy and an efficient use of resources (directives n. 849-850-851-852/2018/EU on waste, circular economy package). The wool used in this study was subjected to industrial washing and applied in two field experiments in a sandy loam soil, on two different species: *Phaseolus vulgaris* L. (green bean) and *Spinacia oleracea* L. (spinach). The wool was distributed at a depth of 20 cm, and mixed with soil in the first 20 cm of depth. The results showed an increase in biomass and production of green beans three times higher than in control (without wool) and in spinach, an increase in leaf size, but not in overall biomass.*

*The proposed solution is in line with the EU's objectives for the reduction in the waste produced, landfill diversion targets and the simultaneous strengthening provisions on waste prevention by means of the increase of recycling of biodegradable waste. In fact, it meets the key principles governing the "circular economy" model, such as 1) unused value (someone's waste and unused material become resources for someone else), 2) waste as raw materials (secondary raw material*

generation and reduce the consumption of primary virgin raw materials), 3) end of materials early death (longer lifecycle).

## 1. Introduzione

### 1.1 Indicatori di circolarità

La normativa europea in materia di economia circolare fissa ambiziosi obiettivi, specie in riferimento alla modalità di gestione dei rifiuti, lasciando, nella fase di recepimento, ampia libertà d'azione ai governi nazionali per il raggiungimento degli stessi. L'Italia è, tra i paesi europei, quello che ha già da tempo colto i vantaggi di tale comparto, puntando sulla ricerca e l'innovazione. Attualmente si sta lavorando per il recepimento del pacchetto normativo europeo sull'economia circolare, che dovrà essere ultimato entro il 05/07/2020. Il recepimento del pacchetto normativo determinerà necessariamente la significativa modifica di molte disposizioni di cui alla parte IV "norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati" del D.lgs. 152/2006 (c.d. Codice dell'ambiente).

Il nostro Paese, nelle more del recepimento, in data 2 febbraio 2016, attraverso la legge di stabilità 2016, ha emanato il c.d. "Collegato ambientale" (legge 28 dicembre 2015, n. 221), contenente disposizioni volte alla promozione della *green economy* e dello sviluppo sostenibile. La norma, evidentemente necessaria nel contesto nazionale, interessa in maniera trasversale i settori più strettamente connessi alle questioni ambientali ed ha sostanzialmente già permesso una parziale penetrazione dei principi dell'economia circolare all'interno dell'ordinamento giuridico italiano.

In questo contesto sarà di fondamentale importanza definire validi ed opportuni indicatori di circolarità. Questi, al fine di valutare compiutamente i risultati ottenuti attraverso le attività avviate per l'implementazione del modello economico circolare, avranno ancor più rilevanza in Europa, dove il *soft approach* adottato dall'Unione europea, renderà un'ampia libertà di azione ad imprese e cittadini, che potrebbero anteporre i propri interessi economici e di *business* alle necessità determinate dalle condizioni ambientali cui versa attualmente il nostro pianeta e che hanno portato all'esigenza di realizzare il passaggio da un sistema economico di tipo lineare ad uno di tipo circolare [1].

L'Agenzia europea per l'ambiente ha estrapolato le cinque caratteristiche che un indicatore di circolarità dovrebbe essere in grado di valutare: 1) *riduzione input e utilizzo risorse*; 2) *riduzione livelli di emissione*; 3) *riduzione delle perdite di materiali*; 4) *aumento dell'utilizzo di risorse rinnovabili e riciclabili*; 5) *estensione del ciclo di vita dei prodotti*. Allo stato attuale, tuttavia, la stessa Agenzia europea per l'ambiente rileva che non è ancora stato creato un indicatore in grado di monitorare da solo le cinque caratteristiche sopra riportate [2].

### 1.2 Lana di scarto come materia prima seconda

In Italia la produzione di lana suda prodotta da razze ovine locali ammonta a circa 14.400 tonnellate all'anno ed è costituita da un materiale che rientra in una gamma di categorie che va dalle lane di moderata a quelle di bassa qualità [3]. A causa di tali standard qualitativi che, in media, non rispondendo alle esigenze dell'industria tessile dell'abbigliamento-arredamento, non trovano sbocchi di mercato in questo settore e a causa di problemi organizzativi e logistici a livello agricolo, le lane prodotte da razze ovine locali sono spesso conferite in discarica dagli allevatori [3].

Una delle possibilità per dare nuovo valore a questo materiale ed esaltarne le potenzialità attraverso la valorizzazione delle sue proprietà fisico-chimiche, sono le applicazioni tecniche come il possibile impiego della lana di pecora. È noto che la lana mantiene l'umidità del suolo [4 e 5] migliorando la capacità di quest'ultimo di trattenere l'acqua.

È, inoltre, biodegradabile e contiene nutrienti che le piante possono utilizzare e agire come fertilizzante a lento rilascio: soprattutto di azoto e zolfo [6], ma anche Cu, K, P, Mn, Zn [7, 8 e 9] derivati dalla degradazione della sua proteina, la cheratina.

Tra gli obiettivi di questo studio rientra l'individuazione dell'indicatore più adeguato tra quelli esistenti sulla base dei risultati promettenti di prove in campo sull'applicazione della lana sgrassata. A valle di un'analisi successiva e più approfondita del processo di lavaggio industriale e dei connessi impatti economici ed ambientali, verrà valutata l'opportunità di condurre uno studio più approfondito di tipo LCA. Solo attraverso uno studio di questo tipo sarà possibile proporre un appropriato confronto tra i due scenari in esame per la gestione della lana di scarto: conferimento in discarica vs lavaggio industriale ai fini del riciclaggio della lana di scarto per il suo utilizzo (anche) come fertilizzante /ammendante in agricoltura.

## 2. Materiali e metodi

Gli indicatori di circolarità sono attualmente oggetto di numerosi studi condotti da parte di esperti in materia, provenienti da diversi settori, da quello della ricerca, a quello industriale ed istituzionale. Tra le iniziative più interessanti per la definizione di indicatori idonei al monitoraggio dei processi di circolarità, si segnalano quelle condotte da EUROSTAT a livello europeo e dai Ministeri dello sviluppo economico e dell'ambiente in collaborazione con ENEA a livello nazionale.

Al fine di valutare l'indicatore di circolarità più adatto per riutilizzare questo materiale come materia prima seconda (fertilizzanti/ammendanti) nelle coltivazioni agrarie, sono state prese in considerazione le diverse fasi di produzione.

Moraga *et al.* [10], propongono uno schematico riepilogo degli indicatori di circolarità attualmente più diffusi, suddivisi per scopo ed ambito dell'analisi, che forniscono informazioni preziose nel contesto delle valutazioni LCA a supporto dei decisori.

Con riferimento al processo in esame si rileva che molti degli indicatori riportati consentono un'efficace quantificazione dei vantaggi ottenuti: per esempio *longevity*, in grado di rilevare l'aumentato ciclo vitale della lana; RR, livello di efficienza del riciclo; contatore di NTUM, numero di volte in cui si utilizza un dato materiale; MCI, indicatore di circolarità del materiale; ...). Per meglio rappresentare, tuttavia, in un'ottica di economia circolare, i vantaggi derivanti dall'utilizzo di lane di scarto, attualmente conferite in discarica, come materie prime seconde (fertilizzanti/ammendanti nelle coltivazioni agrarie), indicatori adeguati potrebbero essere quelli dell'ambito 2 (Misura effetti dei cicli tecnologici in riferimento ad aspetti economici, ambientali e sociali, in base al principio causa-effetto), ovvero il PLCM (*Product-Level Circularity Metric*), che è il rapporto tra il valore economico dei flussi di energia e materia derivanti da operazioni circolari e il valore economico di tutti i flussi del ciclo produttivo, e lo SCI (*Circular sustainability index*), che è in grado, attraverso un confronto con lo scenario di riferimento "economia lineare" di rilevare i progressi ottenuti attraverso l'adozione di processi circolari.

Il vantaggio derivato dall'uso della lana di scarto per le produzioni orticole è stato verificato tramite due test in campo svolti tra la primavera e l'estate 2018-2019 su due colture, una leguminosa, il fagiolino verde *Phaseolus vulgaris* L. (esperimento 1, da aprile a luglio 2018) e una a foglia, lo spinacio *Spinacia oleracea* L. (esperimento 2, da gennaio a maggio 2019), in un'area vicino a Follonica, Grosseto (Lat. 42.938691°, Long. 10.735707°, 29 m s.l.m.) caratterizzata da terreno franco sabbioso altamente drenante.

La lana, di razza ovina sarda, precedentemente lavata con lavaggio industriale, secondo la normativa europea n. 1063/2012, è stata messa a disposizione da FCS, Fondazione per il Clima e la Sostenibilità ([www.climaesostenibilita.it](http://www.climaesostenibilita.it)). La lana è stata applicata nel suolo, sotto forma di ciuffi di fibre, secondo due modalità (trattamenti Tp e Tm) in entrambi i tipi di semina (solchi



e parcelle) utilizzati per le due colture, e confrontate con il controllo senza lana (C). Per ogni trattamento sono stati utilizzati 800 g/m<sup>2</sup> di lana, distribuiti a 20 cm di profondità nei solchi/parcelle, e ricoperti da suolo nel trattamento Tp, o mescolati al suolo nei primi 20 cm di profondità dei solchi/parcelle in Tm.

Per l'esperimento 1, dedicato al fagiolino verde, sono stati preparati sei solchi: due solchi (o repliche) per trattamento in cui i fagiolini sono stati seminati secondo distanze tradizionali.

Per l'esperimento 2, dedicato allo spinacio, sono state predisposte sei parcelle: due parcelle (o repliche) per trattamento, di 1m\*0.5m ciascuna. In ogni parcella i semi di spinacio sono stati posti lungo tre file, a una distanza di 3-5 cm gli uni dagli altri sulla fila.

#### *Parametri meteorologici e effetti della lana sul suolo*

I parametri meteorologici sono stati registrati dalla stazione meteorologica automatica locale (Lamma <http://www.lamma.rete.toscana.it>). Durante l'esperimento 1, la pioggia totale (296 mm) si è concentrata principalmente nella prima decade di maggio 2018 e la temperatura media giornaliera dell'aria è variata tra i 6 °C in aprile e 24 °C in luglio. Nell'esperimento 2, la pioggia totale (167 mm) si è concentrata soprattutto a maggio 2019 e le temperature sono state miti fino ad aprile, mentre nel mese di maggio invece, si è registrata un'anomalia termica con la temperatura media massima 3-4 °C inferiore alla media del periodo.

Al tempo dell'ultima raccolta (14 luglio 2018 per l'esperimento 1, 18 maggio 2019 per l'esperimento 2) è stata misurata l'umidità del suolo con lo strumento HH2 (Delta-T Devices, Inc.), a 0-10 cm e 10-20 cm di profondità. Inoltre, al termine dell'esperimento 1, è stata effettuata l'analisi chimica di alcuni elementi del suolo (C, N, Ca, Cu, K, P) eventualmente derivanti dalla degradazione della lana, con campioni di suolo prelevati a profondità 0-10 cm.

#### *Analisi delle biomasse*

Nell'esperimento 1 sono stati valutati: la biomassa complessiva della pianta in termini di altezza finale (cm), area fogliare totale (cm<sup>2</sup>) misurata con il planimetro (Licor-3000) e la resa in termini di peso e dimensione dei frutti (g). Nell'esperimento 2 sono stati valutati: la resa in termini di biomassa fogliare raccolta (g), gli indici di biomassa fogliare come l'area fogliare unitaria (cm<sup>2</sup>), la lunghezza della foglia (cm) e il peso fresco unitario (g).

In entrambi gli esperimenti è stato anche misurato il contenuto di clorofilla in unità di Spad (Spad-502, Konica Minolta, Japan).

### **3. Risultati**

I test in campo hanno evidenziato i seguenti risultati. Nell'esperimento 1 con il fagiolino, la mortalità del fagiolino è stata dello 0% in Tp, del 14% in Tm e del 15% in C. Le piante nel trattamento Tp mostravano un aumento della biomassa complessiva rispetto ai diversi parametri. In particolare, le piante risultavano mediamente più alte in Tp e Tm (53±2.7 e 45.8±2.3 cm, rispettivamente) rispetto a C (28.5±12.7 cm) (p<0.05), e soprattutto in Tp con maggiore area fogliare (1790±593 vs. 980±326 cm<sup>2</sup> in C) (p<0.05).

Il contenuto di clorofilla è risultato maggiore (p<0.05) nel trattamento con lana profonda (43.4±3.4 unità Spad), rispetto a Tm e al C (38.4±1.5 e 39.3±2.2 unità Spad, rispettivamente), così come il raccolto dei legumi è stato maggiore di tre volte in Tp e circa due volte in Tm, rispetto al C. Inoltre, i legumi delle piante con trattamento Tp risultavano con maggior biomassa unitaria (5.3±0.7 g come peso fresco) rispetto a quelli di C (4.2±0.6 g).

Nell'esperimento 2, le piante di spinacio cresciute nelle parcelle Tp e Tm presentavano foglie più lunghe (8.1±3.2 e 7.7±3.3 cm, rispettivamente) rispetto al controllo C (5.5±2 cm). Tuttavia, solo in Tp la superficie unitaria risultava maggiore (84.6±28 cm<sup>2</sup>) rispetto agli altri trattamenti (ca. 70 cm<sup>2</sup>), mentre non sono state registrate differenze nel contenuto di clorofilla tra i diversi trattamenti.



La biomassa media totale in ciascun taglio (aprile e maggio) e quella cumulata (somma dei tagli) risultavano molto variabili all'interno dello stesso trattamento, e non si osservavano differenze significative tra i trattamenti.

I dati sull'umidità del suolo nel fagiolino rilevata sia a 0-10 cm di profondità ( $9.7 \pm 1.3$ ,  $9.6 \pm 0.5$ ,  $11.6 \pm 2.8\%$ , rispettivamente in T<sub>p</sub>, T<sub>m</sub> e C) sia a 10-20 cm ( $11.4 \pm 1.2$ ,  $10 \pm 2.3$ ,  $12.2 \pm 3.6\%$  rispettivamente in T<sub>p</sub>, T<sub>m</sub> e C) non evidenziavano differenze statisticamente significative tra i trattamenti o tra le profondità. Si nota però un'alta variabilità soprattutto all'interno del controllo (C). Anche nell'esperimento 2, l'umidità del suolo non evidenziava differenze statisticamente significative tra i trattamenti a 0-10 cm di profondità:  $13.3 \pm 0.5\%$  (T<sub>p</sub>),  $13.4 \pm 1.4$  (T<sub>m</sub>),  $12.8 \pm 0.4\%$  (C).

Dal punto di vista delle caratteristiche chimiche del suolo, a fine esperimento 1, N e C in T<sub>p</sub> risultavano il 40% più bassi che nel controllo, K il 20%, mentre P risultava leggermente più elevato.

#### 4. Discussione e conclusioni

Da quanto emerso dalle più recenti ed autorevoli statistiche nazionali relative alla gestione dei rifiuti speciali [11] appare evidente come, ancora oggi, il ricorso alla discarica sia, specie per lo smaltimento di rifiuti speciali non pericolosi, una prassi troppo diffusa nel nostro Paese. In particolare, la lana di pecora prodotta in Italia costituisce un materiale che può rientrare, almeno in parte, tra quelli inviati in discarica e che potrebbero essere recuperati nell'ottica di un'economia circolare. In proposito ISPRA stima 9.000 tonnellate di lana sucida annualmente conferita in discarica [12]. Infatti, in Italia, la qualità media delle lane prodotta da razze ovine locali e autoctone (lane definite *coarse* in inglese ossia grossolane) non risponde alle elevate esigenze qualitative dell'industria tessile e, per questo, laddove non riesca a essere immessa in circuiti produttivi, viene considerata "di scarto" ed avviata a smaltimento costituendo un onere per l'allevatore. Secondo la normativa vigente, la lana di scarto rientra nella definizione di "rifiuto speciale" ex articolo 184, comma 3, del D.lgs. 152/2006 e *s.m.i.*

Le considerazioni di carattere generale sulla gestione dei rifiuti qui riportate inducono a chiederci se e come sia possibile recuperare o evitare per queste lane lo smaltimento in discarica. Per questo, nella prospettiva di sostenere un circuito economico virtuoso, si è voluto contribuire ad indagare, in via del tutto preliminare, sugli effetti dell'applicazione della lana in agricoltura finalizzata a incentivare pratiche agricole maggiormente ecocompatibili che potrebbero sostenere lo sviluppo di un settore merceologico come quello degli ammendanti/fertilizzanti di origine biologica.

I risultati emersi in questo lavoro sembrano delineare un quadro incoraggiante per quanto riguarda la funzione della lana come ammendante del suolo e il suo ruolo sulla crescita e sulla produzione di due comuni orticole: lo spinacio e il fagiolino verde. È soprattutto su quest'ultimo che, in particolare l'applicazione della lana, nella modalità "in profondità", sembra mostrare i risultati più positivi. In questo trattamento, la crescita più sostenuta della pianta di fagiolino verde e la maggiore produzione di legumi, possono far ipotizzare un duplice ruolo della lana. Essa, infatti, potrebbe rappresentare una riserva idrica che muovendosi verso l'alto per l'evaporazione diventa disponibile alla pianta facilitando al contempo anche la solubilità degli elementi e rendendoli disponibili alle piante. Si può ipotizzare che la lana abbia avuto su quest'ultimo un effetto fertilizzante, come dimostrato nel caso di altre colture, leguminose e non [5, 7, 13, 14, 15].

È auspicabile che in prossime ulteriori sperimentazioni confermino i risultati preliminari di questo lavoro e possano essere approfonditi i meccanismi fisico-meccanici e microbiologici di degradazione della lana nel suolo. Sarà utile poi provvedere anche a precise valutazioni in termini sia di possibile risparmio idrico (criticità di particolare rilievo soprattutto nel caso

di terreni siccitosi) sia di contenimento dell'uso di prodotti ammendanti e/o fertilizzanti di origine sintetica.

Gli indicatori dell'ambito 2 (Misura effetti dei cicli tecnologici in riferimento ad aspetti economici, ambientali e sociali, in base al principio causa-effetto), ovvero il PLCM (*Product-Level Circularity Metric*), e lo SCI (*Circular sustainability index*) potrebbero rappresentare i vantaggi derivanti dall'utilizzo di lane di scarto, attualmente conferite in discarica, come materie prime seconde (fertilizzanti/ammendanti) nelle coltivazioni agrarie.

Tuttavia, come già segnalato nel presente articolo, l'utilizzo di lana per determinate colture agricole, può avere luogo, solo dopo un processo di "lavaggio industriale" della lana stessa che consenta l'eliminazione di materiale biologico (lanolina, deiezioni, materiale vegetale) o farmaci, fitofarmaci o agenti inquinanti presenti nell'ambiente con cui il vello della pecora può essere venuto in contatto. Sarà dunque determinante, a valle di uno studio più approfondito, per es. LCA, analizzare il trattamento in questione, quantificandone i connessi aspetti economici e i relativi impatti ambientali. Solo un'analisi approfondita del processo, che prenda quindi in considerazione tutti i flussi di materia e di energia nonché le connesse esternalità sociali, economiche ed ambientali, potrà permettere un valido confronto tra il conferimento in discarica e il lavaggio industriale per riciclaggio delle lane di scarto per scopi agricoli.

## Bibliografia

- [1] **Mari M, Fardelli A, Millucci L.** (2019). La legislazione europea in materia di economia circolare e il ruolo dei governi nazionali. *Ingegneria dell'ambiente* 6, n. 2/2019. <https://www.ingegneriadellambiente.net/ojs/index.php/ida/article/view/219/325>
- [2] **European Environment Agency** (2018) Circular economy and the bioeconomy – partners in sustainability. Report n. 8/2018
- [3] **Camilli F, Crisci A, Mauro A, Bacci L, Di Lonardo S, Vagnoni E, Duce P.** (2015) A Preliminary Characterization of Wools from Italian Native Sheep Breeds: Opportunities for New Productions and the Development of Rural Areas. *Journal of Natural Fibers* 12: 265–275
- [4] **Murray J, Frost J, Wang Y** (2000) Behavior of a sandy silt reinforced with discontinuous recycled fiber inclusions. *Transportation Research Record - Journal of the Transportation Research Board* 1714: 9–17 <http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/1714-02>
- [5] **Mubarak A.R., Ragab OE, Ali A.A., Hamed N.E.** (2009) Short-term studies on use of organic amendments for amelioration of a sandy soil. *African Journal of Agricultural Research* 4: 621–627 [http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf2009/Jul/Mubarak\\_et\\_al.pdf](http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf2009/Jul/Mubarak_et_al.pdf)
- [6] **Abdallah A., Ugolini F, Baronti S., Maienza A., Camilli F, Bonora L., Martelli F, Primicerio J., Ungaro F.** (2019a) The potential of recycling wool residues as an amendment for enhancing the physical and hydraulic properties of a sandy loam soil. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0283-5>.
- [7] **Górecki R.S., Górecki M.T.** (2010) Utilization of waste wool as substrate amendment in pot cultivation of tomato, sweet pepper, and eggplant. *Polish Journal of Environmental Studies* 19: 1083–1087
- [8] **Zheljazkov V.D., Stratton G.W., Pincock J., Butler S., Jeliakova E.A., Nedkov N.K., Gerard P.D.** (2009) Wool-waste as organic nutrient source for container-grown plants. *Waste Manag* 29:2160–2164 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09000828>
- [9] **Abdallah A., Ugolini F, Baronti S., Maienza A., Ungaro F, Camilli F.** (2019b) Assessment of Two Sheep Wool Residues from Textile Industries as Organic Fertilizer in Sunflower and Maize Cultivation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00079-y>
- [10] **Moraga G., Huysveld S., Mathieux F, Blengini G.A., Alaerts L., Van Acker K., Meester S., Dewulf J.** (2019) Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling* 146: 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- [11] **A.A.V.V.** (2019) ISPRA Rapporto rifiuti speciali. Ed. 2019 Rapporti n. 309/2019
- [12] **Piotto B., De Falco E., Francioni E., Lombardo A., Pagliarino E., Silli V., Vicari V.U.** (2018).

Filare, tessere, colorare, creare. Storie di sostenibilità, passione ed eccellenza. QUADERNI ISPRA Ambiente e Società 18/2018

[13] **Vončina A., Mihelič R.** (2013) Sheep wool and leather waste as fertilizers in organic production of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Acta Agric Slov* 101:191–200

[14] **Ordiales E., Gutiérrez J.I., Zajara L., Gil J., Lanzke M.** (2016) Assessment of utilization of sheep wool pellets as organic fertilizer and soil amendment in processing tomato and broccoli. *Modern Agricultural Science and Technology* 2: 20–35

[15] **Zheljazkov V.D.** (2005) Assessment of wool waste and hair waste as soil amendment and nutrient source. *J Environ Qual* 34:2310 <https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/34/6/2310>

# Study of the recyclability of thermoplastic polyurethane

Paolo Pozzi [paolo.pozzi@unimore.it](mailto:paolo.pozzi@unimore.it), Department of Engineering “Enzo Ferrari”, Modena

## Riassunto

*Il poliuretano termoplastico (TPU) risulta un polimero di particolare interesse e il cui utilizzo tende a crescere nel tempo, in quanto presenta particolari proprietà meccaniche e fisiche che ne fanno un il materiale più usato quando occorre abbinare elevata resistenza meccanica ed elasticità nella risposta. D'altro lato i TPU risultano tra quelle classi di polimeri dove il riciclo risulta meno sviluppato; abbiamo pertanto analizzato il comportamento al riciclo termo-meccanico di questo materiale per verificare i limiti e possibilità nel suo recupero.*

## Summary

*The thermoplastic polyurethane (TPU) is a polymer of particular interest whose use tends to grow over time as it has particular mechanical and physical properties. These properties make it the most used material when it is necessary to combine high mechanical strength and elasticity. On the other hand, TPUs are among those classes of polymers where recycling is less developed, therefore we have analyzed the thermal-mechanical recycling behavior of this material to verify the limits and possibilities in its recovery.*

## 1. Introduction

Thermoplastic elastomers are a particular class of polymers that possess both the elastic properties of the rubbers and the possibility of being melted once they are brought to high temperatures. This is possible because the crosslinks that form between the chains are polar or hydrogen bonds and therefore weak bonds that are separated when the temperature increases. Among these materials, thermoplastic polyurethane (TPU) is of particular technological interest given its important physical and mechanical characteristics that make it a widely used polymeric material. TPU, like all polyurethanes, have a low recycling activity [1-2-3-4], therefore in this work the characteristics of the TPU were evaluated after thermo-mechanical recycling to verify the possibility of recovery of this polymer. The choice of thermo-mechanical recycling is linked to the thermoplastic properties of the polymer, which make it possible to use this recycling technique. On the other hand, thermo-mechanical recycling determines a degradation of the material [5-6] that proves to be verified, therefore the activity was developed using a TPU normally used in injection molding. In our case, we used Desmopan 392, a polyurethane particularly used in injection molding. The polymer was injection molded, regrinded and reprinted, this process was repeated three times. The samples obtained were characterized by shore A and D hardness tests, breaking load, yellowing and scratch test to compare the properties of virgin and recycled material. The results obtained showed a good stability of the physical and mechanical properties of the TPU, thus showing high resistance to thermo-mechanical degradation produced by recycling. In particular, a remarkable resistance of the mechanical properties has been highlighted, which remain almost unchanged in the analyzed samples, a particularly significant result since generally thermo-mechanical recycling

determines significant effects on polymeric materials. This data highlighted a high propensity to recycle TPU, which allows us to assume that it is possible to expand the recovery of this material and specifically to surely implement the recovery directly in the production phase.

## 2. Relation

From the point of view of the loss of mechanical characteristics, in the case of thermoplastic polyurethane, there are few scientific articles on the subject in the literature and, for the most part, they go to investigate the effects of aging of the material in close contact with water. More specifically, the effect of UV rays on the polyurethane creates a change in the density of the material with effects on the elastic modulus and resistance to elongation with a loss of both characteristics. However, over long periods, due to the effect of UV rays there can be a modification of the molecular structure of the material, which brings about a recovery of the mechanical properties. In practice, after a long exposure it is possible to have parameters of elastic modulus and stress equal to or greater than those of the untreated material. From the point of view of the surface properties, there is a considerable change with loss of tribological characteristics, formation of micro-cracks and variation of the color of the material; moreover, there is an increase in the glass transition temperature. As far as contact with water is concerned, the immersion of specimens in water at different temperatures showed a loss of mechanical characteristics in the specimens and a modification of the surface characteristics. Starting from these considerations, the losses of mechanical and physical characteristics of a thermoplastic polyurethane were analyzed, in order to draw conclusions about the material in general.

### 2.1 Polyurethanes

Polyurethanes represent a large family of polymers in which the polymeric chain contains urethane bonds that form between the functional group  $-N = C = O$  of the isocyanate and the  $-O-H$  group of polyol. PU synthesis (Figure 1) is achieved through the reaction between di-isocyanates, characterized by the functional group  $-N = C = O$  and of the reaction with compounds containing more hydroxyl groups, such as polyols.

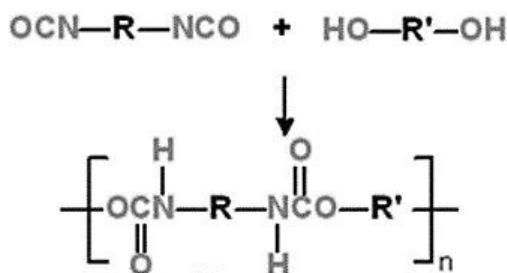


Fig.1 – Polyurethane production reaction scheme

Polyurethanes differ in two large families, the main one being composed of thermosetting polyurethanes (PU) in which the formation of the polymer is accompanied by a cross-linking reaction that leads to the production of cross-linked materials. The second family consists of thermoplastic polyurethanes (TPU), non-crosslinked polymers that have the characteristic of being able to be melted and reformed. This property is the basis of the possible thermo-mechanical recycling that can be applied to these polymers. On the other hand, this type of recycling is impossible to apply to thermosetting polyurethanes. The thermoplastic

polyurethanes are used in particular in the injection molding and in the extrusion for the production of components which must have considerable mechanical strength together with softness and elastic properties.

*2.2 Experimental activity*

For the experimental study, a TPU called Desmopan 392 was used, in number 392 the first digit indicates a serial number while the other two indicate the Shore A hardness typical of the material; in the particular case it is assumed that it is in the 90-94 Shore A range. In order to verify the changes in the characteristics of the material, the following procedure was applied: the TPU was molded in two different forms. One form is the usual for bone of dog with standard measures in according from tensile testing ASTM D638 standard and the other one is that to flat plate suitable is for the tests of hardness that for the scratch test. Half of the samples obtained are stored for physical-mechanical tests, while the remaining half, after drying in an oven at 80 ° C for 2 hours, has been re-milled and remolded. This phase was repeated three times. The molding, grinding and re- molding operation serves to simulate what would happen in reality with a mechanical-thermal recycling.

*2.3 Mechanical tests.*

The first test performed for the characterization of the material is the tensile test, for the test the specimens are subjected to an elongation with a speed set at 50 mm / min using an Instron 5567 testing machine. The results obtained are shown in Table 1, from which it is noted that there is a decrease in the value of stress at break ( $\sigma$ ). The same behavior is observed for the elastic modulus (E), less evident in the first two recycling steps but more marked in the third. The elongation at break ( $\epsilon$ ) presents a small increase in the first steps of recycling and then decreases in the third; this indicates a marked embrittlement of the material. The values in the table refer to the average values obtained on five samples subjected to the tensile test.

TPU	E [MPa]	$\sigma$ [MPa]	$\epsilon$ [%]
TPU	33.5	26.5	510.2
Remolding 1°	34.8	27.6	519.9
Remolding 2°	31.3	20.9	515.1
Remolding 3°	27.3	18.6	488.8

**Tab. 1 – Mechanical test values**

*2.4 Hardness test*

Another characterization test is the Shore A and D hardness measurement on the specimens. In the particular case, the measurements were carried out in 5 positions on each single sample, and for each single lot 5 different samples were chosen. In this way, a statistical approach is obtained as correct as possible.

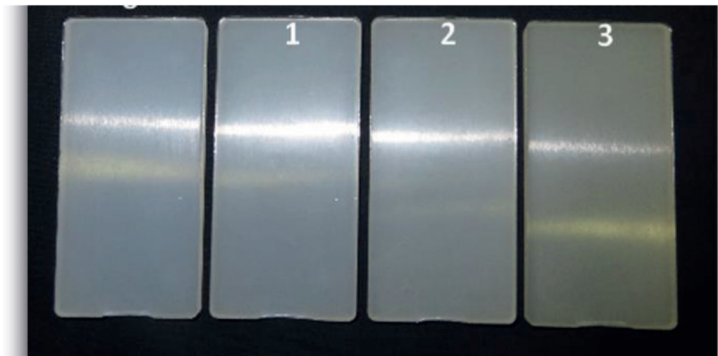
TPU	Hardness	
	Shore A	Shore D
TPU	88.9	40
Remolding 1°	88.1	39.6
Remolding 2°	88.7	39.7
Remolding 3°	88.5	39.5

**Tab. 2** – Hardness test values

The data showed a small decrease in surface hardness on the samples, but the loss observed after 3 recycling steps is really minimal. These data are particularly interesting, in fact the surface characteristics of the materials are increasingly important as the surface characteristics are directly correlated with the aesthetics of the materials, a fundamental parameter in many products. During the measurement of the surface hardness of the specimens it was observed a high elastic return of the property material observed also during the scratch tests, and during the tensile tests. This elastic return, with the steps of recycling decreases and for the last recycling step the sample has a decidedly lower elastic return compared to the starting TPU.

### 2.5 Chromatic test

Another aspect not to be underestimated is the variation in color of the TPU after the various cycles of grinding and recycling, as can be seen from Fig.2, the material tends to darken in particular with the third recycling phase, a typical behavior attributable to thermal degradation.



**Fig. 2** – Chromatic control plates

### 2.6 Scratch test

To complete the overview of its sample properties and above all, to complete the characterization of surface properties, scratch tests were carried out on samples of non-recycled TPU with different degrees of simulated recycling. For the test, the sample is subjected to a superficial scratch from a diamond tip that gives the material a known strength. During the measurement phase the penetration of the tip into the material is continuously monitored and, in the next step, the residual depth of the scratch is detected to detect any elastic returns of the material. It is then possible to acquire a panoramic image of the scratch on the material to identify breaks in the surface coating and the width of the mark left on the sample by the tip. In the particular case it was decided to subject the material samples to an incremental force from an



initial value of 10 mN to a final value of 200 mN while the length of the scratch is 10 mm: the trend is a ramp with slope fixed. The advancement speed of the drill is 50 mm / min. The diamond tip has a diameter of 100  $\mu\text{m}$  and has a typical shape of the Rockwell test. From the data in Table 3, the marked difference in the depth of incision between the TPU and the recycled material is noted. Conversely, among the recycled samples this difference is no longer present and the penetration of the tip into the material remains almost the same. Similarly behaves the “residual depth” and that is the result of the elastic recovery of the material which eliminates a large part of the track. In particular, the difficulty of engraving the material which was so elastically deformable as to make it particularly complex to obtain a trace measurable by the instrument and especially visible to the images must be emphasized.

	Pd [nm]	Rd [nm]
TPU	-36883.4	1902.665
Remolding 1°	-66906.4	1382.791
Remolding 2°	-67648.9	3140.089
Remolding 3°	-68933.8	2003.573

**Tab. 3** – Incision depth (PD) and incision recovery (RD)

### 3. Conclusions

The results obtained showed that the TPU is particularly stable in the thermo-mechanical recycling process. In particular it was observed that only after three treatment cycles there are signs of physical-mechanical degradation, in particular the development of coloring and the loss of elastic properties with an increase in the fragility of the polyurethane. This situation leads to consider particularly interesting the development of TPU recycling in particular by developing the recovery of the polymer from objects produced with this material. For example, in this framework we point out the possible recovery from ski boots, car components, roller conveyors, as well as it is surely possible to implement pre-consumer recycling to be carried out directly at the factory using the non-conforming or defective pieces produced. TPU recycling is particularly interesting as TPU is a polymer with a particularly high cost per kg and therefore a recovery chain for this material would work with interesting economic margins. The problem also in this case is linked to the fact that these polymers are generally used in multi-material products that are generally not recovered in dedicated supply chains.

### Bibliography

- [1] **Gijsman P.**, *Review on the thermo-oxidative degradation of polymers during processing and in service*, *e-Polymers n°65*, (2008).
- [2] **Singh N., Hui D., Singh R., Ahuja I., Feo L.**, *Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications*, *Composites Part B*, 115, (2017).
- [3] **Jeppsson P.**, *Processing and recycling polyurethane as thermo and thermosetting plastic*, *Master thesis, Lund Institute of Technology*, (2005).
- [4] **Behrendt G., Naber B. W.**, *The chemical recycling of polyurethanes*, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 44, 1, (2009).
- [5] **Kannan M., Bhagawan S.S., Joseph K., Thomas S.**, *Thermomechanical behavior of nanoclay filled TPU/PP blends*, *e-Polymers n°133*, (2008).
- [6] **Lee YH, Kang BK, Kim HD, Yoo HJ, Kim JS**, *Effect of hot pressing/melt mixing on the properties of thermoplastic polyurethane*, *Macromolecular Research*, Vol. 17, No. 8, (2009).

# Recycling of Kevlar fabrics in the production of protections for sports use

Paolo Pozzi [paolo.pozzi@unimore.it](mailto:paolo.pozzi@unimore.it), Department of Engineering “Enzo Ferrari”, Modena

## Riassunto

*In questo lavoro si è valutato il possibile riciclo di tessuti di Kevlar nella produzione di rinforzi per abbigliamento sportivo. I tessuti in Kevlar utilizzati sono ottenuti dal riciclo di giubbotti antiproiettile dismessi dalla polizia di stato italiana. Nel lavoro vengono analizzati lo stato di conservazione del Kevlar, le tecniche di recupero del tessuto dai giubbotti antiproiettile e viene illustrata la progettazione dei capi di abbigliamento e le tecniche di analisi utilizzate per la validazione dei capi realizzati.*

## Summary

*In this work the possible recycling of Kevlar fabrics in the production of reinforcements for sportswear was evaluated. The Kevlar fabrics used are obtained from the recycling of bullet-proof vests discarded by the Italian state police. The work analyzes the state of conservation of Kevlar, the techniques for recovering the fabric from bulletproof vests and illustrates the design of the garments and the analysis techniques used for the validation of the garments produced.*

## 1. Introduction

Among the various materials that have a planned end-of-life we find the bullet-proof vests that have a five-year expiration date. This planned end of life produces every year several tens of tons of bulletproof vests, especially from the armed forces and the police, must be disposed of. The bulletproof vest is the protective garment designed and designed to absorb firearms, the attack of cutting weapons and protection against splinters produced by explosions. Over the years, this garment has undergone numerous variations and improvements linked to the technological progress made by the materials. In particular, the modern jacket was born with the invention in the 70s, by Dupont of the ballistic fiber Kevlar. This is a particular fiber since, in addition to having excellent heat insulation characteristics, it has the ability to break down into small microfibers when it is stressed by impact forces. To increase the dissipation of forces, a layer of rubber material or other fibers is introduced between the Kevlar fabrics. The first bulletproof were rigid as they were formed by several layers of overlapping fabric and held together by a resin coating. Subsequently we moved on to soft vests produced with layers of Kevlar alternated with foam rubber or polypropylene fabrics, all held together by sewing. In addition to this technique, another type of processing was introduced in which layers produced with Kevlar fabrics are hot-glued to a polypropylene fabric, these layers are coupled with the fibers rotating 90 ° with respect to the previous layer. This technique has the advantage of improving the strength of the fibers at the moment of impact and increasing the ability to stop the projectile. Today the Kevlar fabric is joined by another type of material UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Poly-Ethylene) high mechanical strength techno polymer which is up to 2 times more resistant than Kevlar and up to the same weight 15 times more steel resistant. The jackets currently on the market are produced with the techniques

described above, but for the research activity we have used the jackets produced with Kevlar through sewing as they are simple to disassemble. The aim of the research was to directly use Kevlar fabrics for the production of other products, in particular it was thought to be used as a reinforcement of sportswear.

## 2. Relation

As for the recycling of bullet-proof vests, the interesting aspect is the duration in terms of guarantee for ballistic protection of the material inside. In fact, due to the particular nature of the object and its importance, the manufacturer of the jackets places them on the market together with a guarantee certificate with an expiration date stamped. In fact, it is assumed that due to the possible degradation of Kevlar over time, the mechanical performance of the same may decrease, reducing protection against bullets. Therefore, after this time the jackets must be replaced and disposed; however the material present, even if it does not provide a ballistic protection, can be very interesting for other types of uses. The only possibility that determines to exclude a jacket from possible recovery is the one in which the jacket has been hit by a bullet.

### 2.1 Kevlar

Kevlar fiber, or Aramid is a synthetic fiber invented in 1965 by Stephanie Kwolek at DuPont, in the literature there are numerous accelerated aging tests or simulations in extreme cases of exposure to agents that could affect the chemical structure and duration of aramid fiber over time [1-2-3]. Our tests to verify the good state of the fibers were carried out using a scanning electron microscope (SEM) and thermogravimetric analysis. The first case is certainly the most interesting for the use of our material because it allows us to have immediate feedback on the integrity of the fibers. In the SEM images we are looking for areas where a clear fracture of the fiber due to degradation is noted. The results obtained (figures 1 and 2) highlight the absence of traces of fractured fibers, the same result is obtained at the thermal analysis that shows the classic degradation behavior comparable to intact fibers.

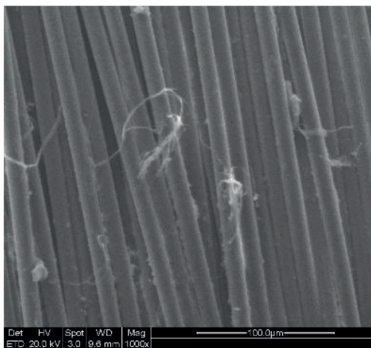


Fig.1 – SEM image of Kevlar fibers

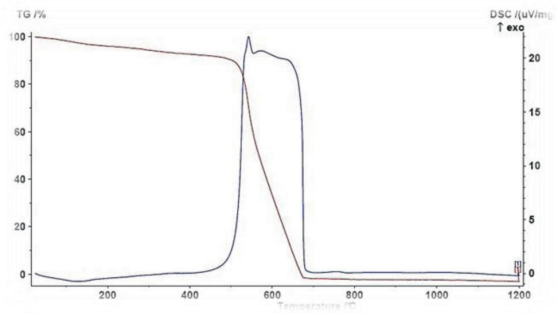
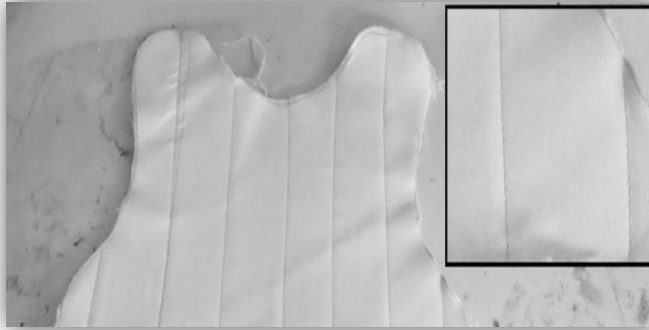


Fig. 2. Thermal analysis of the Kevlar

### 2.2 Disassembly study

To start the jackets for recycling, it is necessary to disassemble them and divide them by type into the materials that compose them. This type of operation must be performed with manual operations and only in some cases; it is possible to assume an automated treatment. The first phase of the research carried out therefore focused on the study of the disassembly of the various types of jackets. In our case, we found ourselves faced with different types of jackets

and internal structure of the bulletproof layer. The common feature among the various types of jackets is the external structure, in fact there is always a total covering made with a fabric highly resistant to wear and abrasion but not bulletproof. This fabric has the task of making the jacket aesthetically pleasing, allowing the fixing of special closures and protecting Kevlar from UV rays and the resulting degradation. In our case, attention was focused on soft type jackets that have two sufficiently thick layers of protective material inside, separated by a layer of rubber material. The protective layers are formed by a succession of sheets of Kevlar fabric, in a variable number from 10 to 30 and held together by a seam, in each single jacket there is a variable number between 60 and 80 Kevlar sheets.

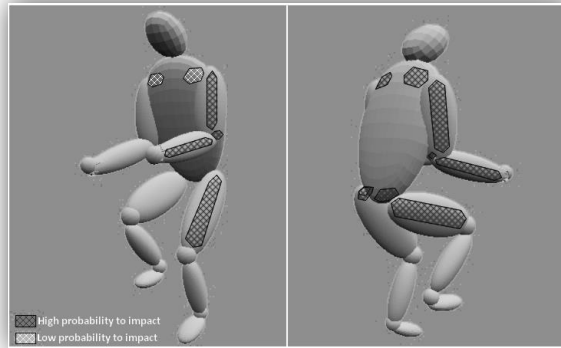


**Fig. 3 – Single-stitched jacket**

In the case in which the jacket is made up of layers of Kevlar held together by a single seam, complete disassembly is very fast since it is sufficient to cut the outer fabric with a cutter and extract the contents, sending the outer casing to recycle with normal fabric. Then the seams must be removed to obtain the individual sheets of Kevlar, ready to be reused. Generally, in a jacket there are about 1.7 kg of Kevlar and 1.3 kg of other materials.

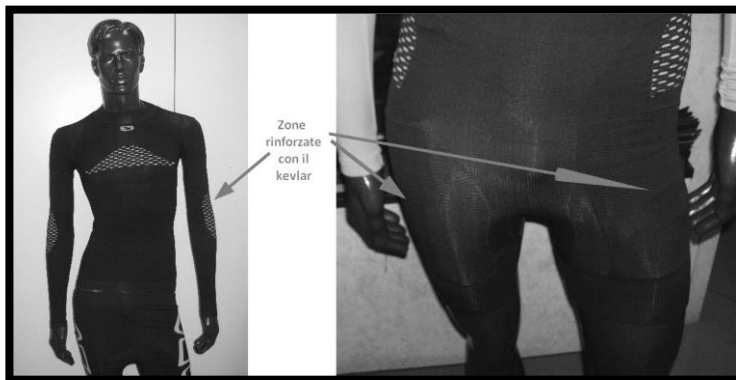
### *2.3 Protection design*

The slips on the asphalt are the order of the day for cyclists, a fall, even at a very low speed, can cause rather serious damage to the person's skin. Currently there are various types of protections on the market but they are made of rigid material and are rather bulky, such as to considerably limit joint mobility during sports activities. In our case, the idea was to create protections that provided adequate protection against possible abrasions caused by contact with the ground and, were they not too bulky, taking advantage of the high resistance of the Kevlar fabric, the result is easy to achieve. From soft type bulletproof vests, a series of layers of fabric with reduced thickness are obtained which can easily be cut out to obtain "protective patches" to be applied to the garments. The processing must be as simple as possible to avoid processes that are too long and expensive to make the material recovery procedure inapplicable. The design started by analyzing the areas of the human body most prone to abrasion injuries due to a bicycle fall. From the analysis developed, it was concluded that the areas most subject to abrasion are those of the limbs, both upper and lower. For the upper limbs a complete protection has been thought of, which involves the completely external part of the arm from the shoulder to the wrist passing through the elbow. For the protection of the lower limbs, instead, it was decided to apply the Kevlar fabric to a cycling pant in the outer thigh area.



**Fig. 4 – Study of suit protection areas**

The protective layer was interposed between two layers of fabric (PP) so as not to have direct contact with the material, both with UV rays and with the skin. In the first case, the aim is to avoid the degradation of the material, even if it would be particularly limited and identifiable only after a long period of exposure. In the second case, the choice is dictated by aspects of general comfort of the garment, in fact the Kevlar in the form of fabric, has a certain surface roughness that could create problems due to the possible rubbing between leather and material. With the recycled Kevlar, a specialized Carpi company made the experimental suits for cyclists shown in Figure 5.

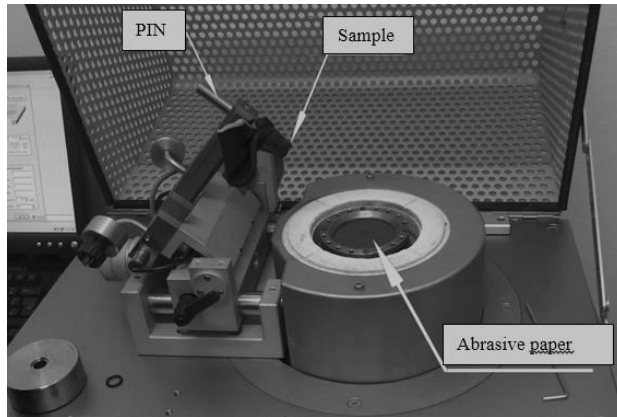


**Fig. 5 – Experimental suits for cyclists**

#### 2.4 Study of the Kevlar protection effect

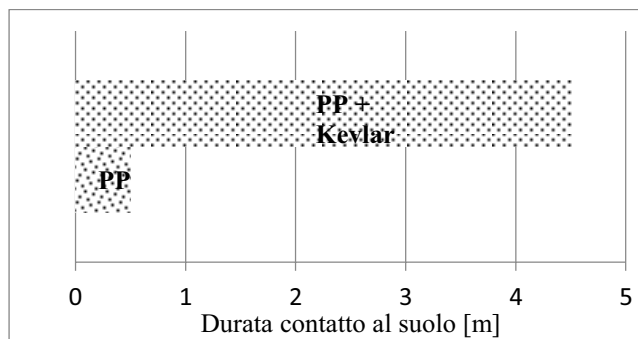
A tribometer was used to measure the abrasion on fabrics, the instrument is equipped with a rotating disk on which a pin is placed which creates a pressure generated by a weight that is chosen according to the needs of the test (Figure 6). In our case the test is of the pin on disc type, the pin is a cylinder of metal material at the end of which is attached a small rubber cylinder. The fabric sample is fixed to the cylinder in such a way as to ensure its immobility. The rubber cylinder serves as a reference in the output data to evaluate when to stop the test. On the rotating disk is placed some abrasive paper, on which the pin is placed, the contact between fabric and abrasive paper takes place on a circular area that is easily calculable as

well as the pressure exerted by the pin on the disk. This pressure was chosen based on a priori calculations simulating the fall of a person weighing 70 kg, average weight of a person. During the fall the weight is distributed over a hypothetical area of the rectangular arm with 10 cm and 20 cm sides, from the weight to area ratio we get a pressure of 35 KPa. To simulate the abrasive effect of a medium asphalt, considering the granulometry of the various bituminous artefacts currently present on our roads, an abrasive paper was chosen with a classification of the grain number 80.



**Fig. 6** – Pin on disk tribometer

The test was carried out comparing polypropylene fabric (PP) microfiber, a typical cycling suit fabric, and a layer of Kevlar mounted on polypropylene. The results showed that abrasion resistance increases by almost eight times using Kevlar as shown in Figure 7 where the simulated distance falling before the tissue break is compared.



**Fig. 7** – Distance falling before the tissue break

### 3. Conclusion

The main purpose of this research was to provide an answer to the possibility of recycling bulletproof vests. After analysis on the problems of disassembly, characterization of the quality of the materials obtained, it can be concluded that the theoretical feasibility of recycling is present. However, some problems complicate the actual implementation of the process. The

first problem, surely, is the cost of dismantling, which is not easy to evaluate. The normative aspect connected to this activity gives the second problem that arises. In fact, companies, or bodies such as the militarized bodies, must annually present the necessary documentation that ascertains the correct disposal of every single object arrived at the end of its life. Correct disposal identifies the delivery to the relevant multi utility on the specific territory or any other company that deals with the treatment of waste. It is not possible to deliver directly to a third party company interested in recycling the material of the jackets, but an intermediate step, sometimes purely bureaucratic, is required to carry out the transformation from waste to second raw material. As an example, in the case of bulletproof vests, a company interested in recovering Kevlar cannot directly contact the organization that needs to dispose of the vests but there must be a formal delivery to a third company that deals with waste disposal. This, in turn, will deliver the material present in the vests to those who will produce the sports protection. Practically speaking, no processing is done in the passage. It could, however, be assumed that, during this phase, there is the opening of the jackets with the division by single type of material, so as to prepare the various quantities for delivery to those who will take care of the reuse. The third problem is the collection of the quantities necessary to make this disposal chain work. In fact, bullet-proof vests are not strictly common but at the end of the year, they can represent an important quantity that currently goes to the landfill. Moreover, speaking of Kevlar, only certain types of objects that contain these particular materials have been taken into consideration. There are also, on the market, other objects manufactured with the same materials that could be diverted to a single disposal plant, thus creating the necessary accumulation for operation.

### **Bibliography**

- [1] **Gopalan R., Somashekar B.R., Dattaguru B.**, *Environmental effects on fibre*, POLYMER DEGRADATION, (1989).
- [3] **Kalyani V.**, *Effect of environmental exposures on the aramid fibre Kevlar*, METALS MATERIALS AND PROCESSES, (2000).
- [3] **Holmes G.A., Rice K., Snyder C.R.**, *Ballistic fibers: A review of the thermal, ultraviolet and hydrolytic stability of the benzoxazole ring structure*, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, (2006).



# Studio del recupero di materiali da demolizione nella produzione di calcestruzzi e malte

Paolo Pozzi\* [paolo.pozzi@unimore.it](mailto:paolo.pozzi@unimore.it), Pasquale Di Maro\*\*, Francesca Montaltri\*\*, Esmeralda Neri\*\*\*  
\*Dip.Ingegneria E. Ferrari Modena, \*\*CMB s.c.r.l. Carpi, \*\*\*Innovacoop Bologna

## Riassunto

*Con questo lavoro si vuole testare la possibilità di utilizzare aggregati riciclati, provenienti da demolizioni edili, per il confezionamento di calcestruzzi e betoncini, andando a creare miscele di frazioni di aggregati riciclati, che vanno in sostituzione delle frazioni naturali generalmente impiegate nella produzione di calcestruzzi e betoncini. L'obiettivo principale è la valutazione della resistenza caratteristica di campioni cubici realizzati con aggregati da recupero in sostituzione a frazioni naturali.*

## Summary

*With this work we want to test the possibility of using recycled aggregates, coming from building demolitions, for the production of concretes and grouts, producing mixtures of recycled aggregate fractions, which replace the natural fractions generally used in the production of concrete and grout. The main objective is the evaluation of the characteristic resistance of cubic samples made with aggregates from recovery as a substitute for natural fractions.*

## 1. Introduzione

La crescente richiesta di sostenibilità dei prodotti edili, ed in particolare di materiali da costruzione caratterizzati da una elevata eco-sostenibilità, ha costituito l'impulso che mi ha portato a testare la possibilità di impiego di materiali da riciclo per il confezionamento di betoncini e di calcestruzzi. Se da una parte il calcestruzzo demolito è in forte aumento, dall'altra le riserve naturali di sabbia e ghiaia sono in costante diminuzione per una mutua sensibilità della legislazione urbanistica a favore della conservazione e salvaguardia del territorio. Alcune stime indicano che il volume di macerie prodotte in Italia ha raggiunto ormai 50 milioni di tonnellate annue e solo il 10% viene avviato al recupero e collocano il nostro Paese ai primi posti nella produzione europea di detriti provenienti da demolizione e costruzioni. Questo è anche dovuto al fatto che si è sempre pensato di poter disporre di una riserva illimitata di materie prime, senza considerare invece che i rifiuti derivanti dalle attività di costruzione e demolizione potessero rappresentare un effettivo problema di smaltimento. Alla luce di quanto detto risulta ormai evidente l'importanza di riciclare i rifiuti provenienti da costruzioni e demolizioni, in quanto può comportare importanti benefici in termini di sostenibilità e qualità della vita, ma può anche offrire considerevoli vantaggi per l'industria delle costruzioni e del riciclaggio dell'Unione europea grazie all'aumento della domanda di materiali riciclati C&D che ne deriva. L'utilizzo di aggregati riciclati potrebbe comportare notevoli benefici, tra cui:

- La riduzione del numero di discariche per lo smaltimento di tali rifiuti;
- La riduzione dell'utilizzo di materie prime naturali non rinnovabili (ghiaia e sabbia);

- Salvaguardia del territorio, riducendo il rischio di abbandono abusivo dei rifiuti da C&D;
- Promozione di nuove attività imprenditoriali per il trattamento e la produzione di questi materiali.

## 2. Relazione

L'obiettivo principale è la valutazione della resistenza caratteristica di campioni cubici realizzati con aggregati da recupero in sostituzione a frazioni naturali, questa attività è alla base per la valutare il potenziale riciclo degli aggregati da riciclo. Nella prima parte del lavoro è stata effettuata una campionatura di diversi aggregati riciclati, successivamente questi aggregati sono stati setacciati in modo da ottenere frazioni granulometriche corrispondenti agli aggregati naturali utilizzati nei calcestruzzi. Queste frazioni sono state poi lavate, asciugate e utilizzate per la produzione dei calcestruzzi effettuata tramite betonaggio e colata in cubiere 15x15x15. Durante la fase di colaggio, è stata effettuata la misura della classe di lavorabilità tramite cono di Abrams. La stagionatura a 28 giorni è stata effettuata mantenendo in acqua i cubi a 20°C, a termine periodo i campioni sono stati sottoposti a prove di compressione, al fine di valutare la loro resistenza caratteristica a  $R_{ck}$ . Per le prove si è utilizzata una pressa idraulica Controls secondo la norma UNI EN 12390-3. La campionatura dei materiali è stata eseguita presso l'azienda Nial Nizzoli di Correggio (RE) mentre l'Università di Modena e la CMB di Carpi (MO) hanno fornito i laboratori per la preparazione dei campioni, infine la CTI di Imola ha fornito la strumentazione necessaria alle prove di compressione.

### 2.1 Campionatura

La campionatura degli aggregati da riciclo utilizzati nella ricerca è stata effettuata, presso l'azienda Nial Nizzoli di Correggio (RE). Dai cumuli di materiale già lavorato siti nell'impianto di riciclaggio, sono stati prelevati quattro diverse tipologie di materiali riportati in tabella 1.

Frazione	Intervallo granulometrico
Macinato Calcestruzzo	0-30
Macinato Calcestruzzo	6-20
Macinato piastrelle	6-12
Macinato piastrelle	< 5

**Tab. 1 – Aggregati campionati**

Per calcestruzzo 0-30 si intende un macinato di calcestruzzo provenienti da demolizioni edili con dimensione massima degli aggregati 30 mm, in seguito chiamato CLS 0-30. Per calcestruzzo 6-20 si intende un macinato di calcestruzzo provenienti da demolizioni edili con dimensione massima degli aggregati 20 mm e minima 6 mm, in seguito chiamato CLS 6-20. Per macinato piastrelle 6-12 si intendono piastrelle provenienti da demolizioni edili con dimensione massima degli aggregati 12 mm e minima 6 mm, in seguito chiamato Piastrelle 6-12. Per Sabbia Piastrelle si intende un macinato di piastrelle provenienti da demolizioni edili con dimensione massima degli aggregati 5 mm e minima 0 mm, in seguito chiamato Sabbia Piastrelle.

### 2.2 Setacciatura e trattamento aggregati

Per poter procedere alla progettazione di una miscela di calcestruzzo è necessario qualificare gli aggregati attraverso la distribuzione granulometrica. In questo tipo di analisi si fa uso di appositi setacci disposti in serie, ognuno dei quali trattiene la frazione di solido i cui granuli hanno dimensioni maggiori dei fori del setaccio. La colonna dei setacci è posizionata su uno

scuotitore meccanico, chiamato vibrovaglio che scuote la pila di setacci filtrando i materiali più grossolani in alto e via via più fini in basso per un determinato lasso di tempo, passato il quale si passa alla pesatura delle frazioni trattenute su ciascun setaccio. Il peso di ciascuna frazione viene rapportato al peso del solido totale per ottenere la percentuale di solido trattenuto in ciascun setaccio. Si può così costruire la curva granulometrica, riportando in ascisse il diametro dei setacci e in ordinata la percentuale passante o trattenuta (cioè tutto quello che rimane dentro il setaccio), che si ottiene facendo la differenza tra 100 e la % del passante cumulativo (curva granulometrica dei trattenuti).

La batteria di setacci utilizzati è la seguente: 40 mm, 31,5 mm, 30 mm, 25 mm, 22,4 mm, 15 mm, 10 mm, 5 mm. I risultati ottenuti sono illustrati in tabella 2.

	CLS 0-30	CLS 6-20	Piastrelle 6-12	Sabbia Piastrelle
$s > 40 \text{ mm}$	0,00			
$31.5 \text{ mm} < s < 40 \text{ mm}$	16,36			
$30 \text{ mm} < s < 31.5 \text{ mm}$	8,29			
$25 \text{ mm} < s < 30 \text{ mm}$	4,78			
$22,4 \text{ mm} < s < 25 \text{ mm}$	0.00	0.00	0.00	
$15 \text{ mm} < s < 22,4 \text{ mm}$	12,28	17,69	0,44	
$10 \text{ mm} < s < 15 \text{ mm}$	8,44	30,17	40,60	0.00
$5 \text{ mm} < s < 10 \text{ mm}$	16,30	48,04	50,49	4.2
$s < 5 \text{ mm}$	33,55	4,10	8,47	95.8

**Tab. 2 – Risultati analisi granulometriche**

Unicamente per la sabbia di piastrelle si è ritenuto di operare un'ulteriore analisi granulometrica su tre frazioni più fini: 3 frazioni: 5mm – 2 mm, 2mm – 1mm, 1mm – 0mm. I risultati sono mostrati in tabella 3.

Frazioni	%
$s > 6,3 \text{ mm}$	0,00
$4 \text{ mm} < s < 6,3 \text{ mm}$	4,11
$2 \text{ mm} < s < 4 \text{ mm}$	42,01
$1 \text{ mm} < s < 2 \text{ mm}$	27,85
$s < 1 \text{ mm}$	26,03

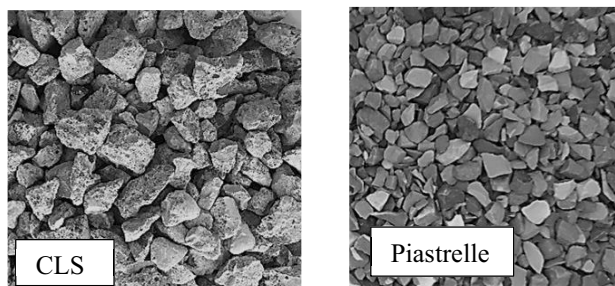
**Tab. 3 – Risultati granulometria sabbia piastrelle**

Analizzando i risultati ottenuti, si è deciso di trattare gli aggregati CLS 0-30 e CLS 6-20 tramite lavaggio e setacciatura per eliminare la frazione  $< 5 \text{ mm}$  non idonea alla produzione di calcestruzzo. L'aggregato 30-0 è stato successivamente suddiviso in due frazioni: 31-15 e 15-5. La frazione piastrelle 6-12 è stata solamente lavata e setacciata sempre per eliminare la parte inferiore ai 5mm, mentre la sabbia piastrelle è stata suddivisa in tre frazioni: 5-2, 2-1, 1-0.

### 2.3 Analisi morfologica

Gli aggregati forniti dall'azienda Nial Nizzoli sono accompagnati dalla dichiarazione di prestazione ai sensi del Regolamento n° 305/2011. Nel redigere la dichiarazione di prestazione il

fabbricante si assume la responsabilità della conformità del prodotto da costruzione. Per cui, gli aggregati utilizzati nel nostro studio sono accompagnati da certificato di prova rilasciato al fornitore da un laboratorio di prova riconosciuto. Ci siamo pertanto limitati ad una analisi morfologica con microscopia ottica, per avere maggiori informazioni sulla struttura del grano degli aggregati. In figura 1 sono riportate le foto dei vari tipi di aggregati campionati, dalle quali emerge come i CLS presentino strutture di tipo sferico, mentre le piastrelle hanno una struttura prevalentemente piatta.



**Fig. 1** – *Struttura morfologica CLS e piastrelle*

#### 2.4 Produzione calcestruzzi e betoncini

In considerazione delle caratteristiche degli aggregati si è ritenuto di produrre calcestruzzo, mentre con solamente con le frazioni ottenute dalle piastrelle si sono prodotti betoncini. Come è noto un calcestruzzo è formato da cemento unitamente a sabbia e a aggregati suddivisi in due frazioni con intervalli granulometrici predefiniti: 30-15 e 15-5 mm. Per capire lo sviluppo del comportamento del calcestruzzo con l'utilizzo degli aggregati da riciclo si è ritenuto di sostituire solo una delle frazioni per composizione. Per la definizione della composizione delle miscele, per i calcestruzzi si è utilizzato il mix design utilizzando come riferimento la curva di Bolomey, utilizzando un rapporto acqua cemento dello 0.45. Per ogni composizione sono state realizzate 25 l di miscela utili per la produzione di cinque cubetti 15x15x15. Come cemento si è utilizzato un CEM II B/L 32.5R. Le composizioni utilizzate sono riportate in tabella 4.

Volumi	Bianco							
8,64 l	Sabbia (5-0)	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	Sab.Piast. 5-2	Sab.Piast. 2-1	Sab.Piast. 1-0
4,32 l	Ghiaietto (15-5)	<i>naturale</i>	CLS 0-30 (15-5)	CLS 6-20 (15-5)	Piast.6-12 (15-5)	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>
4,32 l	Ghiaia (31,5-15)	CLS 0-30 (31,5-15)	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>	<i>naturale</i>
3,22 l	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento
4,50 l	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua
Tot. 25 l								

**Tab. 4** – *Composizione in volume della frazione dei calcestruzzi prodotti*

Per i betoncini non essendoci criteri per il mix design si è scelto di operare con rapporto acqua cemento pari al 0.5. Per ogni composizione sono state realizzate 23 l di miscela utili per la

produzione di cinque cubetti 15x15x15. La composizione del bianco è riportata in Tabella 5, mentre in tabella 6 sono riportate le composizioni di prova.

Componenti	Volume
Sabbia naturale (5-0)	8,80 l
Ghiaietto naturale (15-5)	8,80 l
Cemento	2,90 l
Acqua	2,50 l
a/c	0,50

**Tab. 5 – Composizione betonino di riferimento**

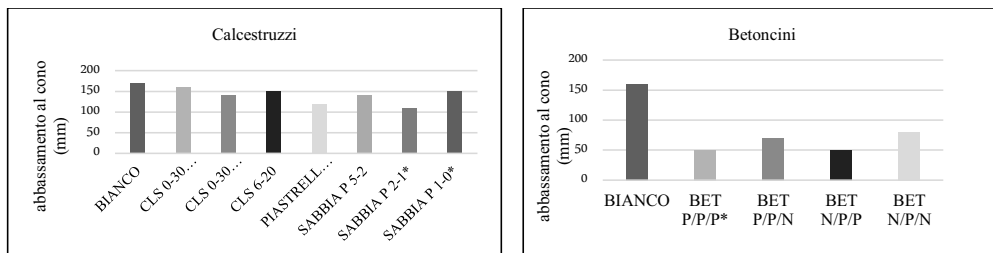
	Identificativo P/P/P	Identificativo P/P/N	Identificativo N/P/P	Identificativo P/N/P
5,87 l	Sabbia P (2-0)	Sabbia naturale (2-0)	Sabbia P (2-0)	Sabbia naturale (2-0)
5,87 l	Sabbia P (5-2)	Sabbia P (5-2)	Sabbia P (5-2)	Sabbia P (5-2)
5,87 l	Piastrelle 6-12 (15-5)	Piastrelle 6-12 (15-5)	Ghiaietto naturale (15-5)	Ghiaietto naturale (15-5)
2,90 l	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento
2,50 l	Acqua	Acqua	Acqua	Acqua
Tot. 23 l				

**Tab. 6 – Composizione betoncini di prova**

Sia i calcestruzzi che i betoncini sono stati prodotti tramite miscelazione in betoniera e colaggio in cubiere di polistirolo 15x15x15. Dopo scassero i cubi sono stati conservati in ambiente saturo a 20°C fino a maturazione a 28 giorni. Durante la fase di colaggio è stata effettuata una misura di lavorabilità utilizzando il cono di Abrams.

### 2.5 Risultati prove meccaniche e fisiche

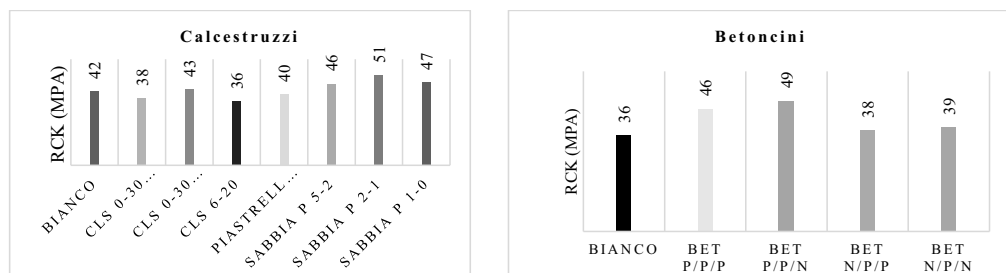
I primi dati ottenuti riguardano le prove di lavorabilità effettuate con il cono, i risultati sono illustrati in figura 2.



**Fig. 2 – Andamento lavorabilità per calcestruzzi e betoncini**

I risultati mostrano in tutti i casi una diminuzione di lavorabilità in particolare con i betoncini dove la forma piatta degli aggregati e la maggiore finezza determinano un sensibile incremento della viscosità. Questa situazione risulta recuperabile con l'utilizzo di superfluidi-

ficanti, non utilizzati in queste prove. I risultati delle prove meccaniche a compressione sono riportate in figura 3.



**Fig. 3 – Andamento carichi a compressione per calcestruzzi e betoncini**

I risultati ottenuti per i calcestruzzi, mostrano che l'utilizzo di aggregati di piastrelle presentano i risultati migliori, in particolare l'utilizzo delle frazioni fini come la 2-1. I risultati migliori in assoluto si sono ottenuti con i betoncini dove si osservano incrementi del carico dell'ordine del 30% con a sostituzione completa degli aggregati naturali o l'inserimento delle due frazioni 15-5 e 5-2. Dalle prove di compressione dei betoncini emerge come le frazioni di piastrelle risultino un materiale molto interessante. Tutti i betoncini hanno avuto una resistenza a compressione maggiore del bianco di riferimento (38 Mpa); in particolare, quello realizzato completamente con aggregati provenienti dalla frantumazione di piastrelle (BET P/P/P), ha raggiunto una resistenza a compressione di 46 MPa e il massimo si è avuto per il betoncino BET P/P/N con 49 MPa. Nel caso dei betoncini, tra l'altro si osservano valori di carico superiori al bianco del calcestruzzo (42 MPa) a indicare che gli aggregati ottenuti da piastrelle macinate presentano proprietà meccaniche particolarmente interessanti. Probabilmente questo comportamento è legato alla forma piatta dei granuli che in pasta producono un marcato intreccio tale da garantire un incremento significativo delle proprietà meccaniche.

### 3. Conclusioni

Dai dati ottenuti possiamo concludere che l'utilizzo di aggregati da riciclo è sicuramente possibile per l'ottenimento di calcestruzzi e betoncini, in particolare la morfologia del granulo gioca un ruolo importante nello sviluppo delle proprietà meccaniche finali. Morfologie piatte e con elevato sviluppo superficiale sembrano incrementare significativamente le proprietà meccaniche dei campioni in cui sono utilizzati. Ancora occorre ricordare come i risultati ottenuti sono validi previo pretrattamento degli aggregati, infatti i nostri aggregati sono stati utilizzati dopo essere stati setacciati, lavati e asciugati, questo è stato fatto per eliminare tutte quelle piccole impurezze che derivano dalla macinazione stessa e dalla movimentazione degli aggregati.

### Bibliografia

- [1] **Symonds**, "Construction and demolition waste management practices and their economic impacts", *Rapporto alla DGXI, Commissione Europea*, (1999).
- [2] **ISPRA** - Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale, "Rapporto rifiuti speciali n. 265/2017", Roma, luglio 2017.
- [3] **Topcu I.B., Sengel S.**, "Properties of concretes produced with waste concrete aggregate", *Cement and Concrete Research*, 34, 1307-1312, (2004).
- [4] **Bonoli A.**, "La valorizzazione degli inerti da C&D, Edizioni PEI", *Recycling*, n°5, (2004).

[5] **Simion I.M., Zanni S., Bamonti S., Bonoli A., Gavrilesco M., Bignozzi M.C.,** *Eco-efficient management of Construction and demolition waste*, *Procedia Environmental Science, Engineering and Management* **1** (2), 149-153, (2014).

[6] **EPA,** *Construction and Demolition Waste, Waste Management and Resource Use Opportunities*, *Queensland Environmental Protection Agency*, (2002).



# Rassegna di studi di impatto ambientale life cycle thinking sulla biogassificazione dell'organico

Eliana Mancini, [Andrea Raggi](mailto:a.raggi@unich.it), [a.raggi@unich.it](mailto:a.raggi@unich.it),  
Dipartimento di Economia, Università "G. d'Annunzio", Pescara

## Riassunto

*La valorizzazione delle matrici organiche attraverso la produzione di biogas è in crescente aumento. Per conoscere i potenziali effetti di questo prodotto sui comparti ambientali è importante valutarne l'intero ciclo di vita. Questo studio presenta una panoramica dello stato dell'arte riguardo le modalità metodologiche, basate sul Life Cycle Thinking, adottate per valutare i potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas proveniente da digestione anaerobica. L'analisi consiste in una rassegna sistematica della letteratura scientifica condotta secondo il metodo STARR-LCA. Le criticità rilevate riguardano la carenza di una terminologia condivisa e di informazioni sul metodo adottato che potrebbero generare difficoltà nell'analisi degli studi. Inoltre, la fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre. Infine, emergono pochi studi completi di sostenibilità; carenti soprattutto gli aspetti sociali.*

## Summary

*The organic waste has been increasingly utilised for biogas production. It is crucial to assess the overall life cycle of this product to understand its potential effects on the environment. This study presents a state-of-the-art overview of the Life Cycle Thinking methodological issues in evaluating the potential environmental impacts of the utilization of biogas from anaerobic digestion. A systematic review of the literature was carried out following the STARR-LCA method. The critical issues emerged are the lacking of shared terminology and general information about the method implemented, that could generate mistakes during the analysis. Furthermore, the interpretation phase is less detailed than the other steps. Finally, complete sustainability studies are scarce; especially, social aspects are neglected.*

## 1. Introduzione

La generazione di biogas tramite digestione anaerobica (DA) viene adottata in risposta a diverse esigenze, come, ad esempio, la necessità di gestire la frazione dei rifiuti organici [1, 2], oppure l'esigenza (talvolta volontà) di un soggetto pubblico o privato di produrre energia rinnovabile [3]. Esistono numerosi esempi di implementazione della tecnologia: si passa da impianti di larga scala o centralizzati, tipici dei paesi sviluppati, a quelli domestici, di dimensioni e capacità inferiori, localizzati generalmente nelle zone rurali [4]. Le peculiarità di ciascun sistema tecnologico incidono, evidentemente, in maniera differente su ogni fase del ciclo di vita del biogas [3]. Pertanto, nell'identificazione e misurazione delle performance ambientali relative a questa tecnologia, è auspicabile l'adozione di adeguati metodi di valutazione volti, per l'appunto, a identificare e misurare i potenziali impatti ambientali legati all'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio. In letteratura si trovano molteplici studi *Life Cycle-oriented*

riguardanti la produzione e l'utilizzo di biogas e digestato, il co-prodotto del biogas derivante dalla DA. In questo lavoro viene proposta una rassegna sistematica della letteratura relativa a tali studi, allo scopo di riportare le scelte metodologiche che gli autori hanno effettuato riguardo la valutazione degli impatti ambientali, fornendo, così, un quadro riassuntivo, seppur non esaustivo, utile a coloro che si troveranno a scegliere un appropriato criterio di valutazione riguardante tali sistemi tecnologici.

## 2. Relazione

Come anticipato nell'introduzione, verrà di seguito presentata una rassegna sistematica dello stato dell'arte con l'obiettivo di analizzare gli approcci metodologici, basati sul Life Cycle Thinking (LCT), adottati nella valutazione dei potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas da DA.

Nel prossimo paragrafo verrà descritto il metodo della rassegna, mentre, nei successivi sarà presentato il lavoro svolto con i relativi risultati.

### 2.1 Metodo

Per rispondere all'obiettivo della ricerca, è stata condotta una rassegna sistematica della letteratura attraverso il metodo Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of LCA data (STARR-LCA) proposto da [5] al quale si rimanda per i dettagli. Tale metodo permette di elaborare rassegne sistematiche di articoli basati sull'LCA seguendo una checklist composta da 9 fasi [5]:

1. scelta del titolo, parole chiave e abstract;
2. motivazioni legate allo svolgimento della rassegna;
3. domanda e obiettivi della rassegna;
4. descrizione del protocollo adottato per la rassegna sistematica;
5. risultati e caratteristiche degli studi individuati nella revisione;
6. valutazione dell'errore;
7. metodi di sintesi (qualitativi e quantitativi);
8. limiti della rassegna;
9. sintesi dei risultati e delle conclusioni.

#### 2.1.1 Descrizione del protocollo adottato per la rassegna sistematica

La rassegna sistematica è stata condotta servendosi del database "Scopus" e inserendo alcuni termini, in combinazione tra loro attraverso l'uso di operatori booleani, ricercati all'interno del titolo, dell'abstract e delle parole chiave: "biogas" "use", "utilization", "utilisation", "implementation", "life cycle assessment", "lca". Sono stati presi in considerazione articoli presenti su riviste scientifiche e atti di convegno pubblicati tra il 2004 e il 2019, in lingua inglese. Non è stata esclusa alcuna tipologia di tecnica relativa alla DA o di *feedstock* impiegato negli impianti, né è stato posto alcun criterio di esclusione relativo alla localizzazione dei casi studio. Il processo di selezione degli articoli è stato suddiviso in due fasi. Nella prima sono stati esaminati attentamente il titolo, l'abstract e le parole chiave. Gli articoli ritenuti idonei, sono stati successivamente analizzati approfonditamente leggendo il testo e raccogliendo le informazioni necessarie. Sono stati esclusi tutti quei documenti che non riportassero esplicitamente le scelte metodologiche relative all'LCA, o che non applicassero un approccio al ciclo di vita.

## 2.2. Risultati

A seguito del processo di selezione descritto nel paragrafo precedente, sono stati ritenuti idonei alla rassegna 56 documenti, tra cui 7 articoli di *review*. Nessuno di questi ultimi ha svolto un'analisi dal punto di vista prettamente metodologico, ma si è incentrata su altri obiettivi, principalmente sull'individuazione degli *hotspots* riconducibili ai sistemi di DA, oppure si è focalizzata sull'analisi di sistemi all'interno di una specifica area geografica, o, ancora, di una determinata scala di impianti. Alcuni autori hanno anche proposto un nuovo paradigma di analisi.

Per quanto riguarda, invece, i casi studio, si riportano molto brevemente alcuni aspetti di generale interesse riguardo il biogas riscontrati durante l'analisi. Partendo dalle aree geografiche nelle quali si situano i casi studio analizzati, la maggior parte dei lavori è incentrata in Europa (26 articoli), pioniera nella produzione e nell'uso del biogas, come riportato anche da Tiwary *et al.* [1]; in particolare, l'Italia registra il maggior numero di lavori sull'argomento con 7 pubblicazioni, seguita da Germania, Spagna e altri. Al secondo posto si trovano i paesi asiatici, con 13 lavori, dove risalta prevalentemente la Cina. In effetti, l'importante contributo dei due continenti nello sviluppo della tecnologia è rilevato anche da Chiu e Lo [2] che analizzano la DA come soluzione alla gestione del rifiuto organico e da Tiwary *et al.* [1], che ritengono tali aree meritevoli di aver agevolato lo sviluppo di infrastrutture decentralizzate di bioenergia. La fig. 1 rappresenta la distribuzione geografica di tutti gli articoli, divisa per continenti (in un caso soltanto non è stato possibile individuare l'area poiché non specificata).

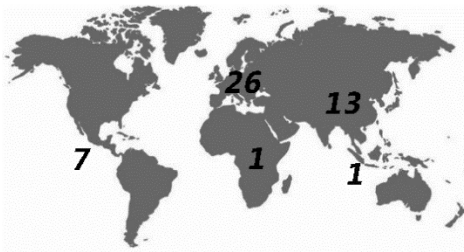


Fig. 1 – Distribuzione geografica degli articoli analizzati.

Gli impieghi del biogas sono prevalentemente rivolti alla generazione di energia (elettrica e/o termica), per autoalimentazione o per l'immissione in rete finalizzata alla vendita. In alternativa, il biogas viene sottoposto a processi di *upgrading* e purificazione necessari all'ottenimento di biometano, considerato un sostituto del gas naturale, per l'alta percentuale di metano contenuto, che, pertanto, trova impiego come carburante, o come sostituto del gas naturale attraverso l'immissione nella rete di distribuzione dello stesso. In un solo articolo è stato presentato un caso di produzione di bio-idrogeno a partire da biogas per la conversione in elettricità. La biomassa più utilizzata come *feedstock* può essere suddivisa in tre categorie: quella di acque reflue-fanghi-liquami, quella dei rifiuti urbani-agroalimentari-agricoli e infine quella delle deiezioni animali.

Passando all'obiettivo principale della rassegna, ossia all'identificazione degli aspetti metodologici, su 49 casi studio, 12 hanno illustrato la funzione del sistema prima di definire l'unità funzionale (UF). In 46 hanno specificato l'UF adottata (in 2 casi sono proposte due UF): di queste, 18 sono riferite all'*output* e 28 all'*input*. Inoltre, 2 autori ne hanno motivato la scelta. Riguardo agli articoli proponenti UF riferite all'*input*, 20 adottano criteri di massa o volume (principalmente riconducibili a tonnellate di materiale organico trattato), in 7 casi vengono adottati criteri temporali (arco temporale giornaliero o annuale). Per quanto concerne, invece,

le FU *output related*, la maggior parte (7 casi) utilizza un'unità di misura energetica. È interessante notare che in tre lavori è stato individuato come UF un paniere di beni, riportati nel dettaglio in tab. 1.

Autore	Paniere/ <i>basket</i>
[6]	“The cooking energy supplied to the entire state for one year ( $1.4 \times 10^{10}$ MJ year <sup>-1</sup> ), and the amount of nutrients made available for crops in the soil during the first year of application (235.5 kt of mineralized nitrogen N <sub>m</sub> , 157.4 kt of P and 69.0 kt of K that plant can uptake)”, pag. 1603.
[7]	“The portfolio of products that was generated by different biorefinery options at the same rate of hemicellulose extraction”, pag. 683.
[8]	“The functional unit is formed by the total content of electricity, heat, and fuel of the “baskets of benefit”, thus comprising both the energy output of the system and land use, the bioenergy part of the basket of benefit being produced on 1 ha of land”, pag. 573.

**Tab. 1** – Descrizione dei panieri di beni utilizzati come UF.

In 47 casi sono stati definiti i confini del sistema, principalmente di tipo “dalla culla alla tomba” (16) e “dalla culla al cancello” (14). Lo strumento di analisi più utilizzato è la *Life Cycle Assessment* (LCA), presente in 48 studi. Nel restante caso è stata effettuata un'analisi exergetica sul ciclo di vita degli scenari proposti [9]. Tra gli articoli che dichiarano di effettuare una LCA, Zhang *et al.* [10] presentano in particolare una LCA ibrida, mentre in altri 5 articoli viene presentata una LCA consequenziale (C-LCA). Riguardo a questa tipologia di LCA, viene proposto anche un framework sull'applicazione di modelli appropriati per condurre una C-LCA sulle bioenergie. Si propone, inoltre, un nuovo paradigma di valutazione ambientale, energetico e economico per la identificazione dei gas serra (attraverso la “*life-cycle GHG emissions accounting*”), dell'energia e dei costi/benefici. In un caso è stata adottata una denominazione più rara: “*LC energy and environmental assessment*”, mentre in un altro si dichiara di applicare uno speciale approccio alla valutazione del ciclo di vita chiamato “*basket of benefit methodology*”. A supporto dell'LCA vengono presentate altre analisi, soprattutto relative all'energia (6 casi), exergia (4 casi) e ai costi (6). In riferimento all'exergia, due autori propongono differenti analisi exergetiche per valutare l'efficienza delle risorse:

- “*exergy analysis*” e “*exergetic Life Cycle Assessment*” [6];
- “*exergy flow analysis*” a livello di processo e “*Cumulative Exergy Extraction from Natural Environment*” (CEENE) a livello di ciclo di vita [9].

In 30 casi è stata dichiarata esplicitamente l'adesione a uno standard di riferimento tra le ISO della serie 14040 o ILCD *handbook*. Per quanto riguarda la gestione della multifunzionalità, invece, emerge una netta preferenza degli autori nella scelta di estendere i confini del sistema (33 casi) per comparare le diverse opzioni proposte, mentre in soli 6 casi si utilizza l'allocazione; in due casi sono state scelte entrambe le soluzioni. In fig. 2 sono riportati i metodi di valutazione degli impatti più frequenti. Come si può osservare, il metodo CML è il più adottato, seguito da ReCiPe, IMPACT 2000, Ecoindicator e Cumulative Energy Demand (CED).

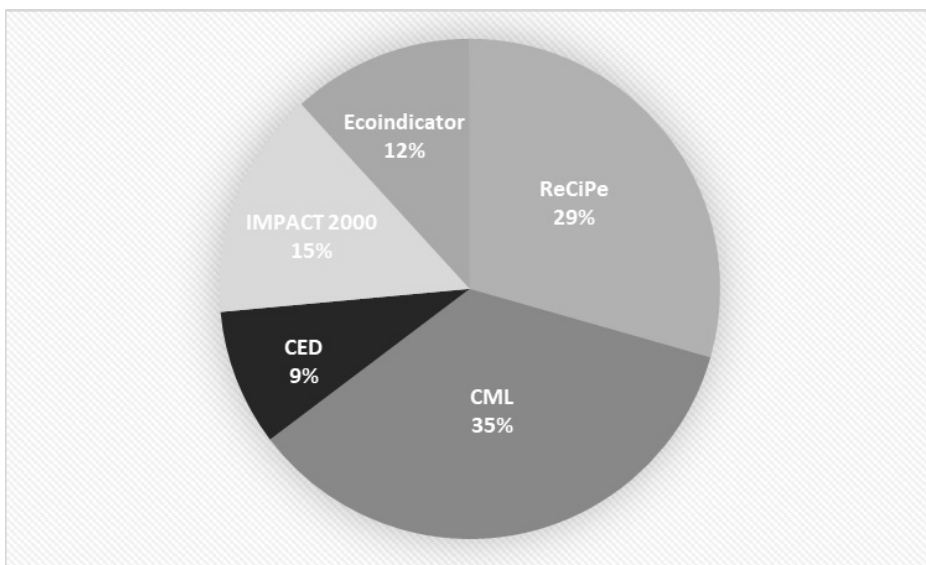


Fig. 2 – Metodi di valutazione dell'impatto più utilizzati con relativa distribuzione percentuale.

La categoria di impatto più studiata è il riscaldamento globale (Zhang *et al.* [10] analizzano solamente la CO<sub>2</sub>), seguita da acidificazione, eutrofizzazione, depauperamento di risorse abiotiche (tra cui risorse fossili, acquatiche e metallifere), formazione fotochimica di ozono, impoverimento dell'ozono stratosferico, tossicità umana. In fig. 3 è possibile osservare la frequenza delle categorie di impatto più riscontrate.

Si registra una tendenziale preferenza a individuare gli effetti a livello *midpoint*. Gli articoli che hanno presentato risultati sulle categorie di danno sono 10. Gli effetti *endpoint* sono salute umana, qualità dell'ecosistema, cambiamenti climatici e risorse, individuati tramite i metodi di valutazione riportati in tab. 2.

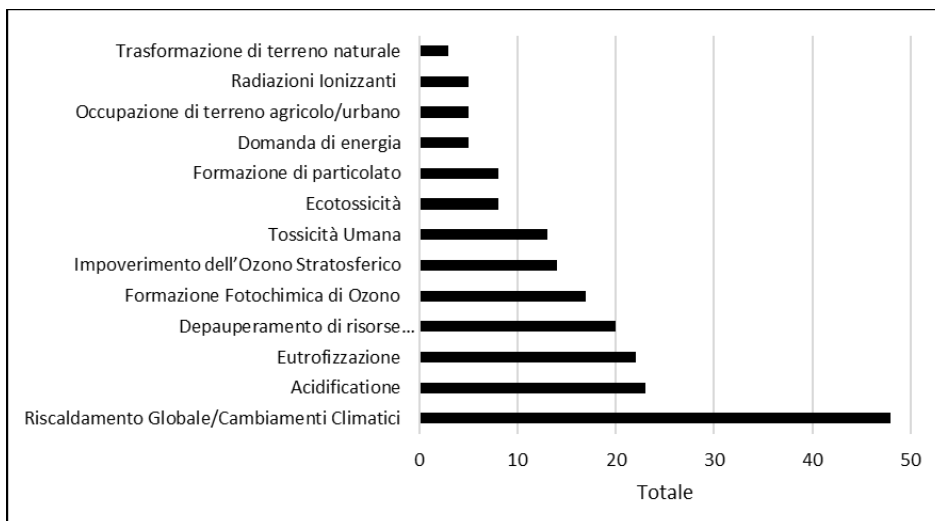


Fig. 3 – Potenziali categorie di impatto più studiate e relative frequenze.

METODO DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	NUMERO DI CASI RISCONTRATI NEGLI ARTICOLI
IMPACT 2002	5
ReCiPe	4
Ecoindicator	1

**Tab. 2** – Metodi di valutazione degli impatti scelti per l'individuazione delle categorie di danno.

La fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre fasi. L'analisi di sensibilità è presente in 22 casi, mentre si ricorre ancor più raramente a tecniche quali l'analisi dell'incertezza (5 casi).

Dalla lettura degli articoli, emergono pochi studi completi di sostenibilità; carenti soprattutto gli aspetti sociali.

I risultati suesposti potrebbero essere condizionati da alcuni errori commessi durante lo svolgimento dell'analisi, generando, così, delle imprecisioni nella rassegna. Gli aspetti che potrebbero limitarne l'accuratezza possono essere di diversa natura:

- errata esclusione di articoli, conformi agli obiettivi della ricerca, durante la prima selezione tramite la lettura del titolo, delle parole chiave o dell'abstract;
- erronea comprensione del testo soprattutto legata alla mancanza di una terminologia condivisa nel mondo scientifico o dovuta alla lingua;
- erronea interpretazione dei concetti sottintesi nei documenti o eccessivamente schematizzati in grafici o tabelle;
- assenza di dati o informazioni specifiche, relative sia al metodo di valutazione utilizzato, sia della tecnica di digestione anaerobica analizzata.

### 3. Conclusioni

Il presente lavoro si configura come una rassegna sistematica della letteratura scientifica con l'obiettivo di analizzare gli approcci metodologici, basati sul LCT, adottati nella valutazione dei potenziali impatti ambientali legati all'impiego del biogas da DA. Il risultato della ricerca pone l'attenzione sull'utilizzo della LCA come scelta prevalente, ma, ciascun autore caratterizza la propria valutazione adottando scelte metodologiche diverse. Del resto, gli articoli studiati non sono perfettamente comparabili per via della tipologia di *feedstock* digerita, del diverso impiego degli output prodotti, ecc; quindi, è intuibile una differenza negli approcci metodologici. Tale aspetto è enfatizzato dalla mancanza di un modello condiviso di analisi, che qualche autore ha tentato di colmare attraverso una proposta di *framework*. Esiste, in realtà, un filo conduttore comune, ossia quello relativo alla gestione dei due prodotti della DA. Nella generalità dei casi si tende a identificare il biogas come prodotto primario della DA, mentre il digestato viene considerato secondario e quindi preso in riferimento per estendere i confini del sistema in sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. Questo dipende dal fatto che la DA è considerata principalmente un metodo di produzione energetica e, in secondo luogo, di stabilizzazione del materiale organico. Tuttavia, alcuni autori hanno sottolineato la necessità di porre maggiore attenzione al ruolo di questo co-prodotto. Altre scelte comuni a molti articoli sono l'utilizzo del CML come metodo di valutazione degli impatti e dell'estensione dei



confini del sistema. La categoria di impatto *global warming*, unica presente in tutti i lavori, rispecchia le attuali preoccupazioni socio-politiche a livello globale in campo ambientale. Le criticità rilevate riguardano la carenza di una terminologia omogenea e di informazioni, che rendono difficoltosa l'interpretazione degli studi. Inoltre, la fase di interpretazione dei risultati risulta meno approfondita rispetto alle altre. Sono assenti, inoltre, casi studio che analizzano anche gli aspetti sociali del ciclo di vita dei prodotti in oggetto.

## Bibliografia

- [1] **Tiwary, A., Williams, I.D., Pant, D.C., Kishore, V.V.N.**, 2015. Emerging perspectives on environmental burden minimisation initiatives from anaerobic digestion technologies for community scale bio-mass valorisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 883-901.
- [2] **Chiu, S.L.H., Lo, I.M.C.**, 2016. Reviewing the anaerobic digestion and co-digestion process of food waste from the perspectives on biogas production performance and environmental impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24435-24450.
- [3] **Huttunen, S., Manninen, K., Leskinen, P.**, 2014. Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. *Journal of Cleaner Production*, 80, 5-16.
- [4] **Vasco-Correa, J., Khanal, S., Manandhar, A., Shah, A.**, 2018. Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. *Bioresource Technology*, 247, 1015-1026.
- [5] **Zumsteg, J. M., Cooper, J. S., Noon, M. S.** 2012. Systematic review checklist: A standardized technique for assessing and reporting reviews of Life Cycle Assessment data. *Journal of Industrial Ecology*, 16 (Suppl. 1): S12-S21.
- [6] **Sfez, S., De Meester, S., Dewulf, J.**, 2017. Co-digestion of rice straw and cow dung to supply cooking fuel and fertilizers in rural India: Impact on human health, resource flows and climate change. *Science of the Total Environment*, 609, 1600-1615.
- [7] **Gilani, B., Stuart, P.R.**, 2015. Life cycle assessment of an integrated forest biorefinery: hot water extraction process case study. *Biofuel, Bioproducts and Biorefinery*, 9 (6), 677-695.
- [8] **Bystricky, M., Knödseder, T., Weber-Blaschke, G., Faulstich, M.**, 2010. Comparing environmental impacts of electricity, heat and fuel from energy crops: Evaluating biogas utilization pathways by the basket of benefit methodology. *Engineering in Life Sciences*, 10 (6), 570-576.
- [9] **Nhu, T.T., Dewulf, J., Serruys, P., Huysveld, S., Nguyen, C.V., Sorgeloos, P., Schaubroeck, T.**, 2015. Resource usage of integrated Pig-Biogas-Fish system: Partitioning and substitution within attributional life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 102 (3048), 27-38.
- [10] **Zhang, L.X., Wang, C.B., Song, B.**, 2013. Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 47, 415-421.



# Economia circolare e reti di imprese: la certificazione Remade in Italy valorizza le sinergie

*Monica Riva, [monica.riva@bureauveritas.com](mailto:monica.riva@bureauveritas.com) – Bureau Veritas Italia, Milano  
Giulia Sebastianelli, [giulia.sebastianelli@bureauveritas.com](mailto:giulia.sebastianelli@bureauveritas.com) – Bureau Veritas Italia, Milano*

## **Riassunto**

*Nel nuovo modello di Economia circolare il concetto di “fare rete” fra aziende appare sempre più una chiave competitiva cruciale. Gli scarti per un’organizzazione infatti possono diventare materie prime preziose per un’altra, dando luogo ad un sempre minore scarto e smaltimento dei rifiuti e un sempre maggiore riutilizzo in nuovi processi produttivi. In vari settori queste sinergie industriali si stanno già delineando, costituendo degli esempi concreti di un’Economia circolare reale. In questo contesto si inseriscono ad esempio le esperienze virtuose di Rete Sand, Officina dell’Ambiente SpA, Ecoplasteam SpA. Il valore di tali esperienze è notevole e, per darne maggiore risalto ed avere a disposizione strumenti chiari di comunicazione del proprio approccio imprenditoriale “sostenibile”, molte realtà hanno deciso di intraprendere anche dei percorsi di certificazione, come ad esempio Remade in Italy, che permette di fornire al mercato con trasparenza il contenuto di materiale riciclato di un prodotto.*

## **Summary**

*In the new model of circular economy the concept of “networking” between companies is increasingly becoming a crucial competitive key. In fact, waste for one organization can become precious raw materials for another, giving rise to less and less waste and disposal of waste and increasing reuse in new production processes. In various sectors these industrial synergies are already taking shape, constituting concrete examples of a real circular economy. In this context, for example, the virtuous experiences of Rete Sand, Officina dell’Ambiente SpA, Ecoplasteam SpA are inserted. The value of these experiences is considerable and, to give greater prominence and to have clear tools for communication of one’s own sustainable entrepreneurial approach, many companies have also decided to undertake certification paths, such as Remade in Italy, which allows the content of recycled material of a product to be supplied to the market with transparency.*

## **1. Introduzione**

Le sfide concrete che si trovano ad affrontare i fabbricanti per inserirsi in un’ottica di Economia circolare, sebbene non banali, possono essere anche lo stimolo per la creazione di nuovi rapporti economici tra i diversi segmenti della filiera. “Fare rete” è d’altra parte uno degli aspetti fondamentali dell’Economia circolare, nella visione in cui gli scarti di un’azienda possono diventare risorse per un’altra, chiudendo il ciclo.

Tra gli esempi virtuosi in tal senso vi è Rete SAND, rete costituita da più soggetti della filiera dell’Edilizia orbitanti nell’ambito delle cave e dei conglomerati, dove i rifiuti da demolizione e costruzione o di altre tipologie (come le scorie da acciaieria) trasformati in aggregati artificiali da alcuni permettono di sostituire in parte gli aggregati naturali nelle produzioni di altri sog-

getti della rete. Tra i soggetti della rete, Milano Bitumi SpA si sta delineando come una delle realtà trainanti. Allo stesso modo importante è la sinergia industriale istituita da aziende quali Officina dell'Ambiente SpA, produttore ormai affermato nell'ambito di produzione di aggregati riciclati, e diversi produttori di conglomerati bituminosi (come ad esempio Adriatica Asfalti srl) ugualmente orientati all'innovazione e alla riduzione degli impatti ambientali, di cui Officina dell'Ambiente SpA è fornitore.

Ecoplasteam SpA, invece, ha sviluppato una tecnologia che consente di recuperare gli scarti di poliaccoppiato per la produzione di un granulo di polimero utilizzabile come materia prima per molteplici usi e a sua volta completamente riciclabile, riducendo sensibilmente le quantità di materiali indifferenziabili in poliaccoppiati destinati principalmente alla termostruzione o alle discariche.

## 2. Relazione

### 2.1 Milano Bitumi SpA e La Rete SAND

La Rete SAND, di cui fanno parte soggetti diversi nel settore dell'Edilizia, da cave di inerti a produttori di conglomerati bituminosi, da produttori di calcestruzzi preconfezionati ad imprese di costruzione, fino a professionisti operanti nel settore, un'associazione sportiva e società immobiliari, si è costituita con l'obiettivo di rendere concreti e reali i capisaldi di un'Economia circolare. Il principio della simbiosi industriale è alla base della Rete, la cui vision è far sì "che attraverso innovative metodologie di Economia circolare e di collaborazione fra soggetti operanti anche in settori diversi all'interno della filiera dell'Edilizia si crei valore per i propri clienti, perseguendo nel contempo il principio di sostenibilità e generando benessere per la collettività".



Fig. 1 – Il logo della Rete Sand

Tra i soggetti della rete, Milano Bitumi SpA, azienda specializzata dal 1992 nella produzione di conglomerati bituminosi, si colloca oggi come nodo fondamentale nella rete per l'implementazione e la diffusione di una Economia circolare.

In primis, ai fini di ridurre gli impatti ambientali conseguenti ai trasporti dei materiali e nel contempo ottimizzare i costi aziendali, Milano Bitumi SpA, grazie all'intesa raggiunta con Cave Merlini srl, ha potuto collocare l'impianto di produzione, sito in Gaggiano (MI) direttamente all'interno dell'ambito estrattivo di quest'ultima. Cave Merlini srl, oltre ad essere un altro soggetto della rete, è fornitore della maggior parte degli inerti naturali (sabbia e ghiaia) che in tal modo vengono estratti direttamente in loco con notevoli ottimizzazioni.

In una logica di Economia circolare grande attenzione è stata poi posta all'Eco design. Sono state infatti studiate, validate e certificate innovative miscele di conglomerati bituminosi in cui è previsto l'impiego, in percentuali predeterminate nelle ricette di mix design, di freato d'asfalto e di inerti artificiali riciclati al fine di ridurre l'utilizzo di aggregati naturali. I nuovi

mix design “green”, in particolare, sono concepiti in modo tale da recuperare ed impiegare il fresato di asfalto proveniente dalla scarifica dei manti stradali usurati, attraverso ICG srl e Gini Giuseppe SpA (altre due aziende della rete), evitandone il conferimento in discarica, e gli aggregati artificiali riciclati (Inertex) provenienti dal processo di recupero delle scorie di acciaieria effettuato dalla società Zerocento srl, facente anche essa parte della rete SAND. In tal modo, queste composizioni permettono di ottenere prodotti dalle prestazioni comunque elevate ma allo stesso tempo caratterizzati da un minore sfruttamento delle risorse vergini. La vincente simbiosi industriale già instaurata fra i soggetti della rete SAND è un esempio di modus operandi che bene evidenzia come fare rete in un’ottica di Economia circolare non solo sia possibile, ma permette anche di creare valore per i propri clienti in un’ottica di Life Cycle Thinking e di innovazione.

## 2.2 Officina dell’Ambiente SpA

Officina dell’Ambiente è una società che dal 2001 svolge attività di trattamento, recupero e valorizzazione delle scorie provenienti dalla termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani (RSU) per la produzione di un prodotto End of Waste denominato MATRIX, con vari prodotti destinati all’edilizia sostenibile, raggruppati nella cosiddetta Matrix Family.

Il MATRIX è un aggregato artificiale riutilizzato in parziale sostituzione della materia prima naturale nei cicli a caldo (cemento e laterizio) e della sabbia e ghiaia nella produzione a freddo di svariati prodotti edili legati quali il calcestruzzo, i manufatti in cemento, le malte pre-dosate, i conglomerati bituminosi per tutte le applicazioni stradali ecc.

Al fine di garantire tracciabilità, qualità, stabilità e ripetitività ai suoi prodotti, Officina dell’Ambiente SpA ha indirizzato il suo ciclo di trattamento e di raffinazione verso un modello mono-rifiuto, senza miscelazione con altri tipi di rifiuto e/o materiali diversi.



Fig. 2 – Il ciclo produttivo del Matrix di Officina dell’Ambiente SpA

Il miglioramento delle prestazioni ambientali della produzione è garantito da un sistema interno di eco-gestione, ma analoga attenzione è dedicata al prodotto, ovvero alla sostenibilità ambientale delle soluzioni di riuso del Matrix, che sono basate su una rigorosa applicazione dell’art. 184 TER.

Tale processo parte da uno scrupoloso codice di autolimitazione delle scorie in ingresso (quindi, solo e direttamente da termovalorizzatori che non trattano rifiuti speciali industriali e mai da centri di stoccaggio) per arrivare all’esclusiva adozione di soluzioni applicative interamente tracciate e non a diretto contatto con l’ambiente.

Il tutto accompagnato da una totale consapevolezza d'uso per il riutilizzatore finale del Matrix attraverso:

- test di cessione condivisi con il produttore dei manufatti contenenti il Matrix, per misurarne il potenziale rilascio di inquinanti quando saranno giunti a FINE VITA, affinché possano accedere di default in un sistema collettivo di raccolta e recupero dei rifiuti C&D
- un uso appropriato della DOP (Declaration of Performance) all'interno della quale vengono chiaramente indicate al produttore le percentuali massime di utilizzo di Matrix da adottarsi nelle fasi produttive

A livello più generale, il contributo ambientale e la creazione di valore economico per tutti gli stakeholders derivante dall'uso del Matrix continuano a risultare significativi e si traducono in una significativa riduzione:

- delle emissioni di CO<sub>2</sub>
- delle attività estrattive
- del ricorso alla discarica
- dell'uso di combustibili<sup>2</sup>

Officina dell'Ambiente SpA è ad oggi fornitore di aggregati di molte realtà produttive che hanno deciso di impiegare nei propri manufatti aggregati riciclati in parte in sostituzione di quelli naturali, in un'ottica di risparmio delle risorse e sviluppo di prodotti innovativi. Diversi produttori di conglomerati bituminosi, come ad esempio Adriatica Asfalti srl, hanno infatti deciso di sviluppare miscele bituminose dove l'impiego di fresato e aggregati riciclati prodotti da Officina dell'Ambiente SpA permette di ottenere prodotti finali dalle ottime prestazioni e allo stesso tempo dall'impatto ambientale ridotto. Di fatto, quindi, in una filiera complessa come quella Edilizia queste aziende hanno instaurato una sinergia industriale che sta permettendo concretamente di porre sul mercato prodotti che sono innovativi e allo stesso tempo si inseriscono perfettamente in un'ottica di Economia circolare.

### 2.3 Ecoplasteam SpA

I cartoni in poliaccoppiato per alimenti garantiscono una conservazione e protezione dalle contaminazioni mediante i diversi strati di materiali che lo compongono, in media è composto dal 74% di fibre di cellulosa, dal 21% di polietilene e dal 5% di alluminio<sup>3</sup>.

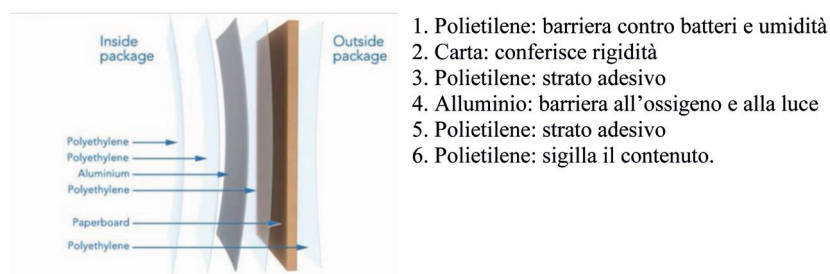


Fig. 3 – Stratigrafia dei cartoni in poliaccoppiato

Tutte queste caratteristiche si traducono in un risparmio economico in tutta la linea di confezionamento, trasporto e distribuzione, per cui è possibile contenere i costi di vendita del prodotto imballato nel cartone, rispetto allo stesso prodotto imballato con il vetro o la plastica. Non sarà affatto facile, trovare una tecnologia alternativa che garantisca le stesse caratteristiche di questo materiale per imballaggio alimentare.

Allo stato attuale tuttavia, dopo il loro uso i contenitori per alimenti, composti dai diversi strati eterogenei (cellulosa, plastica e alluminio), vengono spesso smaltiti in discarica, inceneriti o parzialmente riciclati attraverso la separazione dei tre componenti con costi elevati, grande consumo di energia e scarsa qualità dei materiali ottenuti, a causa proprio della difficoltà di trattamento.

Solo a seguito di una separazione di questi rifiuti, è possibile il recupero della fibra di cellulosa mediante un processo presente in alcune cartiere attrezzate per questo. Il materiale di scarto che si ottiene, oltre alla fibra di cellulosa, è un composto costituito da Alluminio, Polietilene intimamente ancora “accoppiati” e altri materiali estranei. Proprio questo materiale di scarto, denominato PO-Al (o Polyal) può essere oggetto di recupero e riciclo come nuovo polimero. L'innovazione della tecnologia brevettata risiede nel processo che, anziché separare i diversi *layers* di polietilene e alluminio (PO-Al), li aggrega e li addensa per la produzione di un nuovo polimero in granulo, il cosiddetto EcoAllene®.

Il riciclo e recupero degli scarti post-consumo dei contenitori in “poliaccoppiato” (cartone per alimenti) ad oggi è quindi possibile mediante una specifica filiera, completamente tracciata e conforme alla normativa sui rifiuti e le Materie Prime Seconde

La filiera è costituita dalla raccolta e separazione dei contenitori usati, dal successivo recupero della fibra cellulosa che avviene in cartiera e la successiva “trasformazione” dello scarto di polietilene e alluminio che avviene nel processo degli stabilimenti Ecoplasteam, attraverso la trasformazione dello stesso in un granulo plastico di nuova concezione.

Attraverso un processo industriale brevettato, il PO-AL (plastica e alluminio) è in grado di generare una materia prima seconda al 100% riciclabile, al 100% derivata da uno “scarto *post-consumo*”, chiamata EcoAllene®.

Lo scarto PO-Al che darà vita all' EcoAllene® deriva dal processo di recupero della cellulosa presso alcune cartiere specializzate. Per il recupero della cellulosa la cartiera effettua un pre-lavaggio dei contenitori (*post-consumo*) in poliaccoppiato (cartone-alluminio-polietilene), poi tramite un pulper separa le fibre di cellulosa (riutilizzate per produzione di nuova carta) dalla frazione polietilene e alluminio, il sottoprodotto PO-Al, appunto che raggiunge l'impianto di produzione dell' EcoAllene® in balle “reggettate”.

Attraverso vari procedimenti di lavaggio e selezione viene eliminata la cellulosa residua ed altri eventuali materiali estranei (come ad es. il PET). Si procede quindi con le fasi successive di densificazione e agglomerazione del materiale lavato, avviandolo poi alla fase finale di estrusione che genera i granuli del nuovo materiale plastico destinato ai diversi procedimenti di stampaggio

La produzione di EcoAllene® può essere una soluzione concreta per evitare lo smaltimento in discarica o inceneritore della componente PO-AL residua dei contenitori alimentari in poliaccoppiati post lavorazione delle cartiere.

La percentuale di scarto di lavorazione per la produzione di un Kg di EcoAllene® è dell'9 % circa e lo scarto di lavorazione che avviene nell'impianto di produzione è rappresentato da un 6% di PET e da un 3% di cellulosa, che a loro volta possono essere nuovamente immessi sul mercato come sottoprodotti adatti a svariati utilizzi (ovvero per i diversi processi di trasformazione in prodotti).

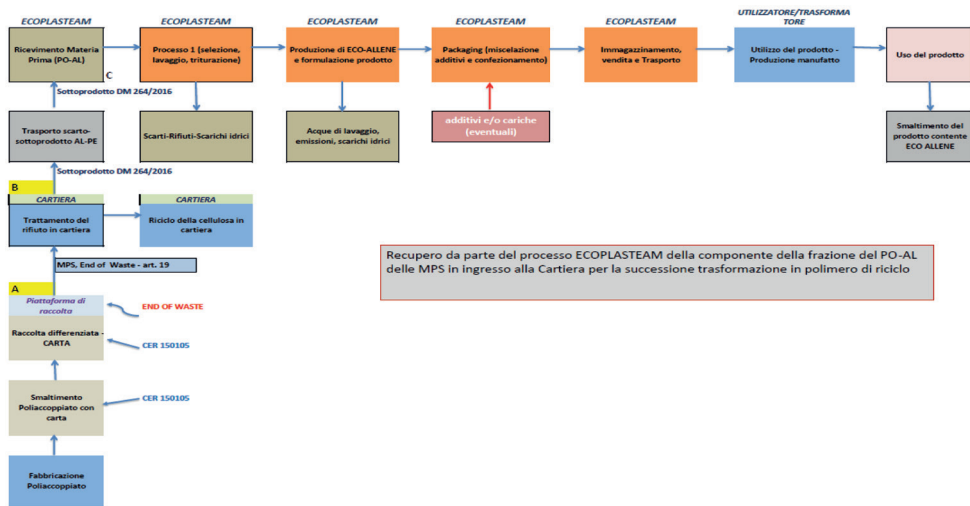


Fig. 4 – filiera di approvvigionamento della materia prima per la produzione dell'EcoAllene®

Il prodotto “granuli di EcoAllene®”, ottenuto dal riciclo degli scarti derivanti a loro volta da un rifiuto, ha così ottenuto alcune certificazioni di prodotto, da primari enti ed istituzioni che operano a livello nazionale ed internazionale.

– Certificazione del quantitativo di materia riciclata nel prodotto - Re-Made in Italy® rilasciata da Bureau Veritas Italia Spa.

– Sicurezza dei giocattoli, Norma EN 71-3:2017 - Migrazione di alcuni elementi.

I principali settori di applicazione di EcoAllene® variano dal packaging, all’arredo e ai complementi di arredo, ai giocattoli, agli accessori moda, al giardinaggio, all’edilizia, alla cancelleria, ai casalinghi e all’arredo urbano.

Ad oggi si stima una presenza di scarti in PO-AL intorno alle 350.000 tonnellate per anno solo in Europa; solo in Italia e con una stima grossolana (in difetto) sull’impresso al consumo del 2013 di circa 4,5 miliardi di contenitori e la quantità di 1,5 miliardi di confezioni recuperate nel 2017, risulta evidente che ogni anno nel nostro Paese oltre 3 miliardi di confezioni non vengono riciclate.

Anche in funzione dei nuovi impegni assunti dalle direttive EU sulla Economia Circolare e del contenuto di riciclato negli imballaggi<sup>4</sup>, l’attuale disponibilità di scarti in PO-AL giustifica la prossima costruzione di n. 50 impianti per produzione di EcoAllene in Europa con la stessa tecnologia già utilizzata in Italia.

### 3. Conclusione

Reti di aziende che si stanno costituendo in un’ottica di Economia circolare sono la testimonianza che fare rete e muoversi in questo modello di economia è possibile. Inoltre appare sempre più chiaro che tali reti, oltre ad essere modelli di sostenibilità ambientale, possono diventare anche strumenti per aumentare competitività e capacità innovativa. In questo scenario, la certificazione assume ora una nuova importanza: oltre ad essere uno strumento trasparente di comunicazione del proprio approccio imprenditoriale “sostenibile”, diventa anche un elemento in grado di generare fiducia reciproca all’interno della rete. Gli standard di certificazione a cui le organizzazioni possono rivolgersi diventano quindi sempre più necessari in un’ottica di simbiosi industriale.

Ad oggi la BS 8001 è la prima norma di riferimento per implementare i principi dell’Economia

circolare all'interno di un'organizzazione. I tavoli tecnici nati recentemente per lo sviluppo di una norma sull'Economia circolare anche in ambito ISO e UNI sono altri indicatori della strada ormai intrapresa a tutti i livelli. Tutte le organizzazioni di cui al presente articolo hanno invece deciso di intraprendere l'iter certificativo Remade in Italy, uno schema che permette di dimostrare il contenuto di riciclato nei prodotti, oltre che il Made in Italy degli stessi. Questa certificazione è stata scelta da molti con l'intento di garantire alla propria rete l'affidabilità delle informazioni da loro fornite in termini di contenuto di riciclato e la tracciabilità del prodotto derivante da rifiuto. In un modello economico che necessariamente sta cambiando "fare rete" e mostrare al mercato risultati attendibili e dimostrabili diventa una chiave competitiva fondamentale.

### **Bibliografia**

<sup>1</sup> Comunicato stampa Rete S.a.n.d., Milano 10 aprile 2019

<sup>2</sup> Fonte aziendale Officina dell'Ambiente SpA

<sup>3</sup> Fonte <http://www.tiriciclo.com/come-e-fatto/>

<sup>4</sup> Le direttive Eu del cosiddetto "pacchetto economia circolare" impongono un contenuto del 35% di plastica riciclata negli imballaggi, entro il 2025



# TMB: un mix originale ed innovativo per recuperare risorse e generare un end-of-waste

*Carlo Santoro, [carlo.santoro@as-it.biz](mailto:carlo.santoro@as-it.biz), AS sustainable engineering srl, Latina (LT)  
Christoph Atzwanger, [christoph.atzwanger@atzwanger.net](mailto:christoph.atzwanger@atzwanger.net), Atzwanger SpA, Bolzano-Bozen (BZ)*

## Riassunto

*Il presente elaborato mostra come, con un mix originale di tecnologie consolidate usate in modo innovativo, si possa ottenere produzione di biometano e di un inerte end-of-waste. Il modello propone: realizzazione di un impianto di digestione anaerobica a secco con flusso a pistone ed upgrade di biogas a biometano presso un TMB esistente; stabilizzazione del digestato in biocelle e successivo essiccamento del prodotto; recupero del biometano per produzione LNG o destinazione a rete. Si ottengono così una destinazione dell'end-of-waste finale a ripristino ambientale e la riduzione dei carichi, del consumo di territorio e del traffico per lo smaltimento. Il costo totale di realizzazione e gestione, con l'ammissione agli incentivi di biometano non avanzato, è inferiore ai costi attuali del 20%, con migliori performance ambientali e vantaggi economici e sociali, oltre un modesto ma significativo gradiente occupazionale aggiuntivo sempre all'interno del 20% di minori costi rispetto a quelli mediamente attualmente sostenuti.*

## Summary

*The present paper shows how, with an original mix of consolidated technologies used in an innovative way, it is possible to obtain biomethane production and an end-of-waste. The model proposes: realization of a dry anaerobic digestion system with plug flow and biomethane biogas upgrade in an existing TMB; stabilization of the digestate in biocells and subsequent drying of the product; biomethane recovery for LNG production or network destination. In this way, it's possible to obtain a final end-of-waste destination for environmental restoration and the reduction of loads, land consumption and traffic for disposal. The total cost of construction and management, with the admission to the non-advanced biomethane incentives, is lower than the current costs by 20%, with better environmental performances and economic and social advantages, as well as a modest but significant additional occupational gradient always within 20% of the lower costs compared to the average costs currently supported.*

## 1. Introduzione

In Italia sono operativi circa 240 TMB per circa 9MTon/anno di rifiuti, non raccolti differenziatamente all'origine o soggetti ad una modesta raccolta differenziata. L'efficienza di questi impianti raramente supera il 20%, il che significa che l'80% del materiale entrante diviene sottovaglio la cui stabilizzazione è solo parziale; nella pratica, è necessario smaltire il prodotto finale come rifiuto, con costi rilevanti stimabili a livello nazionale in circa 800M€anno. Attraverso le tecnologie proposte in questo elaborato, è possibile ottenere la produzione di biometano e di un inerte certificabile con:

- Indice respirometrico dinamico (IRD) < 500;
- Granulometria 8-16 mm;
- Solubilità/liscivazioni (test di liscivazione in colonna) – rapporto nell’eluato < 0.25;
- Resistenza a degradazione termica (misura dei solidi volatili totali STV per perdita di peso dopo incenerimento a 550°C) < 5% del peso totale;
- Componenti volatili presenti (solidi volatili potenzialmente fermentescibili SPf) < 108 UFC/g a 37°C;
- Presenza di tipologie di patogeni (Coliformi totali) < 105 UFC/g a 37°C.

Tali risultati sono ottenibili con:

- Efficace nuova vagliatura del sottovaglio e del prodotto finale;
- Digestione con lunghi tempi di ritenzione in filiera a secco con flusso a pistone;
- Stabilizzazione con aerazione forzata di lunga durata (minimo 30 gg);
- Essiccamento del prodotto finale fino alla certificazione end-of-waste.

## 2. Relazione

### 2.1 La FOS: da «soluzione ideale» a problema concreto

Il digestato (indipendentemente dalla filiera di produzione: a umido, a secco o a pistone), viene oggi obbligatoriamente conferito a compostaggio, in applicazione delle normative sui fertilizzanti, sul compost, sulla loro spandibilità ed in base alla mancanza di un DM di attuazione delle norme di spandibilità previsto già dal D.Lgs. 152/2016 che non ha ancora luce. Le assunzioni su cui poggia la destinazione obbligatoria del digestato da DA da FORSU (CER 20 01 08) al compostaggio sono:

- Potenziale carica di patogeni da neutralizzare attraverso igienizzazione;
- Necessità di ridurne il contenuto in acqua per renderlo compatibile con lo spandimento in modo simile al compost;
- Presunta necessità di completare un processo di maturazione/stabilizzazione.

La FOS, come risultante stabilizzata dei processi di selezione meccanica e stabilizzazione biologica (TMB), è apparsa originariamente come una soluzione non costosa, affidabile e semplice dal punto di vista tecnologico e gestionale. Di fatto, se pur stabilizzata, la FOS ha impieghi minimali nel capping di discariche o in altri interventi di riempimento e ripristino ambientale, viene bensì in larghissima parte stoccata per lunghi periodi negli impianti di trattamento, per poi trovare collocazione in discariche o altri siti di smaltimento con costi molto onerosi (prezzo medio: circa 130€/ton). In questo modo si originano, per le amministrazioni e le comunità di cittadini, costi nel trasporto a TMB, nel trattamento, e poi nel nuovo trasporto e nella collocazione finale. Di fatto, il costo di una tonnellata di FOS dall’ingresso del TMB fino allo smaltimento finale, quando questo è previsto in discarica o in altro impianto equivalente, raggiunge la quota di circa 180-200€. Talvolta le spese risultano anche superiori se si considerano i costi di trattamento in TMB ed il successivo costo di smaltimento di larga parte del sottovaglio a prevalente matrice organica. Questa spesa appare realmente non più sostenibile già nel breve periodo, se si considera l’effettiva assenza di ogni tipo di recupero.

### 2.2. Approccio metodologico proposto

L’approccio metodologico proposto consiste in:

- Considerare la Frazione Organica, immediatamente dopo la separazione in TMB (prima della stabilizzazione aerobica a FOS), come una potenziale sorgente di risorsa organica da recuperare;
- Ipotizzare un trattamento di stabilizzazione definitiva del sottoprodotto, onde poterlo classificare end-of-waste e poterlo utilizzare per finalità di ripristino ambientale e territoriale;

- Verificare il contenuto metanigeno presente e la sua estraibilità e produttività in sequenza al TMB;
- Verificare il ciclo energetico traibile e la possibilità e sostenibilità di tale ciclo per la riduzione volumetrica e ponderale post-recupero delle capacità bio-metanigene, con obiettivo di minimizzare la FOS post-digestione da allocare a smaltimento finale;
- Ipotizzare una minimizzazione degli interventi tecnologici da proporre, con obiettivo un tempo di pay-back ridotto a pochi anni e di più ampia sostenibilità, anche in considerazione della produzione giornaliera di Frazione Organica post-separazione in, ad esempio, Lazio, Toscana e Campania, con una stima nel complesso di circa 2.000 tonnellate pro die;
- Verificare la compatibilità del ciclo virtuoso di recupero che si propone con le risorse attualmente destinate allo smaltimento della FOS e costruzione di un bilancio ambientale, economico, finanziario ed energetico di sostenibilità.

### 2.2.1. Steps Operativi

La soluzione proposta prevede di:

- Caricare la materia prima post-selezione nei TMB in un digestore anaerobico a flusso a pistone per la produzione di biogas, da destinare in parte alla rete del gas con finalità di auto-trasporto (DM 2/3/2018) o alla produzione in situ di LNG, seppure non in regime di massimo incentivo, ed in parte alla copertura del fabbisogno termico dell'essiccamento del digestato;
- Bioessiccare il 65% dell'acqua residua nel digestato post-produzione di biometano;
- Destinare il materiale, dopo la stabilizzazione e la mineralizzazione per via aerobica e dopo l'essiccamento, a finalità di ripristino ambientale (quali ad esempio il riempimento di cave o il capping di discariche);
- Immaginare la totale copertura del fabbisogno finanziario da cessione del biometano e i risparmi sullo smaltimento attuale della FOS con riduzione del 20% del costo complessivo oggi sostenuto;
- Realizzare un impianto di biometano e bioessiccamento in prossimità di un TMB di taglia rilevante già esistente, onde minimizzare gli impatti e gli investimenti.

### 2.2.2 Aspetti normativi

Il caso esemplare ed innovativo del biometano come possibile chiusura del ciclo della FOS e dell'uso dei TMB incontra appoggio nella nuova direttiva UE sui rifiuti (22/05/2018) in relazione alla DA ed al digestato; l'articolo 22 della Direttiva 2008/09 è sostituito dal seguente: «Articolo 22»

Rifiuti organici

– Gli Stati membri assicurano che, entro il 31 dicembre 2023 e fatto salvo l'articolo 10, paragrafi 2 e 3, i rifiuti organici siano differenziati e riciclati alla fonte o siano raccolti in modo differenziato e non miscelati con altri tipi di rifiuti.

Gli Stati membri possono consentire che i rifiuti aventi analoghe proprietà di biodegradabilità e compostabilità che rispettino le norme europee o le norme nazionali equivalenti, per imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione, siano raccolti insieme ai rifiuti organici.

– Gli Stati membri adottano, a norma degli articoli 4 e 13, misure volte a:

- Incoraggiare il riciclaggio, ivi compreso il compostaggio e la digestione, dei rifiuti organici, in modo da rispettare un livello elevato di protezione dell'ambiente e che dia luogo a un output che soddisfi pertinenti standard di elevata qualità;
- Incoraggiare il compostaggio domestico;
- Promuovere l'utilizzo dei materiali ottenuti dai rifiuti organici.

Il Nuovo Regolamento UE inerente regole per la libera circolazione dei fertilizzanti (GUCE "L" n. 170 del 25 06 2019):

- Definisce le modalità con cui i fertilizzanti derivati da rifiuti e da sottoprodotti animali possano liberamente circolare nell'Unione;
- Inserisce formalmente i digestati, anche non delle sole coltivazioni energetiche, nella lista dei Component Material Categories cui i fertilizzanti devono rispondere per poter avere la libera circolazione nell'Unione e mantiene ben distinte le CMC di compost e digestato non da colture energetiche e prodotti freschi (rispettivamente CMC 3 e CMC 5);
- Cita esplicitamente come possibile componente o co-componente dei fertilizzanti il digestato derivante da rifiuti organici raccolti in modo differenziato, e *ad maiora* permette la classificazione del digestato come *end of waste* solo nel caso di suo utilizzo per la produzione di fertilizzanti o ammendanti etichettati CE ai sensi di quanto previsto nel citato nuovo regolamento. In definitiva, con la nuova direttiva UE si identifica un percorso dedicato al digestato da «digestione anaerobica di FORSU» oltre ogni dubbio o distinguo interpretativo.

### 2.3. Ipotesi per un impianto di 100.000 ton/anno

#### 2.3.1 Parametri di progetto

- Di seguito sono esposti i principali parametri relativi ad un impianto di 100.000 ton/anno:
- Contenuto medio metanigeno della Frazione Organica «grezza» post-separazione in TMB (esperienza pluriennale impianto a flusso a pistone su indifferenziato di Valladolid - Spagna): ca ; il che conduce ad un BMP medio reale (56% netto post-upgrade) di 58,8 ;
  - Perdita di materia in peso durante la digestione: ca 10-12%;
  - Ipotesi di utilizzazione del biogas al 100% per upgrade a biometano:
  - Biogas producibile per anno: ca 10.500.000
  - Biometano producibile per anno: ca 6.450.000 interamente ceduti a rete in forma gassosa, (*o, in subordine, laddove più conveniente interamente destinati alla produzione di LNG*);

#### **Tutte le assunzioni economiche a seguire sono elaborate nella ipotesi minimale e prudentiale di integrale conferimento del biometano a rete**

- 1 CIC per biocarburante non avanzato = 375€ ogni Gcal (ossia circa 0,31€/Sm<sup>3</sup>)
- Energia necessaria per la totale evaporazione di 1 ton di H<sub>2</sub>O dal digestato post-produzione del biogas: ca 740 kWh;
- Ipotesi di riduzione dei pesi da smaltire: ca 50.000 ton/anno;
- Efficienza di progetto per la trasformazione del biogas in energia termica: ca 41%;
- Energia termica totale da acquisire da vettore energetico a basso impatto (gas naturale): ca 37.000.000 kWh;
- Fabbisogno di energia termica per l'evaporazione del 65% di H<sub>2</sub>O da digestato al 75% di umidità: ca 37.000.000 kWh;
- Peso totale atteso del digestato: ca 87.400 ton;
- H<sub>2</sub>O presente nel digestato, stima 75%: ca 65.000 ton;
- Target 65% di H<sub>2</sub>O da evaporare dal digestato: ca 30.000 ton.

#### 2.3.2 Aspetti economici

Questo mix originale di tecnologie provate e validate permette di osservare notevoli vantaggi anche nell'aspetto finanziario, infatti esistono possibili ricavi da cessione del biometano a rete in modo incentivato (con ipotesi di cessione al prezzo medio del metano di 0,20€/ oltre agli incentivi *non in double counting*) per un totale di ca 3.300.000€/anno.

È possibile ottenere un risparmio pari all'80% del costo attualmente sostenuto per le 50.000 ton di non a smaltimento, ovvero ca 5.000.000€/anno.

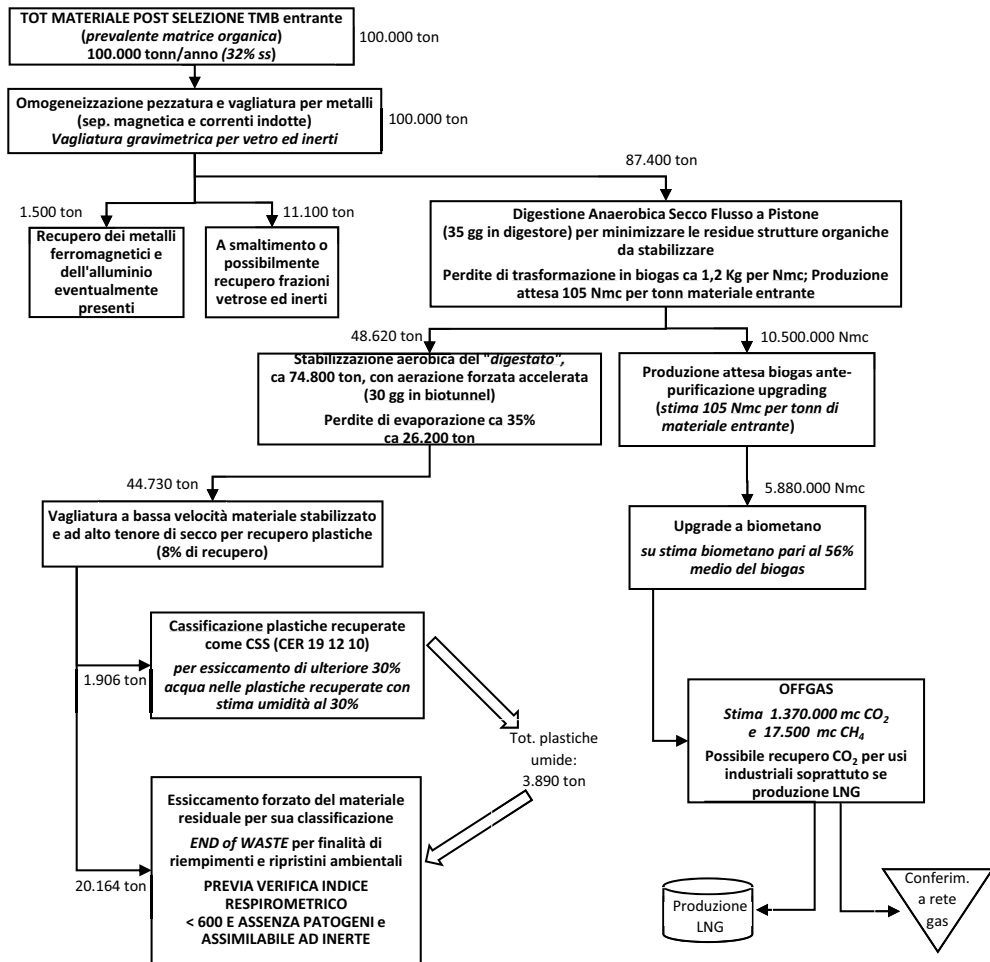
I costi (da qui il segno negativo) per l'approvvigionamento a 0,04€/kWh di ca 37.000.000 kWh termici a complemento dell'autoproduzione da biogas, ammontano a ca 1.480.000€/anno, mentre i possibili flussi attivi risultano oltre 4.000.000€/anno.

Considerando un costo totale di impianto di ca 20.000.000 con payback totale a 10 anni, per assumere l'orizzonte del valore fisso e garantito dell'importo per i CIC prodotti, ed interessi annui del 5% (approccio fortemente prudentiale, anche in relazione alla politica accomodante prevista per alcuni anni da parte del BCE e degli istituti centrali di emissione nell'eurozona), con costi di gestione annui di ca 900.000€, si giunge ad un risultato annuo positivo sotto il profilo degli economics and financial di ca 330.000€/anno. A questo vantaggio economico diretto devono sommarsi effetti positivi per la riduzione ulteriore di ca 1.300.000€/anno per minori costi di smaltimento FOS.

### *2.3.3 Vantaggi ambientali e sociali*

Il risparmio di circa 50.000 tonnellate annue da smaltire in discarica o altro impianto produce una sensibile riduzione del «consumo di territorio» e dei costi ambientali derivanti dai trasporti di questi quantitativi. L'utilizzo di energia da fonti rinnovabili ed il risparmio dei quantitativi equivalenti da fonti fossili genera una riduzione delle emissioni relative e, seppur in presenza di minori costi di gestione e smaltimento rispetto agli attuali, si può osservare uno stabile gradiente occupazionale positivo. Di fatto, questo nuovo mix di tecnologie consente il refurbishment di impianti TMB spesso datati, rendendoli vigilati ed efficienti ancora a lungo. Infine, il completamento del ciclo del TMB avviene in questo modo con una forte riduzione degli odori e degli impatti sul territorio.

### 2.3.4 Schema sintetico



### 3. Conclusioni

L'approccio tecnologico proposto fornisce un modello funzionale di recupero delle risorse e riduzione della quantità di FOS da esitare a smaltimento finale, innescando un ciclo virtuoso che migliori significativamente l'impatto sui costi di processo ed il bilancio ambientale con la produzione di biometano e di un *end-of-waste* certificato. Questo mix di tecnologie può inoltre rappresentare un potenziale mutamento epocale andando a trasformare a livello europeo un metodo prettamente italiano basato sull'equivoco della tecnologia TMB. In questo modo si ottengono, oltre al risparmio energetico ed alla riduzione dei costi ambientali, un miglioramento del quadro economico, la riduzione dei carichi, del consumo del territorio e del traffico per lo smaltimento finale ed un piccolo stabile sviluppo occupazionale.

### Bibliografia

Trattandosi di un mix originale di tecnologie consolidate e provate usate in modo innovativo, non si ritiene possa esserci al momento una bibliografia adeguata a sostenere ed arricchire il presente elaborato.

# Utilizzo di ceneri di combustione di rifiuti solidi per la preparazione di manufatti cementizi

*Alessio Siciliano\** [alessio.siciliano@unical.it](mailto:alessio.siciliano@unical.it), *Francesco Marchio\*\**, *Carlo Limonti\**,  
*Giulia Maria Curcio\**

\* *Università della Calabria, Rende (Cosenza)*

\*\* *Econet srl, Lamezia Terme (CZ)*

## **Riassunto**

*Lo smaltimento delle ceneri della combustione di rifiuti solidi rappresenta una problematica ambientale di notevole rilevanza. Il presente lavoro riporta i risultati di un'ampia indagine sperimentale finalizzata a valutare la possibilità di riutilizzo delle ceneri per la preparazione di mattonelle in conglomerato cementizio in grado di rispettare le indicazioni normative in termini di rilascio di inquinanti. Le prove sono state condotte utilizzando sia ceneri tal quali che sottoposte a lavaggio, con acqua e con soluzioni acide a pH 3 e 5. Per ciascun set, diversi test sono stati eseguiti variando il contenuto di ceneri, in sostituzione della componente inerte, e mantenendo costanti le quantità di cemento portland e di acqua. Tutti i provini in conglomerato sono stati lasciati maturare per un tempo di 28 giorni. Trascorso tale periodo, i campioni sono stati sottoposti a test di cessione e sul liquido di lisciviazione è stato analizzato il rilascio di alcuni metalli. I risultati sperimentali evidenziano come il lavaggio delle ceneri con sola acqua riduca notevolmente la lisciviazione rispetto a quanto osservato sui manufatti preparati con ceneri tal quali. L'utilizzo di soluzioni acide a pH 5, rispetto al lavaggio con acqua, abbatte il rilascio di cadmio e nichel ma determina una maggiore presenza negli eluati di piombo e cromo. Il lavaggio con soluzioni a pH 3, ad esclusione del caso del cromo, non sembra determinare un beneficio rispetto alle altre modalità di lavaggio testate.*

## **Summary**

*The disposal of ashes from combustion of solid waste is a meaning environmental issue. The present paper reports the results of a wide experimental investigation aimed to evaluate the possible reuse of ashes for the production of cement conglomerate tiles able to satisfy the regulatory requirements in terms of pollutants release. The experiments were carried out using raw ashes and ashes washed with water and acidic solutions with pH 3 and 5. For each experimental set, several tests were conducted by changing the amount of ashes, in replacement of inert component, and keeping constant the quantities of cement and water. All samples were matured for a period of 28 days. After this period, the samples were subjected to leaching tests and the recovered leachate was analysed in terms of concentrations of some metals. The experimental results underline that the ashes washing with water notably reduces the release of metals as compared to that observed on samples prepared with raw ashes. The use of acidic solutions with pH 5, with respect to the washing with water, reduces the release of cadmium and nickel but causes a higher release of lead and chromium. The washing at pH 3, by excluding the case of chromium, does not appear to produces any benefit with respect to the other washing modalities investigated.*



## 1. Introduzione

I processi di termovalorizzazione rivestono un ruolo rilevante ai fini dell'applicazione di un corretto sistema di gestione dei rifiuti. Tali processi, tuttavia, determinano la produzione di ceneri e scorie il cui smaltimento rappresenta una problematica ambientale di rilievo. Per tale motivo vi è un crescente interesse verso l'individuazione di forme di recupero e di riutilizzo di tali residui [1-4]. Allo stato attuale, il riferimento normativo per le attività di recupero delle ceneri pesanti e scorie (CER 19.01.12) è il decreto DM 5/02/1998 [5], modificato dal DM 186/2006 [6], il quale prevede la possibilità di recupero in cementifici. Per quanto riguarda le ceneri caratterizzate da codice CER 19 01 11 "ceneri pesanti e scorie, contenenti sostanze pericolose", la normativa di riferimento non ammette il recupero di tale tipologia di rifiuto, non essendo esso compreso nel decreto ministeriale 161/2002. Tuttavia, secondo l'articolo 211 del DgLS 152/2006 e successive modificazioni e integrazioni [7], l'attività di recupero delle ceneri da termovalorizzatore, come additivo per la realizzazione di manufatti in conglomerato cementizio, è consentita nell'ambito degli impianti di sperimentazione e ricerca. In tale ambito si inserisce l'indagine sperimentale descritta nel presente lavoro. In particolare, numerose sperimentazioni sono state condotte con l'obiettivo di verificare il possibile utilizzo di ceneri di combustione per la realizzazione di mattonelle in conglomerato cementizio, con caratteristiche tali da rispettare le normative di settore in termini di rilascio di inquinanti. Diverse prove sono state condotte utilizzando sia ceneri tal quali sia sottoposte ad un preliminare lavaggio con sola acqua o soluzioni acide. I provini realizzati sono stati sottoposti a test di cessione e sul liquido di lisciviazione è stato analizzato il rilascio di metalli pesanti.

## 2. Materiali e metodi

Le indagini sperimentali sono state condotte su due differenti tipologie di ceneri micronizzate classificate come:

- $M_1$ - $M_2$  ceneri pesanti e scorie (CER 19.01.12)
- $M_3$ - $M_4$  ceneri pesanti, contenenti sostanze pericolose (CER 19.01.11\*).

Per la preparazione dei manufatti cementizi, oltre alle ceneri, stati utilizzati clinker di cemento portland, ghiaia fine e sabbia con granulometria variabile ed acqua di acquedotto. Le prove sono state condotte utilizzando sia ceneri tal quali che sottoposte a lavaggio con acqua e con soluzioni acide a pH 3 e 5. Per ciascun set, diversi test sono stati eseguiti variando il contenuto di ceneri, in sostituzione della componente inerte, e mantenendo costanti le quantità di cemento portland e di acqua. Tutti i provini realizzati sono stati lasciati maturare per un tempo di 28 giorni, trascorso il quale, sono stati sottoposti a test di cessione secondo le norme UNI EN 10802 [8] e UNI EN 12457-2 [9]. Sul liquido di lisciviazione, recuperato al termine di ogni test, è stato analizzato il rilascio di sostanze inquinanti.

### 2.1 Modalità di conduzione del lavaggio delle ceneri

Il pretrattamento delle ceneri è stato eseguito considerando un rapporto tra massa di materiale e volume di liquido pari a 5. In particolare, all'interno di un contenitore in PVC di 10 L, un quantitativo di ceneri di 700 g è stato posto a contatto con 3,5 L di soluzione di lavaggio. Nel caso delle prove con sola acqua, il volume della soluzione di lavaggio era costituito da acqua di acquedotto. Nel caso delle prove con soluzioni acide, parte del volume di acqua distillata è stato sostituito con 0,25 L e 0,15 L di HCl (37% m/m), rispettivamente per le prove a pH 3 e 5. In tutti i test, la miscela è stata mantenuta in agitazione meccanica per un tempo di contatto pari a 24 ore. Al termine del trattamento, la fase solida è stata separata dal liquido mediante filtrazione su carta da filtro. Il materiale recuperato è stato lasciato essiccare a temperatura ambiente prima di essere utilizzato per la preparazione dei provini. Il liquido di lavaggio è stato completamente caratterizzato per determinare il suo contenuto di inquinanti.

## 2.2 Modalità di confezionamento dei provini in conglomerato cementizio

Per la preparazione dei provini, ciascuno del peso iniziale di 500 g, sono stati miscelati in percentuali variabili inerti e ceneri, mantenendo costante la quantità di clinker ed acqua. In particolare, per ciascuna tipologia di ceneri, sono stati confezionati sei provini. In ciascuno la quantità di clinker ed acqua è stata posta pari a 125 g e 75 mL, rispettivamente, mentre il quantitativo di inerti è stato progressivamente sostituito dalle ceneri fino a raggiungere un rapporto unitario tra le due componenti. Nella Tabella 1 sono riportate le quantità utilizzate per il confezionamento dei provini. Operativamente, la preparazione dei provini ha previsto la pesata dei materiali ed il loro mescolamento meccanico fino alla formazione di una miscela omogenea. Successivamente, le miscele sono state immesse all'interno di appositi contenitori in polistirolo dal volume complessivo di circa 225 mL (14×8×2 cm) e lasciate maturare per 28 giorni in una stufa termostata alla temperatura controllata di 25°C.

Provino	Inerti [g]	Ceneri [g]	Cemento [g]	H <sub>2</sub> O [mL]
P1	275	25	125	75
P2	250	50	125	75
P3	225	75	125	75
P4	200	100	125	75
P5	175	125	125	75
P6	150	150	125	75

Tab. 1 – Quantità utilizzate per il confezionamento dei provini

## 2.3 Modalità di conduzione dei test di rilascio

A valle del periodo di maturazione, i provini sono stati sottoposti a test di rilascio degli inquinanti come previsto dalla normativa tecnica del settore. Nel caso in questione, poiché trattasi di campioni monolitici, è stata applicata la UNI EN 10802 secondo la metodica prevista nella norma UNI EN 12457-2. Tale metodica prevede di porre il campione di peso ( $P_C$ ) a contatto con un volume di un agente lisciviante ( $V_L$ ) tale da garantire un rapporto  $V_L/P_C$  pari a 10 L/Kg. La durata della prova è stabilita in 48 ore mantenendo una miscelazione continua del lisciviante tale da non causare alterazione del provino. Per l'esecuzione dei test è stato messo a punto un apposito apparato costituito da un agitatore magnetico e da un box in PVC dotato di chiusura superiore rimuovibile e da sostegni per il posizionamento dei provini. I provini sono stati posti all'interno del contenitore insieme a 2 L di acqua distillata. Il mescolamento del lisciviante è stato effettuato mediante agitazione magnetica. All'inizio ed al termine dei test si è proceduto al controllo del valore di pH. L'eluato finale è stato filtrato su carta da filtro a 10 micron e, successivamente, fatto evaporare a 150 °C per 24 h. Trascorso tale tempo, il solido ottenuto è stato solubilizzato con una miscela 3 a 1 di HCl al 37% (W/W) ed acido nitrico HNO<sub>3</sub> al 69,5% (W/W) e portato, poi, al volume di 100 mL. Sulla soluzione ottenuta si è proceduto alla determinazione di Piombo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd) e Nichel (Ni), mediante l'utilizzo di uno spettrofotometro ad assorbimento atomico [10].

## 3. Risultati e discussione

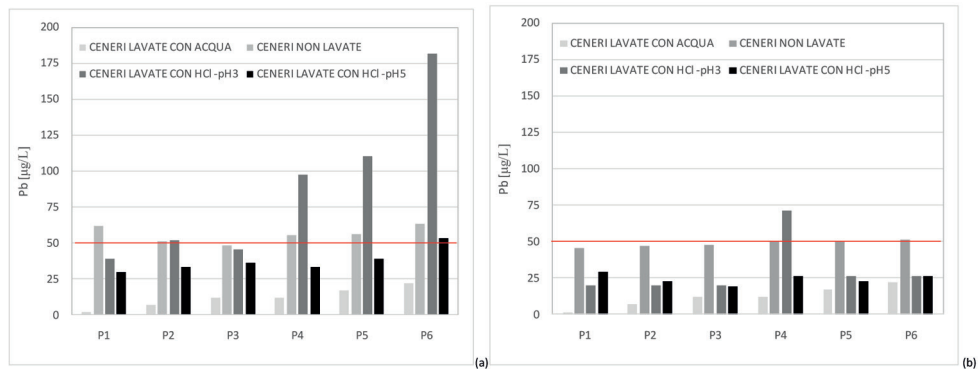
Le concentrazioni degli inquinanti rilevati negli eluati delle diverse prove sono state confrontate con i limiti imposti dall'Allegato 3 del DM 5/02/1998, modificato dal DM 186/2006. Inizialmente si è valutata la variazione subita dal pH nei diversi test condotti. In tutte le condizioni testate, sia per le ceneri  $M_1$ - $M_2$  che per le ceneri  $M_3$ - $M_4$ , si sono osservati valori di

pH sempre superiori a 9 ma, comunque all'interno dell'intervallo imposto dalla normativa di riferimento, compreso tra 5,5 e 12.

Nel seguito sono illustrati i risultati ottenuti relativamente alla presenza di metalli.

• *Piombo (Pb)*

Dal confronto delle concentrazioni rilevate nelle diverse sperimentazioni condotte sui provini preparati con le ceneri  $M_1$ - $M_2$ , si può facilmente costatare come il lavaggio con HCl a pH 5 determini un minore rilascio rispetto alle analoghe prove condotte a pH 3 (Figura 1a). Le concentrazioni di piombo liscivate sono ancora inferiori a quelle riscontrate preparando i provini senza lavaggio delle ceneri, mentre si attestano a valori superiori se confrontate con le rilevazioni effettuate sui campioni con ceneri lavate con sola acqua. In effetti, in queste prove, la concentrazione di piombo nel liquido di lisciviazione è risultata sempre al di sotto del limite normativo di 50  $\mu\text{g/L}$  (Figura 1a). Per quanto concerne le ceneri  $M_3$ - $M_4$  (Figura 1b), le concentrazioni sono risultate nettamente inferiori rispetto a quelle riscontrate dalle prove di lisciviazione condotte con le ceneri  $M_1$ - $M_2$  (Figura 1a). Anche in tal caso, il lavaggio preliminare con soluzioni di HCl a pH 5 ha determinato un minor rilascio di piombo in confronto a provini con ceneri tal quali, mentre i valori sono risultati simili a quelli ottenuti dopo lavaggio a pH 3 (Figura 1b). Tuttavia, ancora una volta il rilascio di piombo è risultato maggiore di quello rilevato procedendo al preliminare lavaggio delle ceneri con sola acqua. Pertanto, le indagini condotte dimostrano come il lavaggio con HCl, almeno ai pH testati nel presente studio, influisca negativamente sulle proprietà finali di inglobamento del piombo. Tali effetti si riducono effettuando il lavaggio ad un pH moderatamente acido (pH=5). Tuttavia le minori concentrazioni negli eluati si ottengono eseguendo il lavaggio preliminare delle ceneri solo con acqua.

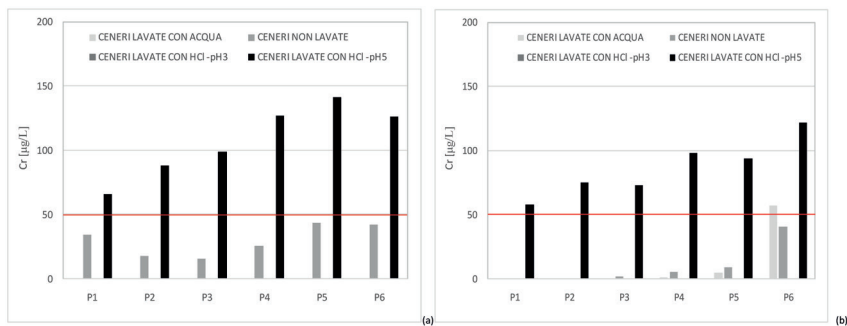


**Fig. 1** – Valori di Pb determinati negli eluati dei provini confezionati con le ceneri  $M_1$ - $M_2$  (a) e  $M_3$ - $M_4$  (b).

• *Cromo (Cr)*

Per quanto concerne il cromo, vi è da sottolineare che il lavaggio con acqua determina un rilascio pressoché nullo per le ceneri  $M_1$ - $M_2$  mentre, per le ceneri  $M_3$ - $M_4$ , solo per il provino a P6 si ha un rilascio significativo che supera il limite normativo (Figura 2a, b). Nel caso dell'utilizzo di ceneri lavate con HCl a pH 5 è stata constatata una condizione completamente differente rispetto a quanto riscontrato nelle prove a pH 3. Difatti, per entrambe le tipologie di ceneri, mentre per il lavaggio con pH=3 le concentrazioni negli eluati sono risultate trascurabili in tutti i campioni preparati, nel caso del pretrattamento attuato a pH=5 si sono osservati valori di Cr sempre al di sopra del limite normativo di 50  $\mu\text{g/L}$  (Figura 2a,b). Tali

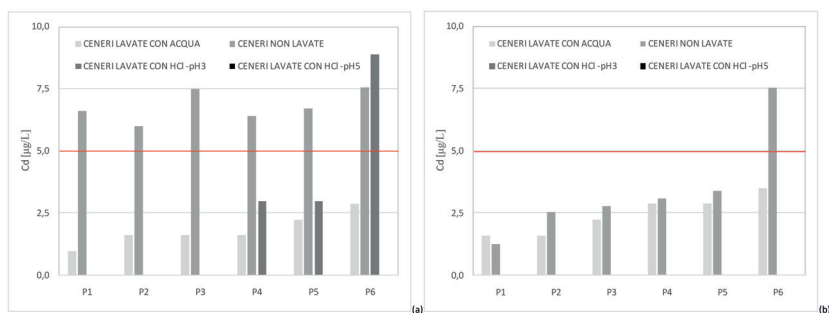
valori sono risultati anche superiori a quelli rilevati sui provini preparati con le ceneri tal quali (Figura 2 a,b). I risultati sperimentali sembrano suggerire che l'utilizzo dell'HCl ad un pH 5, contrariamente a quanto avviene al pH 3, intacchi la struttura delle ceneri mobilizzando il cromo ma senza causarne la completa rimozione. Questo fa sì che il cromo si riscontri ad alte concentrazioni negli eluati dei manufatti cementizi finali.



**Fig. 2** – Valori di Cr determinati negli eluati dei provini confezionati con le ceneri  $M_1$ - $M_2$  (a) e  $M_3$ - $M_4$  (b).

• *Cadmio (Cd)*

A differenza di quanto discusso per il cromo, nel caso del cadmio, il pretrattamento con HCl a pH 5 ha apportato un evidente miglioramento in termini di rilascio rispetto a quanto osservato negli altri test. Infatti, le concentrazioni sono risultate sempre trascurabili per entrambe le tipologie di ceneri utilizzate, indipendentemente dal quantitativo di rifiuto utilizzato per la preparazione dei provini (Figura 3a,b). Tali risultati indicano che il lavaggio con HCl ad un pH non eccessivamente acido consenta di eliminare il rilascio di cadmio dai manufatti cementizi, contrariamente a quanto invece constatato nelle prove effettuate ad un pH pari a 3 in cui, per le ceneri  $M_1$ - $M_2$ , si sono raggiunte concentrazioni anche superiori al limite normativo.



**Fig. 3** – Valori di Cd determinati negli eluati dei provini confezionati con le ceneri  $M_1$ - $M_2$  (a) e  $M_3$ - $M_4$  (b).

• *Nichel (Ni)*

Il preliminare lavaggio delle ceneri con HCl ad un pH pari a 5 ha consentito di risolvere la problematica connessa al rilascio del nichel dai manufatti cementizi finali. Difatti, per le ceneri  $M_1$ - $M_2$ , mentre in tutti gli altri casi sono state riscontrate concentrazioni sempre superiori al limite normativo, adottando un pretrattamento con acido cloridrico a pH moderatamente acido, è stata misurata una concentrazione di circa 2 µg/L per il campione P3 e pressoché nulla per tutti gli altri campioni (Figura 4a). Pertanto, alzando il pH della miscela di lavaggio

si riduce drasticamente il rilascio di nichel, rispetto al caso in cui si applichi il pretrattamento ad un pH di 3. Anche per le ceneri  $M_3$ - $M_4$ , il lavaggio a pH 5 ha determinato un evidente beneficio in termini di rilascio di nichel dai provini finali. In effetti, con tali tipologie di ceneri, le concentrazioni negli eluati si sono attestate sempre a valori trascurabili, contrariamente a quanto osservato sulle ceneri tal quali, lavate con acqua e con soluzioni a pH 3 (Figura 4b).

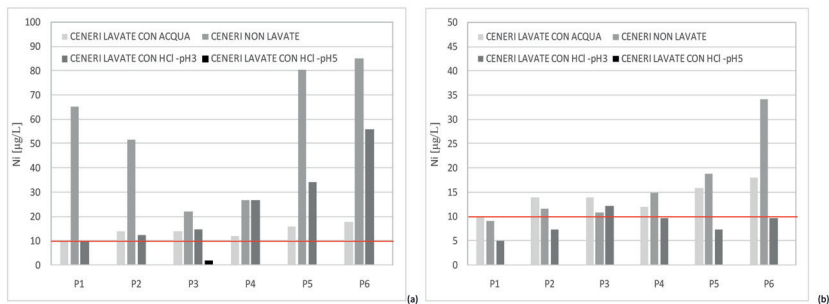


Fig. 4 – Valori di Ni determinati negli eluati dei provini confezionati con le ceneri  $M_1$ - $M_2$  (a) e  $M_3$ - $M_4$  (b).

#### 4. Conclusioni

I risultati delle sperimentazioni condotte hanno evidenziato come il processo di lavaggio delle ceneri con soluzioni acide, rispetto a quanto rilevato applicando un lavaggio con sola acqua, solo in alcuni casi determini un beneficio in termini di rilascio di inquinanti dai manufatti cementizi. Difatti, i migliori risultati per quanto concerne la lisciviazione di piombo e cromo si sono raggiunti sottoponendo le ceneri a lavaggio senza aggiunta di acidi. Al contrario, il lavaggio con soluzioni acide a pH 5 evita il rilascio di alcuni inquinanti quali cadmio e nichel le cui concentrazioni, in tutte le altre prove effettuate, sono risultate piuttosto elevate. L'adozione di soluzioni acide a pH 5, a meno del caso del cromo, risulta più vantaggioso rispetto all'utilizzo di soluzioni a pH 3. Inoltre, le soluzioni ottenute dal pretrattamento di lavaggio con HCl a pH 5 presentano concentrazioni di inquinanti minori di quelle rilevate a pH=3 ma, comunque, per alcuni elementi, tali da rendere necessario un successivo trattamento per poter rispettare i limiti allo scarico in fognatura (dati non riportati). In ogni caso, tale trattamento, viste le concentrazioni generalmente non particolarmente alte, potrebbe essere molto più blando rispetto a quello necessario per le soluzioni di lavaggio a pH 3. Al fine di definire una procedura di lavaggio ottimale, è necessario condurre ulteriori sperimentazioni per testare l'efficacia di altre tipologie di acido, quali l'acido solforico e nitrico. In effetti, tali acidi, rispetto al cloridrico finora utilizzato, potrebbero fornire risultati differenti e tali da massimizzare i benefici e limitare gli aspetti negativi legati al rilascio di alcuni inquinanti. Inoltre è necessario valutare anche l'influenza della granulometria delle ceneri nella preparazione dei provini. Difatti, utilizzando ceneri non micronizzate, riducendosi la superficie specifica, è possibile una significativa riduzione del rilascio di inquinanti.

#### Bibliografia

- [1] Collivignarelli C., Sorlini S., Gialdini F. (2008). Recupero come aggregato nel calcestruzzo dei residui derivanti dalla termodistruzione di RSU e dalla bonifica di terreni contaminati-Parte I: Marcatura "CE" degli aggregati. Rifiuti Solidi, 22, 108-118.
- [2] Ferreira C., Ribeiro L., Ottosen L. (2003). Possible application for municipal solid waste fly ash. Journal of Hazardous Materials, B96, 201-216.
- [3] Traina G., Bonoli A. (2006). Cenere di fondo da termovalorizzazione RSU. Recycling, anno X, marzo, 85-94.

- [4] Birgisdóttir H., Bhandar G., Hauschild M.Z., Christensen T.H. (2007). Life cycle assessment of disposal of residues from municipal solid waste incineration: Recycling of bottom ash in road construction or landfilling in Denmark evaluated in ROAD-RES model. *Waste Management*, 27, S75-S84.
- [5] Decreto Ministeriale 05/02/1998. Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n.22. *Gazzetta Ufficiale* n. 88, 16/04/1998.
- [6] Decreto Ministeriale n. 186, 05/04/2006. Regolamento recante modifiche al Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998 “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n.22”. *Gazzetta Ufficiale* n.115, 19/05/2006
- [7] Decreto Legislativo n. 152, 03/04/2006 (2006). Norme in materia ambientale. *Gazzetta Ufficiale* n. 88, 14/04/2006.
- [8] UNI 10802:2004. Rifiuti - Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi – Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati.
- [9] UNI EN 12457-2:2004. Caratterizzazione dei rifiuti – Lisciviazione – Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi – Parte 2: Prova a singolo stadio, con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg, per materiali con particelle di dimensioni minori di 4 mm (con e senza riduzione delle dimensioni).
- [10] APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edn. American Public Health Association and Water Environment Federation. Washington DC, USA, 1998.





# CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY

## BUONE PRATICHE DI SIMBIOSI INDUSTRIALE IN ITALIA E IL CONTRIBUTO DELLE POLICY REGIONALI QUALE LEVA STRATEGICA

In Italia, le Regioni possono svolgere un ruolo importante nella transizione verso l'economia circolare e nell'incoraggiare l'adozione di modelli di produzione e consumo sostenibili. L'obiettivo della sessione è fornire una panoramica delle politiche e degli strumenti di finanziamento che le regioni italiane stanno attuando per favorire l'adozione della simbiosi industriale come leva per la competitività industriale e territoriale, raccogliendo casi di buone pratiche di simbiosi industriale (cooperazione tra aziende, aree industriali e distretti, casi di simbiosi urbana e/o territoriale, ecc.). Le migliori pratiche dovrebbero descrivere i dettagli delle applicazioni di simbiosi industriale, come la quantità e la qualità delle risorse condivise, nonché i relativi aspetti economici e ambientali.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo e ENEA**

**Presidenti di sessione:**

- Laura Cutaia, *ENEA – SUN Symbiosis Users Network*
- Luigi Rossetti, *Regione Umbria – Direttore Generale “Salute, welfare, sviluppo economico, istruzione, università e diritto allo studio”*



# Filiere sostenibili con l'economia circolare dalle tecnologie di fine vita per la simbiosi industriale

Consuelo Nava [cnava@unirc.it](mailto:cnava@unirc.it)  
Università Mediterranea degli Studi di Reggio Calabria, dArTe- ABITAlab

## Riassunto

*Il ricorso “a nuovi modelli circolari” verso filiere produttive sostenibili, capaci di gestire il processo e di identificarlo, in tutte le sue relazioni nella dimensione e di piattaforma condivisa per le sue fasi innovative di ecodesign, esemplifica le potenzialità di una qualsiasi mission di chi opera nel settore industriale. Una sfida non solo per l'innovazione di processo e di prodotto che ne muovono gli obiettivi generali, ma anche per il modello di business attivato, dal passaggio da una logistica centralizzata e lineare ad una filiera di economia circolare, capace di attivare tra più processi una “simbiosi industriale” di tipo settoriale, assolutamente sostenibile, per il raggiungimento del modello più avanzato di “prodotto come servizio”. Nello scenario dell'innovazione tecnologica del ciclo di vita (Technology Adoption Life Cycle), gli attori che operano all'interno di tali filiere, contribuendo alla qualifica di “innovatori” in quanto “early adopters”, sono identificabili come coloro che adottano nuove tecnologie e innescano innovazioni radicali caratterizzate da originalità e complessità progettuale.*

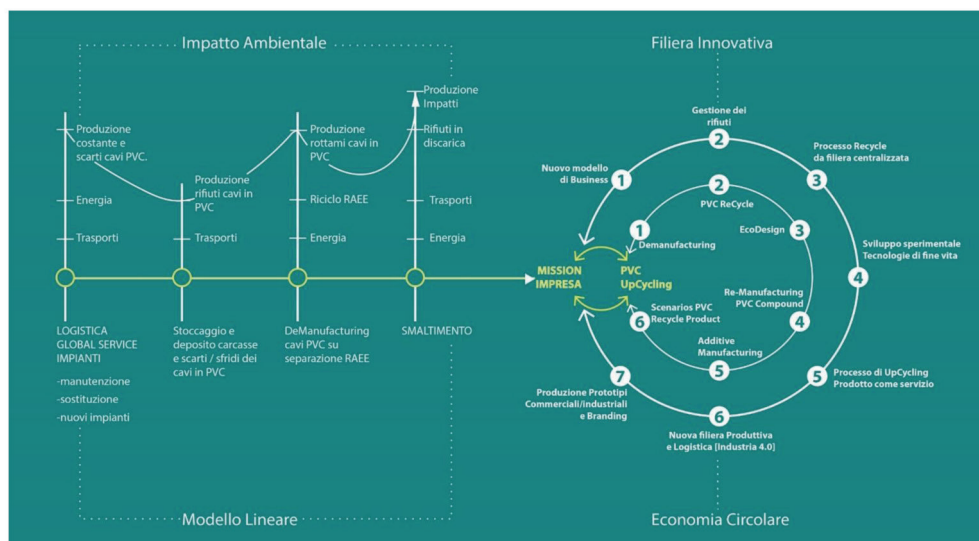
## Summary

*The use of “new circular models” towards sustainable production chains, capable of managing the process and identifying it, in all its relationships in size and shared platform for its innovative phases of ecodesign, exemplifies the potential to any mission of those working in the industrial sector. A challenge not only for the innovation of process and product that move its overall objectives, but also for the activated business model, from the transition from centralized and linear logistics to a circular economy chain, capable of activating among others processes an “industrial symbiosis” of a sectoral type, absolutely sustainable, to achieve the most advanced model of “product as a service”. In the scenario of technology adoption life cycle, actors working within these supply chains, contributing to the qualification of “innovators” as “early adopters”, are identifiable as those who adopt radical innovations characterized by originality and design complexity.*

## 1. Introduzione

È evidente che il passaggio da un modello di economia lineare ad uno circolare non è semplice ed immediato e sebbene ormai in letteratura esistano casi e buone pratiche nel settore delle politiche industriali, i processi e i prodotti che sono identitari e unici, richiedono una filiera produttiva attivata dall'impresa ogni volta “su misura” al fine di cambiare il suo modello di business e di gestione ambientale. Pertanto occorre ricostruire la catena delle operazioni e l'operatività delle fasi del modello circolare, caso per caso, con riferimento al settore di innesco della catena, ai destinatari del servizio e alla tipologia riferita al nuovo ciclo di vita del pro-

dotto, proveniente dal processo di riciclo e con riferimento al modello congiunto di simbiosi industriale. Avviare quanto descritto significa spesso “ampliare la scala tecnica ed economica” delle filiere da attivare e innovare i processi prima ancora che i prodotti. Il ciclo delle risorse, connesso alla domanda di materie prime per produzioni sempre più performanti, non può sostenersi più con un modello di tipo lineare, con la produzione di rifiuti e unicamente con un modello che assume il riciclo come possibilità di trasformare gli scarti. Occorre adottare un modello di “economia circolare”, capace di fare degli scarti e dei rifiuti [1], materia prima-seconda secondo un processo che consente di attivare anche prodotti provenienti dal loro “upcycling”. Cicli capaci di produrre dalla materia prima-seconda, prodotti di qualità superiore rispetto a quelli interessati da un semplice processo di riciclo [2]. Tale scenario si innesta sulla più urgente domanda di diminuire l’impatto dei processi industriali sull’ambiente e di evitare l’enorme conferimento in discarica dei rifiuti, con la conseguente necessità di gestire discariche, inceneritori, etc (obiettivi in tema di rifiuti delle politiche europee 2020-2030). [3] (fig.1)



**Fig. 1 – Passaggio da Economia Lineare a Economia Circolare nel progetto-ricerca PVCUpCycling**  
(fonte: Caso di studio: [www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com), grafici: C.Nava, D.Lucanto)

## 2. Relazione

Per tali processi di economia circolare, si sviluppano così modelli di differente profilo, attraverso la circolarità *di tipo tecnico-scientifico*, *di tipo economico-finanziario*, *di tipo tecnico-produttivo*. Tutti e tre i profili si autosostengono per gli effetti prodotti da altrettanti modelli o strategie, che vengono puntualmente verificati, valutati e implementati secondo i flussi di informazioni, dati, tecnologie, filiere, prodotti, networks al fine di garantire le regole stesse, fondamentali per i processi circolari continui.

*In termini tecno-scientifici*, l’idea di arrivare ad uno scenario “rifiuti zero” è sviluppata in programmi e progetti innovativi che si pongono tali obiettivi ed investono l’intera filiera produttiva; l’innovazione che di fatto genera nuovo know how, ed è a sua volta innescata dal trasferimento tecnologico di settore e sperimentale, accresce la competitività in tutte le fasi operative-tecniche della progettazione, dell’utilizzo, della manutenzione, del riutilizzo, della rigenerazione e del riciclo. Tali aspetti si interfacciano con quelle della filiera/business “circo-

lare”, interferenti sulla “catena del valore” per l’impresa o organizzazione promotrice di tale percorso; essa stessa attraversa tecnicamente le fasi dell’approvvigionamento, della fabbricazione, del marketing e delle vendite, dell’utilizzo del prodotto, dello smaltimento del prodotto e dello sviluppo di un nuovo prodotto. [4]

*In termini tecnico-produttivi*, applicare e sperimentare modelli circolari, significa mutare il sistema di filiera manifatturiera, soprattutto per il ruolo svolto dalle PMI nella produzione di beni e servizi; allungare la loro durata di vita e ancora progettare prodotti innovativi, destinati al mercato. In termini strumentali, quando un tale processo interessa l’upcycling di prodotti con la trasformazione di scarti di materiale e rifiuti in materia-prima seconda per altri prodotti, lo scenario si implementa con l’acquisizione in impresa, di tecnologie più performanti sui temi del “fine vita”. Recycle e upcycle, si realizzano con miglioramenti significativi dei processi innescati per la filiera del riciclo; con l’integrazione con i macchinari già presenti e per tutte le tecnologie “additive” per la pre-prototipazione tipica da ecodesign (Ket’s, manufacturing avanzato per Industria 4.0). Tale modello, così come discusso da Ayres, è unico ma diversificato per i prodotti biologici e i prodotti tecnici, nella necessità per entrambi di processare le risorse da trasformare, i prodotti trasformati e la fornitura di servizi (cfr.tab.1). [5]

Biosfera	Tecnosfera
Ambiente	Mercato
Organismo	Azienda
Prodotto naturale	Prodotto industriale
Selezione naturale	Competizione
Ecosistema	Parco eco-industriale
Nicchia ecologica	Nicchia di mercato
Anabolismo/Catabolismo	Produzione/Gestione dei rifiuti
Mutazione e selezione	Eco-progettazione
Successione ecologica	Crescita economica
Adattamento	Innovazione
Catena alimentare	Ciclo di vita del prodotto

**Tab. 1** – La metafora di Ayres per illustrare la disciplina dell’ecologia industriale (fonte: Ayres R.U., 1989)

*In chiave economico-finanziaria*, la filiera di economia circolare capace di attivare più processi una simbiosi industriale di tipo settoriale, assolutamente sostenibile, raggiunge il modello produttivo più avanzato di “prodotto come servizio”, innescando nuove economie e posizionamento nei mercati innovativi per chi lo adotta. Il modello di business “prodotto come servizio” su “recupero e riciclo”, sposta l’interesse di chi lo adotta, sulla ricerca del “valore”, non solo quale risultato delle sue attività, ma quale strategia durante tutte le fasi di vita in cui flussi di materiali, di energia, di scarti attraversano tutta la logistica produttiva. Il modello di gestione più sostenibile di qualsiasi filiera produttiva, ha la necessità di trovare un’unica piattaforma di scambio tra il sistema biologico e quello economico, valorizzando la circolarità dello scambio di risorse e di tecnologie, di relazioni tra gli stakeholder, di produzione dai luoghi e contesti della trasformazione, per es, dalla produzione dei rifiuti ai sistemi di valorizzazione. Una vera e propria rivoluzione che in campo bio-economico, alcune proposte già organizzano al fine di raggiungere obiettivi importanti di circolarità entro il 2040, ingegnerizzando il processo di questo scambio circolare e valorizzando tutte le forme di “upcycling”, dal riciclo dello scarto a prodotti ad alta qualità tecnica e ambientale.

## 2.1 Scenari normativi e catene di valore per la simbiosi industriale

Un dato certamente importante per la costruzione stessa dei dettati regolamentativi, è stato comunque il riferimento alla natura “integrata e sostenibile” del processo circolare in tutte le sue forme, ma anche l’idea che tali dettati fossero rivolti non solo ai comparti produttivi di riferimento di produzione di beni e servizi, ma anche ai protagonisti della rete delle conoscenze, così come ai produttori di design e ai beneficiari finali e principali. Si coinvolge nel processo ogni politica ambientale di salvaguardia delle risorse e della qualità della vita, ai consumatori attivi divenuti, secondo il modello circolare e di transizione, da “consumers”, coscienti “prosumers”. [6]

L’ambizione verso modelli circolari si trasforma in una vera e propria vocazione verso “la creazione di valore” con ricadute su scenari sostenibili sociali, produttivi e territoriali, dove tra la gestione delle risorse, anche quella del tempo, contribuisce al valore stesso. (fig.2)

Rispetto al tema dell’innovazione di processo che adotta il modello dell’economia circolare si fa principalmente riferimento ai principi guida dettati dalla COM (2014) 398 “verso un’economia circolare – il programma per un’Europa a zero rifiuti”.

Tale norma recepisce quanto contenuto nella Direttiva 2008/98/CE, in cui è definito il concetto limite del rifiuto, per cui un bene cessa di essere considerato tale e può diventare un sottoprodotto o Materia Prima Seconda.

In Italia, il quadro di riferimento è ulteriormente completato da altri dettati normativi di settore, quali:

- il D.Lgs. 16 gennaio 2008, n.4: ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, recante norme in materia ambientale;
- il D.Lgs. 3 aprile 2006, n.152 “Norme in materia ambientale”, dove le materie prime secondarie sono definite nell’ art 181 bis come le sostanze e le materie che non rientrano nella definizione di rifiuto.

Nel gennaio del 2014, la Commissione Europea presenta il programma di azioni per l’Economia Circolare, “the 7th Environment Action Programme” (EAP), trattando l’interdipendenza di tutti i processi della catena del valore, sul tema dei “rifiuti che possono tornare risorse” e con norme specifiche su alcuni settori dei rifiuti quali, la plastica, i rifiuti alimentari, definendole come materie prime critiche, tra cui anche gli scarti da costruzione e demolizione, la biomassa e i bio-prodotti. Su molti di questi settori il profilo di interfaccia rifiuti-processi chimici divengono importanti. Sui temi della progettazione dei prodotti e dell’eco-design dedicata alle costruzioni e agli oggetti di uso, si punta a valutare requisiti ad alta sostenibilità, quali la riciclabilità, la durabilità, la riparabilità.

Con la comunicazione 29 del gennaio del 2018, la Comunità Europea, presenta il “Circular economy monitoring frameworking”, processo di monitoraggio che punta alla competitività e all’innovazione sui temi del processo circolare per la gestione dei rifiuti, delle materie prime seconde, della produzione e del consumo.

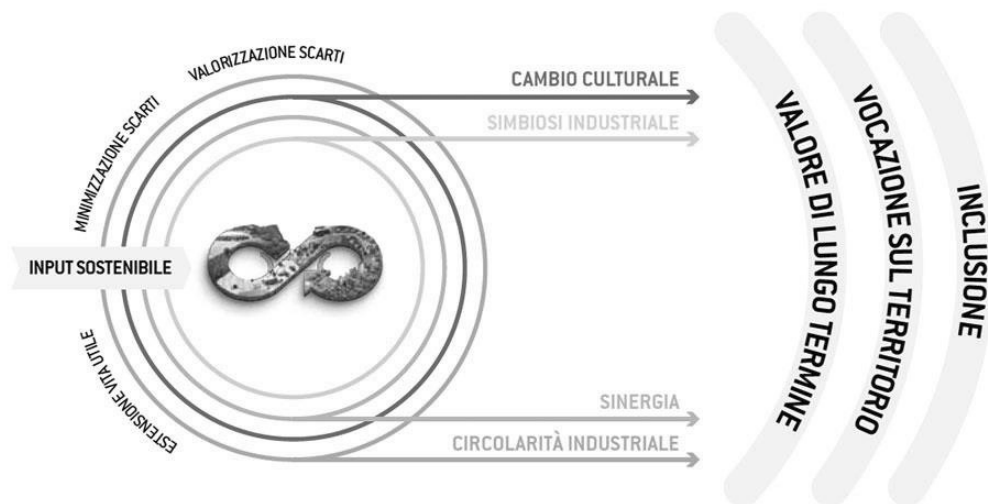


Fig. 2 – Verso la creazione di valore per l'ipersostenibilità dei modelli circolari (fonte: Eni)

## 2.2 Tecnologie Abilitanti di processo e di prodotto per il “fine vita”.

È evidente come i modelli di Economia Circolare, entrano a pieno titolo e con interessanti declinazioni, negli ambiti delle “tecnologie del fine vita”, in particolare con riferimento ad una competitività ed innovazione connessa alle KETs dei settori dei materiali avanzati, dei sistema di fabbricazione avanzata (industria 4.0). (COM2009/0512).

In tema di avanzamento scientifico e di ricerca, sui suddetti settori si concentrano capacità e innovazione, ai fini della competitività e con riferimento all’area tematica – “industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente, per il settore applicativo: Smart Manufacturing/ Fabbrica Intelligente, in SN-A1 Processi produttivi ad alta efficienza e per la sostenibilità ambientale e con applicazione in SN-A2 Sistemi produttivi evolutivi e adattivi per la produzione personalizzata (MISE, All.1, 2016).

In questo contesto innovativo e sostenibile, adottare tecnologie abilitanti di processo, significa dotarsi quindi di nuovi modelli gestionali innovativi, circolari e simbiotici; significa individuare i nuovi punti di forza e la catena del valore di una innovata dimensione della competitività dell’impresa e della rete di operatori attori di tale sfida.

Le metodologie ed i criteri di tipo tecnico da utilizzarsi per realizzare un progetto capace di tradurre “lo sviluppo sperimentale in avanzamento industriale” e che abbia tali prerogative, devono potersi orientare allo “sviluppo scientifico” attraverso: *l’attuazione di politiche di scambio e mobilità del capitale umano tra sistema della ricerca ed impresa; l’obiettivo di migliorare le competenze tecnologiche e manageriali della impresa; l’organizzazione di un progetto congiunto in grado di promuovere la partecipazione della impresa ai networks più esperti di ricerca scientifica ed industriale; la facilitazione dell’accesso di una media impresa al sistema della conoscenza scientifica e tecnologica di interesse industriale e per lo sviluppo sperimentale; la disponibilità di “servizi specialistici” ad alto valore aggiunto per il progetto e nel settore di interesse.*

Quindi trasferire tali condizioni allo “sviluppo tecnico ed industriale” con: *la convergenza degli investimenti su nuove traiettorie di sviluppo di prodotti o servizi innovativi (smart strategy) ed il trasferimento intersettoriale di conoscenza tecnologica; l’accesso della media impresa alle risorse comunitarie nel settore della ricerca, sviluppo ed innovazione; lo sviluppo di un livello di imprenditorialità fondato sul nuovo mercato (simbiosi industriale); l’attrazione di investimen-*



*ti produttivi sul territorio regionale e nazionale e l'avvio di processi di internazionalizzazione dell'impresa; il rafforzamento e "la collocazione in scenari produttivi di settore" intercettando altre risorse necessarie in tempi e networking propri della R&S dell'azienda ; il recepimento e la traduzione in protocolli di nuove tecnologie da rendere disponibili anche alle imprese che si indirizzano verso "l'economia circolare" e la filiera del riciclo industriale per la produzione di rifiuti zero; l'utilizzo condiviso di spazi, dispositivi, attrezzature di laboratorio ed in generale infrastrutture di ricerca, sperimentazione, programmi, piattaforme e certificazione nonché assets innovativi intangibili.*

Detto piano-programma potrebbe declinarsi e definirsi per le organizzazioni e filiere produttive sostenibili, che nel passaggio da un modello economico lineare, a quello circolare, investono in R&S per posizionarsi in nuovi mercati innovativi e sperimentare nuovi modelli gestionali e logistici della propria economia e produzione (trasferimento attraverso i processi di simbiosi industriale). È indubbio che il passaggio da attività di tipo scientifico a quelle tecnico-industriali, deve avere la sua convalida dei risultati della ricerca, utilizzando metodi e verifiche propri dei processi di valutazione del grado di maturità tecnologica (per es. TRL Horizon 2020, WP18-20), al fine di raggiungere gli obiettivi che interessano la produzione migliorata (upcycling) di prototipi sperimentali, di filiere sostenibili sperimentali e del loro accreditamento attraverso brevetti e certificazioni. [7]

### **3. Conclusioni**

*Osservare i criteri e le attività proprie dei modelli di economia circolare basta a valutare un processo per riconoscerlo come sostenibile?* Questo è il quesito che ci si è posti all'indomani della disseminazione dei casi di economia circolare e delle sue buone pratiche. Per rafforzare il lavoro e le finalità di una tale indagine sugli strumenti di valutazione, è importante considerare la tracciabilità e la scalabilità della questione ambientale su tre scenari, *quello dello sviluppo, quello della strategia e quello dell'applicazione* a settori produttivi specifici. In tale macro-scenario, gli strumenti di valutazione dovranno sempre essere calibrati alla necessità di rispondere, oltre alla dimensione qualitativa e quantitativa fornita dagli indicatori, ad una dimensione operativa praticabile. Ciò al fine di attuare le politiche e i metodi necessari al raggiungimento degli obiettivi di interesse, per tutta la filiera di stakeholders coinvolti, ma anche per soddisfare le tre conosciute dimensioni della sostenibilità, sociale, economica, ambientale. Quando si prendono in considerazione i livelli dei settori produttivi, l'applicazione di strumenti di valutazione sulla sostenibilità della circolarità, devono correlarsi agli strumenti di valutazione della sostenibilità alla scala degli oggetti, che entrano nella catena del valore.

Per il settore delle costruzioni, da filiere sostenibili, occorre certamente considerare *la catena edificio/materiale/risorsa*, con tutti i metodi internazionali e nazionali conosciuti, per valutarne la sostenibilità degli interventi, dal progetto alla realizzazione, a tutte le scale. Per esempio, in un processo di ecodesign e additive manufacturing, con riferimento alla produzione di componenti e sistemi per l'edilizia sostenibile, i cicli produttivi, nella fase del de-manufacturing e del re-manufacturing devono assorbire in maniera consapevole quanto consumato nella fase di manufacturing. Occorre quindi indirizzarsi verso quei settori che, applicando principi di sostenibilità e modelli di certificazione eco-labelling, garantiscono che il prodotto proveniente dalla filiera del riciclo, non sia ugualmente impattante per altri processi di lavorazione in produzione e che comunque consenta, di poter rendere riciclabile la materia prima secondaria, quale componente primario o inerte di altri sistemi ibridi, reimmessi in nuovi modelli d'uso (cfr progetto PVCUpcycling).



**Fig. 3** – Scenario3: greenparking ad alta resilienza- ibridazione ecodesign, con componeti in upcycling- riciclo pvc cavi elettrici e prototipi sistemi in pla stampa in additive manufacturing (PMopenlab per PVCupcycling).

### Bibliografia

- [1] **Secchi R., Scarto, in Marini S., Corbellini G., (a cura), Recycled Theory: Dizionario illustrato, Quodlibet, pagg: 596-98, 2016 / Pavia R., Rifiuto in Marini S., Corbellini G., (a cura), Recycled Theory: Dizionario illustrato, Quodlibet, pagg: 592-94, 2016**
- [2] **Bocchi R., Riciclo, in Marini S., Corbellini G., (a cura), Recycled Theory: Dizionario illustrato, Quodlibet, pagg: 571-76, 2016**
- [3] **Nava C., Progetto di ricerca POR Calabria 14-20, ASSE I, Azione 1.2.2 Promozione della ricerca e dell'innovazione, Regione Calabria, 2017/18/19 - UpCycling – Economia circolare e Rifiuti zero con l'upcycling degli scarti provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici, [www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com)**
- [4] **Cutaia L., Barberio G., Li Rosi O., Mancuso E., Verso una piattaforma di simbiosi industriale: l'attività in corso nell'ambito del progetto Eco-innovazione Sicilia, Ecomondo Rimini,2011**
- [5] **Ayres R. U., Industrial Metabolism, in Technology and Environment, pag. 23-49, Washington D.C., National Academy Press, 1989.**
- [6] **Nava C., Ipsostenibilità e Tecnologie Abilitanti. Teoria, Metodo e progetto., lez.IV., Aracne ed., Roma, 2019**
- [7] **UE, Technology readiness levels (TRL), HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2018-2020 General Annexes, Extract from Part 19 - Commission Decision C(2017)7124**

# Politiche regionali di sviluppo ed economia circolare.

## Il caso della Regione Abruzzo

*Raffaella Taddeo<sup>1</sup> r.taddeo@unich.it, Anna Morgante<sup>1</sup>, Giovanni Lollì<sup>2</sup>*

*Alberto Simboli<sup>1</sup>, Andrea Raggi<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Dipartimento di Economia - Università degli Studi "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara*

*<sup>2</sup>Regione Abruzzo*

### **Riassunto**

*La transizione verso un sistema economico circolare rappresenta uno dei punti cardine della politica dell'Unione Europea per sviluppare un'economia sostenibile e competitiva. La spinta europea al perseguimento di un'economia sostenibile si sta traducendo in una serie di iniziative di carattere normativo e non solo, sia a livello nazionale che locale. Nel presente articolo verrà presentata ed analizzata la "Carta di Pescara", un documento programmatico della Regione Abruzzo, co-progettato insieme al mondo imprenditoriale ed accademico, che recepisce gli indirizzi delle politiche europee sul tema della sostenibilità ambientale applicata all'industria e li traduce in un meccanismo collaborativo e agevolativo/premiante in cui l'adesione -volontaria- alla carta dovrebbe stimolare l'implementazione di iniziative individuali e collettive ispirate ai canoni della circolarità. Nell'articolo verranno descritti i principi ispiratori dello strumento di governance, la scelta degli stakeholders, il percorso di strutturazione, i criteri di selezione e di definizione delle graduatorie, i meccanismi premianti. Infine verranno esposti i risultati dei primari tavoli di confronto con le imprese, alcune statistiche sulle attuali aderenti e i benefici potenziali nonché le criticità di tale iniziativa.*

### **Summary**

*The transition to sustainable industrial systems is one of the cornerstones of the European Union policy to develop a competitive economy, that are progressively translating into a series of regulatory and other initiatives, both at national and local level. In this article, the "Carta di Pescara" initiative will be presented and analyzed. It is a programmatic document of the Abruzzo Region, co-designed together with the business and academic world, which incorporates the guidelines of European policies on environmental sustainability applied to industry. "Carta di Pescara" is characterized by a collaborative and facilitative/rewarding mechanism in which the voluntary adherence should stimulate the implementation of individual and collective initiatives inspired by the canons of circularity and sustainability. The article will describe the inspiring principles of the governance tool, the choice of stakeholders, the structuring process, the selection and definition criteria of the rankings, the rewarding mechanisms. Finally, the results of the first tables of confronts with companies will be exposed, some statistics on the current members and the potential benefits as well as the criticalities of this initiative.*

## 1. Introduzione

### 1.1 *La transizione verso un sistema economico “circolare”*

La necessità di tutelare l'ambiente iniziò ad affermarsi a livello internazionale a partire dagli anni '70. In questo periodo il forte sviluppo industriale incideva pesantemente sull'ambiente naturale in quanto vigeva la convinzione che l'ambiente fosse in grado di metabolizzare tutti gli scarti e i rifiuti derivanti dalle attività umane. A livello europeo, nel marzo 1972, la Commissione emanò la seconda Comunicazione sul Programma della Comunità Europea per l'ambiente che contiene il primo riferimento alla linearità dell'economia e alla possibilità di sfruttare i rifiuti come fonte di materie prime [1]. Con la conferenza dell'ONU di Rio de Janeiro del 1992 [2] sull'ambiente e lo sviluppo e la conseguente approvazione di Agenda 21 diviene palese il ruolo chiave riservato ai *governi locali* nel perseguimento degli obiettivi dello Sviluppo Sostenibile, che verrà ulteriormente rafforzato nel 1997 durante la III Conferenza delle Regioni europee, riunita a Göteborg [3].

### 1.2 *La “Carta di Pescara” come strumento per lo sviluppo sostenibile della Regione Abruzzo*

La Carta di Pescara per l'industria sostenibile (CdP) [4] trae origine da tali orientamenti, ribadendo alcuni principi di carattere generale sanciti dall'Unione Europea (UE): di precauzione, di correzione alla fonte, di prossimità, di prevenzione, di sostenibilità, di responsabilizzazione, di cooperazione, che hanno trovato un compiuto riconoscimento anche nella legislazione nazionale con l'adozione del collegato ambientale alla Legge 28 dicembre 2015 n. 221 “Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali” [5]. Un ulteriore riferimento della CdP è la cosiddetta “Strategia Europea 2020”, una strategia decennale per il rafforzamento dell'economia dell'Unione secondo le priorità tematiche della crescita intelligente, sostenibile e inclusiva [6]. Essa prevede che, a livello locale, ogni territorio definisca una propria Smart Specialisation Strategy (S3) che consenta la concentrazione degli interventi di policy in quegli ambiti applicativi che possano avere un rilievo per le regioni, in termini di vantaggio competitivo [7]. Tale strategia impegna imprese, centri di ricerca ed università a cooperare per identificare i settori di specializzazione più promettenti delle singole regioni, ma anche i punti deboli che ostacolano l'innovazione. La S3 individua, quindi, le strategie regionali di ricerca ed innovazione che consentono un utilizzo più efficiente dei fondi strutturali ed un incremento delle sinergie tra le politiche comunitarie, nazionali e regionali. La Regione Abruzzo, attraverso il processo di *scoperta imprenditoriale* implementato nel corso del 2015 per dare atto alla Strategia di Specializzazione, ha identificato i propri domini tecnologici di specializzazione, rispetto ai quali ha deciso di promuovere e sostenere la nascita e lo sviluppo di un “Sistema regionale dell'innovazione e del trasferimento tecnologico”, che include attività di ricerca, di impresa e formazione di conoscenze e competenze in tema di industria sostenibile.

### 1.3 *I modelli di sviluppo basati sui sistemi locali d'innovazione e il territorio regionale*

L'approccio seguito trova ispirazione nei sistemi locali di innovazione, diffusisi progressivamente in UE negli ultimi 20 anni, e che hanno svolto spesso un ruolo importante nello sviluppo delle Regioni. Tra essi, i *modelli di innovazione territoriale* e i *sistemi regionali di innovazione* [8-9]. Tali sistemi sono un insieme di elementi collegati tra loro al fine di creare, condividere e diffondere conoscenze e cambiamenti tecnologici in un'area specifica, proteggendone la crescita. Possono avere diverse scale spaziali (regionali, locali) o diverse sfere di interesse (dinamiche settoriali o tecnologiche o organizzative) e possono includere individui di diversi contesti (enti pubblici o privati, aziende, centri di ricerca) o diversi livelli di formalizzazione (spontanei o pianificati). La Regione Abruzzo vanta già un'esperienza in tal senso,

avendo proceduto, in applicazione della S3, alla costituzione di 14 Poli d’Innovazione, intesi come “raggruppamenti di imprese indipendenti - start-up innovative, piccole, medie e grandi imprese nonché organizzazioni di ricerca - che operano in un determinato settore e regione e sono progettate per stimolare attività innovative promuovendo la promozione interazioni intense, condivisione di strutture e scambio di conoscenze e competenze e contribuendo efficacemente al trasferimento di tecnologia, alla creazione di reti e alla diffusione di informazioni tra le imprese del cluster” [10], che hanno avuto un ruolo importante nello sviluppo della CdP.

Il territorio protagonista dell’implementazione del modello di sviluppo in questione (Fig.1), copre un’area di circa 10.700 km<sup>2</sup> e ha una popolazione, al 2017, di circa 1.317.000 abitanti (densità: 121,61/km<sup>2</sup>). L’Abruzzo è al primo posto in Italia per la sua percentuale di area protetta, che rappresenta il 36% del territorio regionale. Conta 3 parchi nazionali, un parco regionale e 38 aree protette tra cui oasi del WWF, riserve nazionali e regionali.



**Fig. 1** – La Regione Abruzzo

La Regione Abruzzo è anche una delle regioni più industrializzate d’Italia. Nel 1996 è stata la prima regione del sud a uscire dall’obiettivo 1. In effetti, dal 1950 il PIL regionale è cresciuto a un ritmo costante, rendendo l’Abruzzo una delle regioni in più rapida crescita nel Paese. Nel 2015 l’Abruzzo ha raggiunto il secondo miglior tasso di crescita del PIL in Italia (+ 2,6%), con un PIL pro capite di € 25.200, il più alto nel sud Italia, ma inferiore alle medie italiane ed europee, che sono state rispettivamente di € 27,800 e di € 29,900. La Regione ha uno dei più alti tassi di produttività nell’Italia meridionale e la sua struttura economica è ampiamente basata sulle PMI. Nello stesso anno, l’Abruzzo si è dimostrata essere anche la Regione più industrializzata in Italia (29,3% del valore aggiunto dell’industria). L’Abruzzo, infatti, gode di tassi di industrializzazione superiori alla media nazionale (66 imprese per 10.000 residenti, contro una media nazionale di 64) [11]. Per le ragioni su esposte, il territorio presenta caratteristiche eccellenti per l’accoglimento delle politiche di sviluppo promosse dalla CdP.

#### *1.4 Obiettivi dello studio e metodi di analisi*

Nell’articolo verranno descritti i principi ispiratori della CdP, quali la scelta degli stakeholders, il percorso di strutturazione, i criteri di selezione e di definizione delle graduatorie, i meccanismi premianti. Verranno esposti i primi risultati ottenuti, alcuni dati sulle attuali aderenti e i benefici potenziali nonché le criticità di tale iniziativa. Il lavoro utilizza una base di letteratura scientifica e secondaria e dati qualitativi e quantitativi derivanti da partecipazione diretta al progetto e da interviste condotte con i referenti regionali dell’iniziativa, nonché report relativi ai risultati sinora ottenuti.

## 2. Relazione

### 2.1 Caratteristiche del documento

La CdP è il frutto di un percorso di confronto partecipato di co-progettazione sviluppato insieme al mondo imprenditoriale e accademico; essa offre alle imprese che la sottoscrivono un “percorso di partenariato impresa-Regione” che riconosce specifiche convenienze per le realtà imprenditoriali che si impegnano a perseguire gli obiettivi dell’industria sostenibile. A fronte di questo impegno, la Regione Abruzzo identifica dei vantaggi in termini di:

- *procedure semplificate* (livello di burocrazia e costi amministrativi sono ridotti al minimo);
- *riduzione della tassazione amministrativa locale* (le tasse regionali sulle attività produttive sono ridotte al minimo);
- *legislazione di supporto* (sono previste iniziative legislative ad-hoc);
- *priorità* (accesso facilitato ai fondi EU facenti parte della strategia di sviluppo regionale).

Nell’ambito della S3 della Regione Abruzzo, la CdP costituisce il “collante” degli interventi di politica industriale ed è finalizzata a far evolvere le attività manifatturiere presenti sul territorio (o che verranno attratte nel prossimo futuro) facendo leva sulla capacità di integrare/sviluppare nuove conoscenze/nuove tecnologie e, allo stesso tempo, di massimizzare la sinergia tra le dimensioni economica, sociale ed ambientale. La Carta è stata definita priorità trasversale del POR FESR Abruzzo 2014-2020 e del POR FSE Abruzzo 2014- 2020.

### 2.2 Percorso di sviluppo

La scelta della sostenibilità come obiettivo fondante è **emersa** durante i *processi di scoperta imprenditoriale* (Entrepreneurial Discovery Process - EDP), quando le parti interessate (coinvolte in una fase molto precoce) hanno spiegato come la sostenibilità non fosse solo qualcosa legato alle regole da rispettare, ma in realtà una “scelta di mercato” fatta per essere più competitive (o rimanere) nel benchmarking internazionale dei prodotti di qualità. Dal mese di gennaio 2016 sono state selezionate circa 500 PMI e circa 10 grandi imprese, utilizzando alcuni criteri condivisi come: la partecipazione ad Horizon 2020 o al VII programma quadro o al programma 2007-13 del Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR); PMI con brevetti registrati negli ultimi 2 anni; PMI che investono nella ricerca più della media regionale e così via. Per migliorare il processo, le parti interessate selezionate sono state sistematicamente intervistate al fine di conoscere direttamente, le principali prospettive di investimento a medio termine. A questo punto è stata presa la decisione di concentrarsi sulla sostenibilità e sull’economia circolare, in quanto sono emersi come aspetti salienti e di interesse da parte di tutti gli interlocutori intervistati. Gli step che hanno segnato il percorso di implementazione della CdP sono stati seguenti:

- a) approvazione da parte della Giunta Regionale della delibera di adozione della CdP [4];
- b) individuazione di due tavoli di lavoro permanenti per il confronto tra la Regione ed il sistema della ricerca e delle imprese (denominati rispettivamente “Energia e gestione degli impatti ambientali” e “Ricerca, trasferimento tecnologico, innovazione e Capitale umano”);
- c) costituzione, presso il Dipartimento dello Sviluppo Economico e Lavoro della Regione, di un tavolo di lavoro con il sistema della formazione tecnica ed universitaria;
- d) sviluppo all’interno dei tavoli permanenti di indicatori di monitoraggio della sostenibilità ambientale, economica e sociale;
- e) progettazione di un “Premio annuale dell’industria sostenibile” e di una “Fiera biennale dell’industria sostenibile” con finalità di promozione/comunicazione;
- g) censimento delle strutture e dei laboratori di ricerca (pubblici e privati) e conseguente mappatura dei risultati della ricerca su cui basare il processo di trasferimento tecnologico a supporto della nascita e dello sviluppo di imprese sostenibili;



- h) censimento dei progetti di innovazione (di prodotto, processo, organizzativa, gestionale e di marketing) che le aziende (o aggregazioni di imprese, quali reti e Poli di innovazione) intendono implementare o hanno già in corso;
- i) presentazione di una legge regionale a supporto dell'industria sostenibile;
- j) calibrazione degli strumenti normativi impattanti sulle attività manifatturiere rispetto ai principi della CdP.

### 2.3 Modalità di adesione

La richiesta di adesione alla Carta presuppone il possesso di alcuni requisiti di ammissibilità. Il tipo di adesione comporta diverse intensità di vantaggio. Per aderire è necessario possedere almeno 1 requisito di livello base per ogni ambito di sostenibilità (ambientale, economica, sociale). Sono requisiti di ammissibilità della CdP: l'aver sede operativa in Abruzzo e l'iscrizione come "attiva" nel registro delle imprese delle Camere di Commercio; il non aver presentato richieste e prenotazioni di concordato; avere il Documento Unico di Regolarità Contributiva (DURC) in regola. È possibile aderire anche presentando un progetto di insediamento industriale in Abruzzo o se si è in fase di start-up. La CdP prevede tre livelli di adesione: *base* (possedere almeno 1 requisito base per ogni categoria di sostenibilità, ambientale, economica e sociale); *intermedio* (possedere 2 requisiti intermedi di sostenibilità ambientale + almeno 1 requisito intermedio di sostenibilità sociale ed 1 di economica); *avanzato* (possedere almeno 3 requisiti avanzati di sostenibilità ambientale + almeno 1 requisito avanzato di sociale ed economica + almeno 1 requisito intermedio di sostenibilità sociale ed economica). L'iscrizione avviene tramite accesso alla piattaforma telematica della Regione Abruzzo. La domanda viene esaminata da un Nucleo di valutazione della Regione Abruzzo. Entro 30 giorni dalla presentazione della domanda, il Nucleo ne conclude l'esame. L'adesione alla Carta è valida per due anni dalla data di accoglimento della domanda. Nel caso di impresa sostenibile in fase di start up è possibile aderire alla Carta solo con l'impegno ad avere uno dei requisiti di tipo ambientale necessari entro i primi 12 mesi.

### 2.4 Attori del territorio coinvolti

La Carta è il frutto della partecipazione attiva di tutti gli attori coinvolti dalla Regione Abruzzo. A partire dal 5 marzo 2016 sono stati organizzati 3 "Forum per la sostenibilità" in cui sono state coinvolte le imprese selezionate secondo le modalità descritte nella sezione 2.2. Le giornate sono state organizzate in due momenti, uno assembleare/divulgativo, con interventi da parte dei vertici politici regionali e di governo, di esperti, studiosi e tecnici coinvolti nello sviluppo della CdP; l'altro momento, di carattere operativo, che ha previsto la creazione di tavoli di lavoro tematici, coordinati da rappresentanti della Regione e del mondo accademico. Il processo di sviluppo ha visto complessivamente coinvolti le tre Università e i Centri di Ricerca regionali, i Sindacati, i Poli di Innovazione, in rappresentanza dei 5 settori verticali della S3 (Automotive, Scienze della Vita, Agri-Food, Design Moda e Spazio ICT). A livello regionale sono stati coinvolti gli uffici afferenti al Dipartimento delle Attività Produttive, le strutture in-house della regione, come ARTA, ARAP, FIRA e gli uffici regionali corrispondenti a queste attività come ad esempio l'Ufficio Energia e Ambiente. È stata quindi definita una cabina di regia, presieduta dalla Direttrice della Regione.

### 2.5 Modalità di monitoraggio e modifica

Lo stato di avanzamento dei contenuti della Carta di Pescara ed il monitoraggio dell'effettiva implementazione degli impegni assunti dalla Regione Abruzzo verrà effettuato da un Comitato di pilotaggio composto da membri:

- Direttore Generale Regione Abruzzo;



- Direttore del Dipartimento Sviluppo Economico, Politiche del Lavoro, dell'Istruzione, della Ricerca e dell'Università;
- Direttori dei Dipartimenti interessati;
- Un rappresentante del sistema universitario regionale;
- Un rappresentante delle imprese per ognuno dei cinque domini tecnologici della S3 regionale;
- Un rappresentante delle organizzazioni sindacali.

Tra gli indicatori individuati per la verifica periodica dell'impatto della CdP, sono stati individuati: la produzione di energia da fonti rinnovabili per 100.000 abitanti (base regionale); il consumo di energia da fonti rinnovabili (Direttiva 2009/28/CE); potenza installata in impianti di cogenerazione (energia elettrica e termica); investimenti per la protezione dell'ambiente da parte delle imprese; investimenti ambientali per addetto, nelle imprese; totale degli investimenti fissi lordi realizzati dalle imprese per la protezione dell'ambiente.

### 3. Conclusioni

La CdP, strumento di policy e governo locale nella direzione dello Sviluppo Sostenibile, rappresenta un tentativo concreto di guidare il cambiamento verso un modello regionale di economia circolare, con un approccio aperto (ogni impresa che opera nella Regione può provare a diventare un partner), immediato (la relativa piattaforma web è gestita direttamente dagli uffici regionali), e a basso costo (non sono necessarie risorse aggiuntive), per supportare e promuovere le imprese innovative e sostenibili, utilizzando i fondi messi a disposizione dall'UE. Al momento circa 130 imprese sono ufficialmente registrate sulla piattaforma web della Carta di Pescara (con diversi livelli di affiliazione: 12% avanzato; 25% intermedio; 63% base) e coinvolte attivamente nei processi di economia circolare; questo può essere considerato un risultato diretto dell'iniziativa. Accanto ad esso è opportuno sottolineare alcuni risultati indiretti, come ad esempio i) l'aver stimolato le imprese a collaborare tra loro e con le Università (da questa collaborazione nel 2018 è nata una fondazione), ii) la possibilità di orientare il FESR verso programmi di ricerca che hanno dato vita a progetti innovativi, rendendo ammissibili progetti di ricerca anche fuori dalla Regione con ricadute sul territorio regionale. Tra le criticità si registra una ancora limitata partecipazione delle imprese di piccole dimensioni ed un limitato coinvolgimento del sistema della formazione regionale, per la creazione di figure professionali adeguate al nuovo contesto. Altri affinamenti riguardano l'integrazione di incentivi che facilitino l'adozione della CdP da parte di imprese eccellenti del territorio, al fine di produrre un effetto emulativo nel tessuto produttivo abruzzese, nella direzione dell'industria sostenibile.

### Bibliografia

- [1] Seconda Comunicazione sulla politica della Comunità in materia di ambiente, in G.U. delle Comunità europee del 26 maggio 1972, n. C 052.
- [2] Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo, Rio de Janeiro 3-14 giugno 1992.
- [3] Terza Conferenza Ambientale dei Ministri e dei leader politici regionali dell'Unione Europea, Göteborg (Svezia) 18-20 giugno 1997.
- [4] Regione Abruzzo (2016) DGR. n. 502 del 21 Luglio 2016. "CARTA DI PESCARA - percorso di partenariato Regione/imprese per l'industria sostenibile. Approvazione del documento. Istituzione di un Comitato di Pilotaggio, definizione delle modalità di adesione ed ulteriori determinazioni attuative".
- [5] Legge 28 dicembre 2015, n. 221 Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali, in G.U. del 18 gennaio 2016, n. 13.
- [6] Comunicazione della Commissione. Europa 2020: Una strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva. COM (2010) 2020, Bruxelles, 3 marzo 2010.

- [7] Comunicazione della Commissione. Il contributo della politica regionale alla crescita intelligente nell'ambito di Europa 2020. COM (2010) 553, Bruxelles, 6 ottobre 2010.
- [8] Crevoisier O., Jeannerat H. Territorial Knowledge Dynamics: from the proximity paradigm to multi-location milieus. *European Planning Studies* 2009, 17, 1223-1241.
- [9] Moulaert F., Sekia F. Territorial innovation models. *Regional Studies* 2003, 37, 289-302.
- [10] Taddeo R., Simboli A., Ioppolo G., Morgante A. Industrial Symbiosis, networking and innovation: the potential role of Innovation Poles. *Sustainability* 2017, 9, 1-17.
- [11] Commissione Europea, Regional Innovation Monitor Plus (2018). <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/base-profile/abruzzo>.

# WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## RIUTILIZZO DELL'ACQUA IN AGRICOLTURA, IRRIGAZIONE SOSTENIBILE E SISTEMI NATURALI PER LA GESTIONE DEL CICLO IDRICO INTEGRATO NEL NUOVO QUADRO EUROPEO

Il cambiamento climatico e il suo impatto sulla disponibilità di acqua hanno un'influenza decisiva sul settore agricolo, che rappresenta attualmente il settore economico in cui il consumo di acqua è più elevato (circa l'80% delle risorse idriche nella regione mediterranea). Inoltre, la necessità di garantire la sicurezza alimentare richiede l'adozione urgente di tecniche di gestione delle risorse idriche sostenibili in agricoltura. Da questo punto di vista, il ruolo dell'innovazione è fondamentale, in particolare per l'irrigazione di precisione e metodi sostenibili per il trattamento e il riutilizzo sicuro delle acque reflue trattate in agricoltura, anche alla luce della nuova proposta di una regolamentazione europea per il riutilizzo di acque reflue per scopi di irrigazione. In questo contesto, i metodi "naturali" per la gestione delle risorse idriche a basso costo e a basso consumo energetico possono rappresentare sempre più uno strumento strategico per aumentare la sostenibilità e la circolarità dell'uso dell'acqua in agricoltura.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Università di Bologna, Università Politecnica delle Marche, Confagricoltura, ANBI, Horizon2020 SWAMP Consortium, Horizon2020 HYDROUSA Consortium, PRIMA FIT4REUSE Consortium**

**Presidenti di sessione:**

- Attilio Toscano, *Università di Bologna*
- Francesco Fatone, *Università Politecnica delle Marche*



# Development of an efficient and sustainable methodology for EMerging POLLutants REmoval in WWTPs (EMPORE)

*Francisco Bosch [fbosch@aidimme.es](mailto:fbosch@aidimme.es), Silvia Oyonarte Instituto Tecnológico Metalmeccánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMME, Valencia, Spain), Raquel González Laboratorios Tecnológicos de Levante, S.L. (LTL, Paterna, Spain), Hector García Institute for Water Education (UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands), María Ángeles Bernal Romero, Daniel Prats University of Alicante (UA, Alicante, Spain), Miguel Company Consomar, S.A. (CONSOMAR, Valencia, Spain)*

## Summary

*A pilot plant has been integrated into the Benidorm WWTP (Spain) to remove emerging pollutants in the wastewater and increase its quality. It consists of three levels of treatment: conventional filtration, filtration by reverse osmosis followed by activated carbon and advanced oxidation processes (AOPs) and finally Electrochemical Advanced oxidation processes (EAOPs). Two indicators were developed to monitor the quality of the water after each technology applied: Canadian Water Quality Index (CWQI), and water quality index emerging contaminants (WQIEC). The results evidence that the second level of the plant produce a high-quality effluent, almost free of emerging pollutants, allowing reuse safely around 70 % of water regarding the feed entrance of WWTP. The remaining 30 % treated in the third level has a variable quality similar to current discharge in the WWTP.*

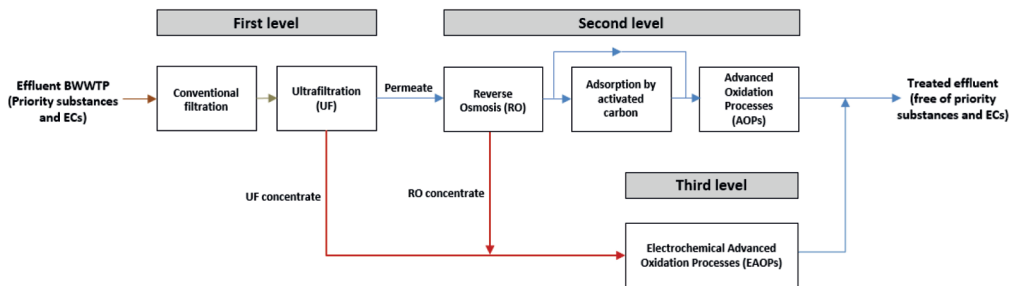
## Riassunto

*Un impianto pilota è stato integrato nella EDAR di Benidorm (Spagna) per eliminare gli inquinanti emergenti dalle acque reflue ed aumentare la loro qualità. Consiste in tre livelli di trattamento: filtrazione convenzionale, filtrazione ad osmosi inversa seguita da carbone attivo e processi di ossidazione avanzata (AOP) e infine processi di ossidazione avanzata elettrochimica (EAOP). Sono stati sviluppati due indicatori per monitorare la qualità dell'acqua dopo ogni tecnologia applicata: l'Indice Canadese di Qualità dell'Acqua (CWQI) e l'Indice di Qualità dell'Acqua Inquinanti Emergenti (WQIEC). I risultati evidenziano che il secondo livello dell'impianto produce un effluente di alta qualità, praticamente libero di inquinanti emergenti. Ciò permette di riutilizzare in modo sicuro circa il 70% dell'acqua rispetto all'entrata di alimentazione della EDAR. Il restante 30%, trattato al terzo livello, ha una qualità variabile equivalente alla scarica attuale nella EDAR.*

## 1. Introduction

The pilot plant designed and built has been integrated into the Benidorm WWTP (Spain), after the secondary treatment, where the demonstration was carried out. The prototype has

a treatment capacity of  $\sim 5\text{-}5.5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  and it consists of three levels of treatment according to the following chart:



**Fig. 1** – General scheme of treatment

The first and second levels are focus on the treatment of main water flow. The rejections/concentrated flows generated in these levels are treated in the third one. The conversion of the RO unit is 70% without recirculation, thus,  $3.5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  of permeate are driven to AOPs and  $1.5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  of concentrates to EAOPs.

Two indicators were developed to monitor the environmental impact of the technologies proposed. The dimensionless Canadian Water Quality Index (CWQI) was selected to monitor the water quality during the characterization and the demonstration campaigns, regarding the presence and concentration of ECs. The CWQI is a recognized index, cited for example in the World Health Organisation’s Drinking Water Quality Guidelines (WHO, 2004) [1] A modification of the CWQI that penalizes according to the nature of the ECs has been proposed and named WQIEC. Table 1 shows the classification of water quality according to the value of the indicators.

Classification	CWQI/WQIEC
Excellent	95-100
Good	90-94
Fair	65-79
Marginal	45-64
Poor	0-44

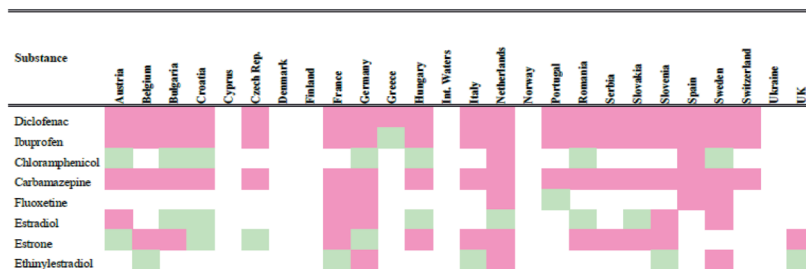
**Tab.1** – Quality ranking of CWQI/WQIEC

## 2. Paper

### 2.1. Pollutants selection

An extensive literature evaluation was conducted analysing the occurrence of ECs all over Europe, their sources, their path into the environment, the different classes of ECs, their occurrence in WWTPs and in natural water bodies, and their effects on ecosystems. The information related to the occurrence of ECs in Europe was summarized in the form of a matrix organized by the occurrence of 532 ECs per country (26 countries were analysed). In **Table.2**, it is showed a summary of the European mapping considering the 8 pharmaceutical substances initially proposed in EMPoRE project. The presence of ECs in the influent to a WWTP

can vary appreciably from one plant to another. Several factors must be considered: origin (urban, industrial or agricultural), climate, seasonal variability, population habits, regulation and use of social drugs, among others.

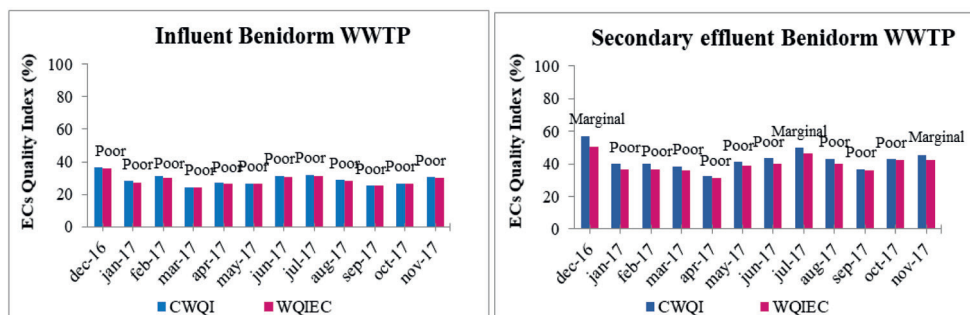


**Tab. 2 European mapping of ECs.** Red: ECs evaluated and detected at environmentally relevant concentrations. Green: ECs evaluated and non-detected at environmentally relevant concentrations. White: no available data. [2]

According to the occurrence of ECs in Europe and an annual analytical campaign of the influent and effluent of Benidorm WWTP, carried out from November 2016 to December 2017, finally 20 compounds were monitored and included in the indexes: priority substances (DEHP, chlorpyrifos, 4-t-OP, trifluralin, diuron and isoproturon), 1<sup>st</sup> watch list according to the Environmental Quality Standards Directive 2013/39/EC [3] (diclofenac, 17-alpha-ethinylestradiol, 17-beta-estradiol and erythromycin) and other ECs (estrone, chloramphenicol, carbamazepine, ibuprofen, fluoxetine, sulfamethoxazole, ketoprofen, estriol, glyphosate and AMPA).

### 2.2. CWQI and WQIEC from the influent and effluent of Benidorm WWTP

Both indexes, CWQI and WQIEC, were monthly calculated for samples from the influent and effluent of Benidorm WWTP, **Figure 2**.



**Fig. 2 – Evolution of the quality of the influent and effluent of BWWTP.**

In accordance with the selected water quality indexes, both the inlet to the WWTP and the outlet through the effluent secondary present in the majority of the cases a poor quality

### 2.3. CWQI and WQIEC of Benidorm WWTP after proposed treatment

The indexes were monthly calculated for samples from the different levels of the EMPORE plant from; results are summarized in **Table 3 and 4**.



Period	Secondary eff.		First level		Second level						Third level			
			UF		RO		AOPs		Carbon		Concentrates		EAOPs	
	CWQI	Quality	CWQI	Quality	CWQI	Quality	CWQI	Quality	CWQI	Quality	CWQI	Quality	CWQI	Quality
Jul18	42,8	Poor	40,4	Poor	92,5	Good	93,6	Good	94,4	Good	36,8	Poor	46,4	Marginal
Aug18	45,3	Marginal	43,4	Poor	83,9	Good	94,5	Good	91,1	Good	37,5	Poor	65,7	Fair
Sep18	45,3	Marginal	46,8	Marginal	90,0	Good	94,4	Good	92,5	Good	38,9	Poor	50,2	Marginal
Oct18	46,3	Marginal	47,1	Marginal	92,5	Good	100	Good	94,1	Good	36,6	Poor	44,1	Poor
No18	48,4	Marginal	49,2	Marginal	92,5	Good	100	Excel- lent	100	Excel- lent	38,6	Poor	46,2	Marginal
Dec18	52,1	Marginal	50,7	Marginal	96,4	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	41,7	Poor	45,0	Marginal
Jan19	46,4	Marginal	48,6	Marginal	96,6	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	41,5	Poor	56,8	Marginal
Feb19	46,0	Marginal	48,5	Marginal	96,6	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	37,9	Poor	55,1	Marginal

**Tab. 3** – Quality of water at the different levels of the EMPORE plant measured by CWQI

Period	Secondary eff.		First level		Second level						Third level			
			UF		RO		AOPs		Carbon		Concentrates		EAOPs	
	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality	WQIEC	Quality
Jul18	41,6	Poor	39,0	Poor	92,5	Good	93,6	Good	94,4	Good	36,3	Poor	43,5	Poor
Aug18	44,1	Poor	42,5	Poor	83,9	Good	94,5	Good	91,1	Good	37,1	Poor	65,7	Fair
Sep18	43,7	Marginal	45,5	Marginal	90,0	Good	94,4	Good	92,5	Good	38,2	Poor	46,0	Marginal
Oct18	43,8	Marginal	45,0	Poor	92,5	Good	100	Good	94,1	Good	35,5	Poor	41,6	Poor
No18	45,0	Marginal	46,4	Marginal	92,5	Good	100	Excel- lent	100	Excel- lent	37,7	Poor	44,3	Poor
Dec18	48,6	Marginal	47,4	Marginal	96,4	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	39,8	Poor	43,4	Poor
Jan19	43,1	Marginal	45,2	Marginal	96,6	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	39,7	Poor	54,8	Marginal
Feb19	43,5	Marginal	46,0	Marginal	96,6	Excel- lent	100	Excel- lent	100	Excel- lent	37,2	Poor	52,2	Marginal

**Tab. 4** – Quality of water at the different levels of the EMPORE plant measured by WQIEC

Taking as the starting point the low quality of the secondary effluent of the wastewater treatment plant, the technology of the first level barely contributed to the improvement of the water quality both CWQI and WQIEC. On the contrary, the processes of the second treatment level did. Reverse Osmosis produced good quality permeates (CWQI/WQIEC >80). The posterior filtration by activated carbon and/or AOPs treatment increased the quality of the RO permeates with CWQI/WQIEC >90, being mostly excellent quality of water.

Regarding the third level, receiving the rejections of the UF and RO, the quality of the input is logically poor. After treatment with EAOPs, quality is slightly improved to Marginal or fair values.

#### 2.4. Pollutants removal by treatment level

Below are showed a summary of the removal rates by treatment level of emerging pollutants with the highest occurrence in Benidorm

Level Pollutant	1st level	2nd level		3th level
	UF	RO	AC/AOPs	EAOPs
Diuron	15,3	100,0	100,0	16
Diclofenac	10,3	99,7	100,0	48,8
Erythromycin	33,5	100,0	100,0	51,8
Estrone	25,0	100,0	100,0	100,0
Carbamazepine	10,8	99,6	100,0	36,8
Ibuprofen	28,8	100,0	100,0	34,4
Fluoxetine	47,6	100,0	100,0	28,7
Sulfamethoxazol	8,9	100,0	100,0	42,8
Ketoprofen	0,0	100,0	100,0	16,6
AMPA	100,0	100,0	----	89,5
Glyphosate	0,9	97,6	100,0	76,9

Tab. 5 – Summary of removal percentage of pollutants in Benidorm WWTP

Emerging pollutants are barely rejected by the UF at the first level. However, the second level eliminates practically 100% of these pollutants, obtaining a flow free of them and simultaneously of high quality according CWQI and WQIEC Indexes. Concentrates are treated in EAOPs with wide range of yields, from 16-100%.

### 3. Conclusions

- The proposed methodology including a sequential treatment in three levels enables to guaranty high water quality of 70 % of the effluent discharged in a wastewater treatment plant (WWTP). The remaining 30 % has at little better quality than the secondary effluent.
- The emerging contaminants are totally removed in the second level of treatment. The third level allows reduce partially the contaminants by electrochemical oxidation.
- The methodology proposed guarantee high quality of waste water to be reused as a resource in agricultural sector for irrigation purposes or other demanding purpose

### Acknowledgements

This project was produced under the co-finance of the European financial instrument for the Environment (LIFE) programme during the implementation of the project “LIFE EMPORE” (LIFE15 ENV/ES/000598).

## **Bibliography**

- [1] WHO, 2004. Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition Volume 1: Recommendations. World Health Organisation, Geneva.
- [2] Norman. Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances. <http://www.normandata.eu/>
- [3] Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council, of 12 August 2013, amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.

# Simulazione modellistica di un processo terziario per riuso a scopo irriguo di acque reflue civili

*Mario De Mola [mario.demola@aceaspa.it](mailto:mario.demola@aceaspa.it), Barbara Biagi, Paolo Cirello, Giancarlo Cecchini, Massimo Spizzirri, Emiliano Bernardini  
Acea Elabiori S.p.A., Roma*

## **Riassunto**

*Applicazione di uno strumento di modellizzazione per valutare le attuali prestazioni di un impianto di trattamento delle acque reflue di dimensioni medio-grandi, per determinare l'efficacia di interventi gestionali di efficientamento e per la progettazione di una nuova sezione di trattamento terziario destinata al recupero delle acque trattate per consentirne il riuso per scopi irrigui. Lo strumento selezionato per la simulazione è il software WEST di DHI.*

*Il caso di studio presenta i risultati della valutazione delle prestazioni dell'impianto, con particolare attenzione alla rimozione dei nutrienti e alla valutazione della progettazione del trattamento terziario.*

## **Summary**

*Abstract: Application of a Waste Water Treatment Plant modelling tool, to verify the predictability and to improve the plant process of an existing WWTP of medium-high dimension and to evaluate the effects of the introduction of a Tertiary Process Plant with the aim of making the treated water compliant with the existing regulatory limits for reuse for agricultural scopes.*

*The tool selected for the simulation is the software WEST by DHI.*

*The case study presents the results of plant performance evaluation, with particularly attention on nutrients removal, and evaluation of tertiary treatment design.*

## **1. Introduzione**

Il progetto è stato condotto da Acea per valutare gli effetti dell'introduzione di una sezione di processo terziario in un impianto di trattamento delle acque reflue esistente, allo scopo di rendere l'acqua trattata conforme ai limiti normativi esistenti per il riutilizzo per scopi agricoli.

La valutazione è stata condotta con il supporto dello strumento di modellazione WEST, di DHI, sia per la valutazione delle prestazioni tecniche dell'impianto che per valutazioni dell'efficienza energetica.

Il progetto rientra nell'ambito della strategia di economia circolare e sviluppo sostenibile di Acea, che investe da anni seguendo 3 obiettivi centrali: ridurre i rifiuti della collettività, aumentare il riutilizzo degli scarti di processo, ottenere recupero ed efficientamento energetico. La scarsità d'acqua è una delle maggiori sfide del XXI secolo: è stato stimato che circa il 70% dei prelievi idrici globali venga utilizzato per agricoltura, allevamento di bestiame, pesca, acquacoltura e silvicoltura, rendendo di fatto questo settore sia una causa che una vittima della scarsità d'acqua. Parallelamente si riscontra anche l'influenza dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche, in termini sia quantitativi che qualitativi. In questo contesto è essenziale trova-

re alternative tali da ridurre il consumo di acqua per scopi agricoli e, parallelamente, aumentare la produzione di acqua. Entrambi questi obiettivi possono essere raggiunti utilizzando per scopi agricoli l'acqua trattata da un impianto di trattamento delle acque reflue, al fine di restituire una risorsa preziosa all'agricoltura, nei periodi di maggiore richiesta.

La normativa italiana stabilisce diversi valori limite delle concentrazioni residue dei principali composti in base al destino delle acque trattate: le acque destinate allo scarico in corpo idrico superficiale (come quelle trattate nel presente progetto) devono rispettare i limiti indicati nella Parte Terza del D.Lgs. 152/06, mentre le acque destinate al riuso in agricoltura devono rispettare i limiti indicati nel D.M. 185/03. Nello specifico, il passaggio dallo scarico al riutilizzo impone il rispetto di valori limite più restrittivi, con concentrazioni di BOD5 e COD che devono essere ridotte dell'80% rispetto a quanto previsto per lo scarico in acque superficiali, Solidi Sospesi Totali e Azoto Ammoniacale che devono essere ridotti rispettivamente del 71% e dell'80% ed Azoto Totale che deve essere inferiore al 50% della somma di Azoto Nitrico ed Azoto Ammoniacale scaricabili nelle acque superficiali.

## **2. Relazione**

### *2.1. L'impianto di trattamento*

Per l'applicazione del presente progetto è stato selezionato un impianto avente le seguenti caratteristiche:

- potenzialità medio-alta (90.000 A.E.);
- ubicazione in prossimità di un esistente acquedotto irriguo inutilizzato, con recapito finale delle acque nella città di Roma;
- qualità delle acque attualmente trattate conforme ai limiti imposti dall'attuale Autorizzazione allo Scarico in corpo idrico superficiale (Tab. 1 & 3, D.Lgs n. 152/06), ma non conforme ai limiti imposti dal D.M. 185/03 che disciplina il riuso per scopo irriguo per concentrazione di Solidi Sospesi, composti azotati e carica batterica.

Al fine di rendere l'effluente conforme al riutilizzo delle acque, Acea ha predisposto due tipologie di interventi sull'impianto: interventi operativi-gestionali, aventi lo scopo di incrementare la rimozione dei Composti Azotati, intervenendo sulle regolazioni gestionali di impianto (es. il tenore di Ossigeno Disciolto nelle Vasche Aerate, lo spurgo dei fanghi di supero, il ricircolo della Miscela Aerata, ecc.); ed installazione di una nuova sezione di trattamento terziario, avente lo scopo di incrementare la rimozione di SST e Carica Batterica, composta da:

- n. 3 filtri a sabbia, due in funzionamento ordinario ed uno di riserva calda;
- Disinfezione Finale con Radiazione UV;
- Disinfezione di emergenza con Acido Peracetico;
- n. 1 vasca di Laminazione per raccogliere le acque di controlavaggio dei filtri a sabbia.

### *2.2. Modellazione delle sezioni di trattamento*

La verifica della funzionalità dell'impianto è stata eseguita mediante il software WEST, sviluppato da DHI. Il software consente di simulare tutte le principali fasi del trattamento, con i principali processi biologici e ogni tipo di configurazione impiantistica: con un modello numerico è infatti possibile simulare qualunque tipo di processo e definire il trattamento ottimale da un punto di vista dell'efficienza e dei costi operativi. In un ambito di utilizzo avanzato, WEST possiede un database di modelli ed una struttura aperta che permette di implementare nuove tipologie di processo o di modificare quelle già esistenti.

La schematizzazione della nuova sezione di trattamento terziario nel software di modellazione ha richiesto l'implementazione di nuovi modelli e di algoritmi di controllo specifici delle sezioni di impianto non originariamente inclusi nella libreria di WEST e che sono stati svilup-

pati da ACEA, in collaborazione con DHI. Nello specifico sono stati sviluppati i modelli che descrivono la filtrazione a sabbia, la disinfezione UV e la disinfezione con acido peracetico. Inoltre, il peculiare funzionamento dei filtri a sabbia ha richiesto anche la compilazione di un modello specifico per le logiche di controllo del funzionamento dei filtri stessi.

L'unità di trattamento terziario è infatti stata progettata con filtri a controlavaggio automatico mediante innesco di un sifone idraulico autoadescante con l'installazione di un sistema idraulico di interblocco che non permette il controlavaggio automatico di due filtri contemporaneamente.

Il sistema di innesco del controlavaggio con sifone autoadescante è stato schematizzato in WEST modificando il modello standard di filtrazione a sabbia presente nella libreria in maniera tale da rilevare in automatico le condizioni di innesco del controlavaggio in base all'intasamento del letto filtrante (densità superficiale di SST sulle membrane filtranti) ed asservendo a ciascun filtro a sabbia una vasca di accumulo che viene riempita con le acque filtrate e dalla quale queste vengono richiamate in occasione del controlavaggio. Al termine delle operazioni di controlavaggio le acque vengono scaricate in una vasca di laminazione dalla quale poi vengono sollevate in testa all'impianto di trattamento.

Il funzionamento in parallelo dei filtri e le modalità di controlavaggio verrà gestito tramite logiche di controllo in maniera tale da non autorizzare il contemporaneo controlavaggio di due filtri, interrompere il flusso in ingresso al filtro in caso di controlavaggio; asservire il consenso al controlavaggio alla disponibilità di volume residuo nella vasca di laminazione delle acque di controlavaggio. Per implementare queste logiche di controllo nel modello di simulazione è stato compilato un modello specifico di un controllore.

La libreria standard di WEST non prevede né l'unità di disinfezione con radiazione ultravioletta né quella con dosaggio di Acido Peracetico che sono stati sviluppati nel caso specifico.

Per la disinfezione con UV è stato codificato un modello di valutazione della rimozione di Escherichia Coli applicando la cinetica di inattivazione di Chick-Watson:

$$\log \frac{N}{N_0} = k \cdot D$$

$N$  [CFU/100mL]= carica microbica in uscita.

$N_0$  [CFU/100mL]= carica microbica in ingresso agli UV

$k$  [ $\text{cm}_2/\text{m}$ ] = costante di inattivazione;

$D$  [ $\text{m}^2/\text{cm}_2$ ]= dose UV;

Per la disinfezione con dosaggio di Acido Peracetico è stato codificato un modello di valutazione della rimozione di Escherichia Coli basato sui risultati di uno studio sperimentale (Dominguez Henao et al., 2018, [1]) nel quale l'efficienza di disinfezione è correlata alla concentrazione di solidi sospesi nel refluo e segue la legge:

$$\log \frac{N}{N_0} = k' \cdot D_{PAA}^n \cdot \left( \frac{1}{1 + e^{b \cdot D_{PAA}}} \right)$$

$N$  [CFU/100mL]= carica microbica in uscita.

$N_0$  [CFU/100mL]= carica microbica in ingresso

$k'$ ,  $h$ ,  $n$  = coefficienti empirici;

$D_{PAA}$  [mg/l min] = dose PAA, definita in base alla concentrazione di SST nel refluo secondo le seguenti leggi:

$$\begin{aligned} \text{TSS} < 5 \text{ mg/l} & \quad D_{PAA} = D_{PAA} \cdot t \\ \text{TSS} > 5 \text{ mg/l} & \quad D_{PAA} = \frac{C_{PAA-OD}}{k} (1 - e^{-k \cdot t}) \end{aligned}$$

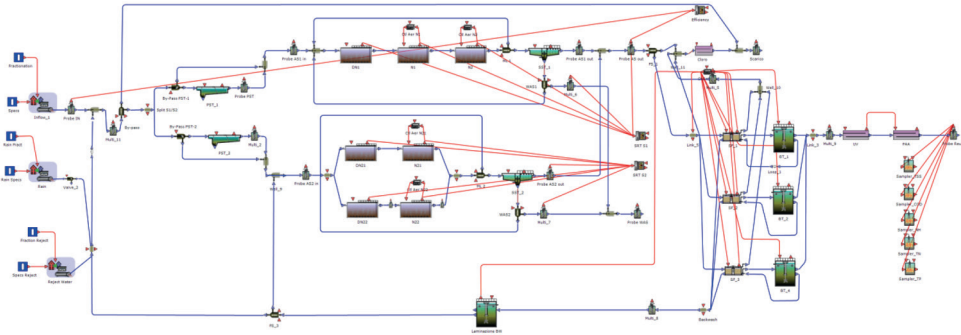
CPAA [mg/l]: Concentrazione iniziale di acido peracetico;

OD [mg/l]: consumo ossidativo iniziale;

k [min<sup>-1</sup>]: costante cinetica di decadimento;

t [min]: tempo.

La schematizzazione dell'impianto nel modello di simulazione è rappresentata in Fig. 1.



**Fig. 1** – Layout complessivo dell'impianto con la sezione di trattamento terziario

### 2.3. Valutazione delle prestazioni di impianto

Oggetto del lavoro è stata la valutazione delle prestazioni di impianto nell'assetto attuale ed in quello futuro, completo della sezione di trattamento terziario, anche al fine di fornire delle indicazioni al gestore in merito a possibili assetti di esercizio da adottare per determinare un incremento delle performance dell'impianto e di definire ed aggiornare le modalità operative e gestionali sia nel funzionamento ordinario che in situazioni straordinarie, legate ad esempio ad eventi meteorici o a necessità di eseguire interventi di manutenzione che richiedono il fuori servizio di alcuni comparti.

Sono state complessivamente condotte 29 simulazioni, monitorando complessivamente 109 parametri e descrivendo i seguenti 7 scenari di ottimizzazione e/o conduzione:

- Ottimizzazione impianto con incremento performance: gruppo di simulazioni eseguite per valutare le prestazioni dell'impianto nell'assetto attuale e per la definizione di uno scenario base ottimizzato, da utilizzare come riferimento per la conduzione di simulazioni successive. I parametri modificati sono stati il tenore di ossigeno disciolto nelle vasche aerate, il volume di biomassa di supero spurgato dal sistema, la portata di ricircolo della miscela aerata.
- Gestione del by-pass dell'unità di sedimentazione primaria: scopo delle simulazioni è la valutazione dell'incremento dell'efficienza di denitrificazione determinato da un aumento dell'apporto di carico organico in ingresso al reattore biologico, ottenuto by-passando la sedimentazione primaria per incrementare l'efficienza di denitrificazione.
- Gestione del sistema di aerazione delle vasche aerobiche per incrementare l'efficienza di rimozione dell'azoto. Scopo del presente gruppo di simulazioni è quello di determinare l'influenza sull'efficienza di rimozione di azoto di ulteriori modifiche del tenore di ossigeno disciolto in vasca, anche in considerazione del progetto di riutilizzo a scopo irriguo delle acque trattate.
- Controllo del ricircolo dei fanghi in funzione della portata influente: scopo dello scenario è



la valutazione la risposta dell'impianto ad una gestione dinamica della portata di ricircolo dei fanghi, prevedendone una variazione in funzione della portata influente.

– Ottimizzazione dei cicli di lavoro dei filtri e gestione acque di risulta del controlavaggio. Scopo delle simulazioni è la valutazione del comportamento complessivo dell'impianto nel suo assetto completo dell'unità di trattamento terziario e l'ottimizzazione di cicli di lavoro dei filtri, e conseguentemente della gestione delle acque di risulta del controlavaggio

– Gestione eventi straordinari: evento di pioggia. Scopo delle simulazioni è la valutazione delle prestazioni di impianto nel caso di un influente meteorico aggiuntivo rispetto al refluo. È stato simulato il processo in tre diverse tipologie di evento meteorico: pioggia debole, pioggia media e pioggia forte.

– Gestione eventi straordinari: invio al trattamento secondario e terziario di una portata influente pari a 3 volte la portata media nera.

Nell'ambito del presente documento verranno presentati esclusivamente i risultati corrispondenti ai gruppi di simulazioni rappresentativi dello stato attuale (Ottimizzazione impianto con incremento performance) edello stato futuro con attivazione della sezione di riuso (Ottimizzazione dei cicli di lavoro dei filtri e gestione acque di risulta del controlavaggio).

#### 2.4. Ottimizzazione impianto con incremento performance

L'impianto è stato recentemente oggetto di interventi di manutenzione straordinaria che hanno interessato la sezione di aerazione delle vasche biologiche. Nell'ambito del presente lavoro sono state valutate le prestazioni di impianto sia nelle condizioni di pre-efficientamento, sia le condizioni di lavoro che possono essere applicate in seguito a tali interventi, al fine di definire un nuovo "Scenario Base" e valutando gli effetti di possibili variazioni nella conduzione dell'impianto.

Le simulazioni sono state condotte agendo sui seguenti tre parametri, secondo lo schema indicato in Tab. 1:

– Distribuzione dell'Ossigeno Disciolto nelle vasche aerate (valore effettivo misurato in vasca prima degli interventi di manutenzione straordinaria; valore ottimale differenziale).

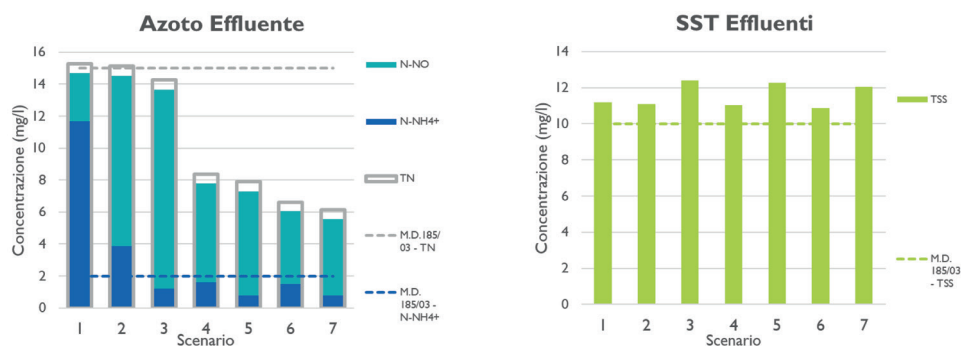
– Ricircolo della Miscela Aerata (senza ricircolo, ricircolo proporzionale alla portata influente (uguale o doppio)).

– Spurgo della Biomassa di Supero (attuale volume di spurgo medio o spurgo ridotto).

<b>Opzione 1</b> <b>"Scenario Base di calibrazione"</b>	Ricircolo della Miscela Aerata "standard" – Tenore OD "standard" Spurgo fanghi "standard"
<b>Opzione 2</b>	Ricircolo della Miscela Aerata nullo – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi "standard"
<b>Opzione 3</b>	Ricircolo della Miscela Aerata nullo – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi ridotto
<b>Opzione 4</b>	Ricircolo della Miscela Aerata "standard" – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi "standard"
<b>Opzione 5</b>	Ricircolo della Miscela Aerata "standard" – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi ridotto
<b>Opzione 6</b>	Ricircolo della Miscela Aerata doppio – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi "standard"
<b>Opzione 7</b>	Ricircolo della Miscela Aerata doppio – Tenore OD ottimale – Spurgo fanghi ridotto

Tab. 1 – Opzioni valutate per la definizione del nuovo Scenario Base di riferimento

I risultati mostrano che l'effluente prodotto dall'applicazione dello "Scenario Base di Calibrazione", rappresentativo delle condizioni pre-efficientamento è compatibile con i limiti normativi imposti dall'attuale Autorizzazione allo Scarico (Tabb. 1 e 3 All. 5 Parte III D.Lgs. 152/06), ma non con quelli previsti dal DM 185/03, pertanto non potrebbe essere applicato in uno scenario futuro. Anche gli scenari 2 e 3, che non prevedono il ricircolo della miscela aerata, non producono un effluente conforme, mentre tutte le altre opzioni valutate indicano che le sole modifiche gestionali porterebbero ad un efficientamento dell'impianto in grado di garantire il rispetto dei valori limite per i composti azotati richiesti dal più stringente contesto normativo. Ulteriori modifiche rimangono necessarie, come mostrato nel seguito, per incrementare maggiormente l'efficienza e garantire in uscita il rispetto del DM 185/03 anche in termini di concentrazione di Solidi Sospesi Totali. L'applicabilità di uno tra gli scenari indicati e l'effettiva convenienza potrà essere valutata dal gestore in base alle necessità di conduzione dell'impianto ed alle caratteristiche di qualità dell'effluente desiderate, in termini di concentrazione di solidi e di Azoto.



**Fig. 2** – Risultati delle simulazioni condotte per la valutazione dell'ottimizzazione delle performance di impianto

L'applicazione del modello sul processo a fanghi attivi ha dimostrato come attraverso una nuova configurazione di parametri operativi sia possibile ottenere prestazioni crescenti sulla rimozione dei nutrienti: l'efficienza di rimozione dell'azoto totale, secondo il modello, potrebbe aumentare dal 60% all'80%.

### 2.1. Ottimizzazione della sezione di riuso

Scopo delle simulazioni è la valutazione del comportamento complessivo dell'impianto nel suo assetto completo dell'unità di trattamento terziario e l'ottimizzazione di cicli di lavoro dei filtri, e conseguentemente della gestione delle acque di risulta del controlavaggio al fine di regolare ed ottimizzare la durata delle operazioni di controlavaggio dei filtri e la capacità della vasca di laminazione delle acque di controlavaggio.

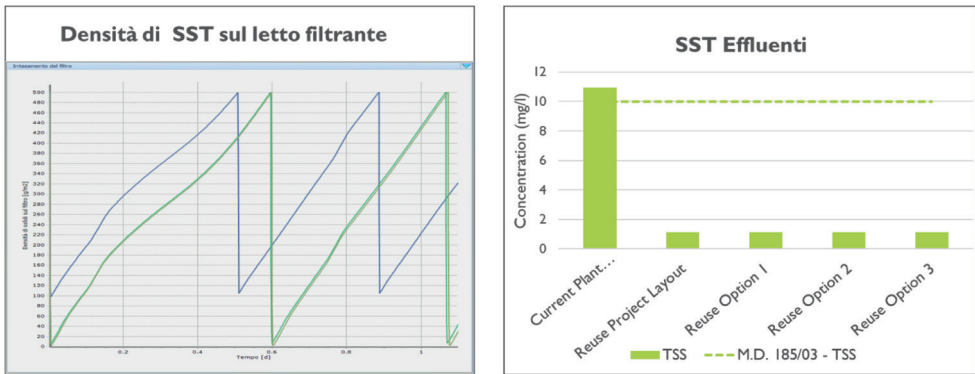
Per valutare il comportamento dell'impianto in differenti impostazioni dei cicli di lavoro dei filtri sono state eseguite simulazioni in più assetti, variando il volume delle acque prodotte da ciascun controlavaggio (variando la durata del controlavaggio stesso e mantenendo inalterata la portata) e variando la capacità della vasca di laminazione. La tipologia di filtro, realizzato con sistema di lavaggio automatico autoadescante, è tale per cui la portata di controlavaggio è funzione delle caratteristiche geometriche delle unità.

Gli scenari simulati e le loro caratteristiche principali sono i seguenti:

- "Scenario di progetto" tBW6minV280mc: durata complessiva del controlavaggio pari a 6 minuti, destinato ad una vasca di capacità pari a 280 m<sup>3</sup>. Questa simulazione corrisponde allo scenario di progetto.

- tBW45minV280mc: durata complessiva del controlavaggio pari a 4,5 minuti, destinato ad una vasca di capacità pari a 280 m<sup>3</sup>;
- tBW2minV280mc: durata complessiva del controlavaggio pari a 2 minuti, destinato ad una vasca di capacità pari a 280 m<sup>3</sup>;
- tBW6minV450mc: durata complessiva del controlavaggio pari a 6 minuti, destinato ad una vasca di capacità pari a 450 m<sup>3</sup>.

Nella seguente Fig. 3 sono rappresentati i risultati delle simulazioni: nella parte sinistra è rappresentata la densità di solidi sul letto filtrante, indicativa dell'intasamento progressivo del filtro (linea ascendente) e dell'intasamento residuo al termine delle attività di controlavaggio. Le curve verdi (verde acceso e verde oliva) sono indicative delle prestazioni corrispondenti a controlavaggi della durata di 4,5 e 6 minuti, mentre la curva blu è indicativa del controlavaggio di durata pari a 2 minuti. Il grafico di destra indica invece le concentrazioni di Solidi Sospesi Totali previste nell'effluente. Agire sulla durata del controlavaggio dei filtri non comporta alcuna variazione sulle prestazioni del filtro in termini di qualità dell'effluente, mentre influisce sulla conduzione dell'impianto: un controlavaggio più corto lascia un residuo sporco che provoca un controlavaggio più frequente.



**Fig. 3 – Risultati delle simulazioni per l'ottimizzazione della sezione di riuso**

L'applicazione del modello sul processo terziario ha indicato un incremento dell'efficienza di rimozione dei solidi sospesi totale fino a valori prossimi al 100% dell'influenza. La Fig. 4 mostra il confronto tra le efficienze di rimozione di Azoto Totale, COD e Solidi Sospesi Totali nei principali 3 scenari analizzati: attuale assetto di impianto (senza interventi di ottimizzazione della gestione), Scenario Base adottato (con interventi operativi di efficientamento) e Scenario di Riuso Selezionato.

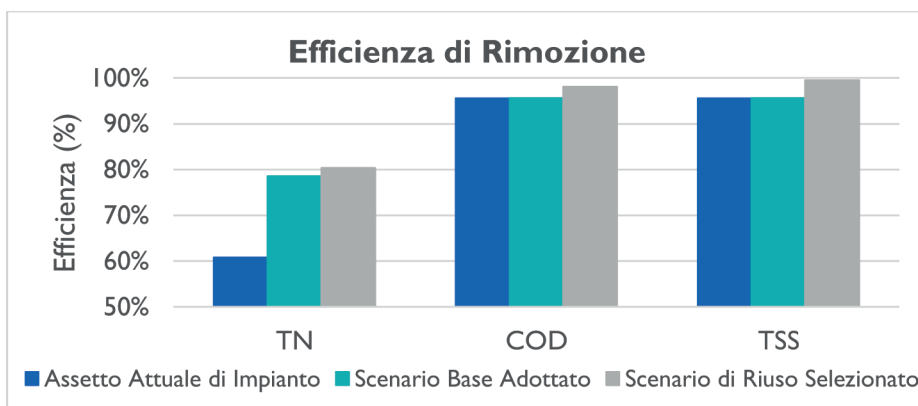


Fig. 4 – Efficienze di rimozione per i principali scenari analizzati

L'applicazione del modello di simulazione ha permesso inoltre di valutare le performance di impianto anche dal punto di vista gestionale ed energetico: ferma restando l'applicazione dello scenario di ottimizzazione dell'assetto attuale (*Scenario Base Adottato*) per garantire l'efficientamento dell'impianto, l'attivazione della sezione di riuso comporta un incremento della produzione di fango di circa il 3% ed un incremento del consumo energetico pari a circa il 14%.

### 3. Conclusioni

I risultati mostrano che la combinazione dell'applicazione di strumenti adeguati e dell'adozione del giusto approccio consente di perseguire il risultato desiderato ed indicano che, per raggiungere obiettivi conformi ai principi dell'Economia Circolare, non sono necessarie modifiche impiantistiche importanti o non sostenibili dai gestori di impianti di trattamento delle acque reflue, ma è necessario un cambiamento di approccio.

### Bibliografia

- [1] Dominguez Henao L., Cascio M., Turolla a., Antonelli M., *Effect of suspended solids on peracetic acid decay and bacterial inactivation kinetics: experimental assessment and definition of predictive models*. Science of the Total Environment. 643 (2018) 936-945.
- [2] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw – Hill International Edition.
- [3] M. Beccari, R. Passino, R. Ramadori, R. Vismara, *Rimozione di azoto e fosforo dai liquami* Biblioteca Tecnica Hoepli.

# Ottimizzazione delle risorse idriche in agricoltura: Il Consorzio di Bonifica Valle del Liri

*Claudio [Lena lena@eco.unicas.it](mailto:lena.lena@eco.unicas.it), Lucia Pirollo*

*Dipartimento di Economia e Giurisprudenza, Università degli studi di Cassino e del Lazio meridionale*

## **Riassunto**

*Gli effetti dei cambiamenti climatici che negli ultimi anni hanno determinato periodi di lunga siccità, inducono i Consorzi di Bonifica a porre in essere azioni volte ad una attenta ed efficace utilizzazione della risorsa idrica attraverso una innovazione incrementale nei processi di distribuzione dell'acqua in agricoltura. Nel presente lavoro verranno analizzate le politiche di intervento messe in atto dal Consorzio di Bonifica Valle del Liri attraverso la scelta, il dimensionamento e l'impiego corretto della risorsa idrica per una irrigazione più efficace e sostenibile.*

## **Summary**

*In recent years climate change has led to periods of long drought, therefore the Reclamation Authority have put in place actions for a careful and effective utilization of the water resource, through an incremental innovation in the water distribution processes in agriculture. In this work the intervention policies implemented by the Valle del Liri Reclamation Authority will be analyzed through the selection, sizing and correct use of the water resource for more efficient and sustainable irrigation.*

## **1. Introduzione**

L'agricoltura in Europa utilizza nel suo complesso circa il 24% delle riserve idriche. Questa percentuale varia notevolmente in base alla latitudine e può arrivare a circa lo 80% nel Sud Europa. Italia, Spagna, Francia, Grecia, Romania e Portogallo contabilizzano almeno lo 84% del totale delle aree irrigate della Comunità Europea [1].

La grande disponibilità idrica ha portato l'Italia ad avere un'impronta ecologica idrica molto elevata: i prelievi di acqua sono tra i più alti del mondo e l'efficienza di uso tra le più basse. La crescente richiesta di acqua da parte dell'agricoltura e dell'industria si scontra con le previsioni di una futura diminuzione della portata dei corsi d'acqua dovuta ai cambiamenti climatici. Da diversi anni, oramai, viene messa in evidenza la tendenza verso modificazioni climatiche tali da incidere sul problema idrico in termini sia di carenza che di eccesso, e quindi con il coinvolgimento diretto del settore agricolo, in particolare per quanto concerne il drenaggio e l'irrigazione.

Diversi studi [2] hanno messo in evidenza come, dalla fine del XIX secolo, a livello mondiale si siano registrati significativi cambiamenti climatici. In particolare sono aumentate le temperature dell'aria sulla superficie terrestre di 0,4-0,8°C; si è verificato un notevole ritiro dei ghiacciai alpini; la copertura nevosa primaverile nell'emisfero nord è calata del 10% dal 1987 rispetto alla media 1966-1986; si sono incrementate le precipitazioni alle alte e medie latitudini; la temperatura ha subito un incremento notevole (+0,6-0,7°C).

Tra gli effetti dei cambiamenti climatici sulle attività irrigue, si nota un peggioramento dell'Indice di Aridità su base annuale (rapporto tra precipitazione ed evapotraspirazione potenziale, espressione dell'equilibrio tra afflussi e perdite d'acqua): dalla sostanziale parità nel trentennio 1961-1990 (0,99) si è arrivati ad uno squilibrio con perdita netta nel trentennio 1971-2000 (0,93). Questo si deve sia alla riduzione delle precipitazioni, sia all'aumento dell'evapotraspirazione delle colture [3].

Il legame fra clima e agricoltura è di fondamentale importanza non solo per gli effetti immediati sulle produzioni ottenibili ma anche per la ricerca di soluzioni sostenibili e durature per una corretta pianificazione dell'agricoltura del futuro attraverso il miglioramento dell'efficienza nell'uso delle acque quali l'adeguamento degli impianti di irrigazione, la diminuzione della domanda di acqua, la modifica delle pratiche agricole, il riutilizzo delle acque di scarto [4].

## **2. Il ruolo dei Consorzi di Bonifica**

I Consorzi di bonifica sono enti di diritto pubblico che curano l'esercizio e la manutenzione delle opere pubbliche di bonifica e controllano l'attività dei privati, sul territorio di competenza (comprensorio di bonifica). Il loro compito è la difesa del suolo dall'acqua, finalizzato a ridurre il rischio alluvionale ed idrogeologico, ed alla tutela del territorio in generale, oltre alla distribuzione della risorsa irrigua per l'agricoltura.

Essi erano già previsti nel regio decreto n. 368 dell'8 maggio 1904 che riguardava l'approvazione del regolamento sulle bonificazioni delle paludi e dei terreni paludosi. Successivamente, il regio decreto n. 215 del 13 febbraio 1933, che reca le norme per la bonifica integrale e approva il testo unico, ha disposto la costituzione obbligatoria dei consorzi di bonifica a richiesta dei proprietari della maggior parte del territorio.

In seguito ai Decreti Delegati del 972, con il trasferimento di funzioni dallo Stato alle Regioni, il D.P.R. 616 del 1977 concretizza la legislazione in materia di bonifica, pur sempre nell'ambito dei principi stabiliti con la citata legge statale 215/1933 [5].

Le opere di cui all'art. 1 riguardano la sicurezza idraulica (impianti idrovori, canali di bonifica) salvaguardando ampie zone e numerosi centri abitati da esondazioni e calamità naturali; la gestione delle acque destinate all'irrigazione (impianti e reti irrigue), la partecipazione ad opere urbanistiche, ma anche la tutela del patrimonio ambientale e agricolo, la salvaguardia dei biotopi e delle riserve naturali. I Consorzi svolgono quindi un'attività polifunzionale, mirata alla sicurezza territoriale, ambientale ed alimentare del Paese, contribuendo in tal modo ad uno sviluppo economico sostenibile.

I 127 Consorzi di bonifica, sparsi su tutto il territorio nazionale e regolamentati da una legislazione regionale, coprono il 50 per cento del territorio italiano (17 milioni di ettari) e provvedono alla manutenzione di 220 mila chilometri di canali e reti irrigue, 800 impianti idrovori con annesso canalizzazioni, oltre 22 mila briglie [6].

## **3. In consorzio di Bonifica Valle del Liri**

Il Consorzio Bonifica Valle del Liri, costituito con DPR 5 luglio 1950 n° 1288, opera in base a quanto previsto dalla Legge Regionale del Lazio n. 42/2005 "Adeguamento e riordino dei Consorzi di Bonifica" e dalle norme del proprio Statuto, al fine di assicurare lo scolo delle acque, la difesa del suolo, la salvaguardia dell'ambiente, la tutela delle risorse idriche e naturali, l'irrigazione e la valorizzazione del territorio.

Il suo comprensorio di bonifica ricade in 44 Comuni della provincia di Frosinone, esteso per 140.667 ettari, con una superficie servita da irrigazione di 13.280 ettari. 17 sono i comuni serviti, con 10 impianti di irrigazione e 18 centrali di sollevamento acque, 621,5 km di lunghezza canali e 35 milioni di mq di acqua pompata.

Se si considera che l'intero territorio della provincia di Frosinone è di 323.907 ha, e che la

superficie ricadente nella competenza del consorzio, 140.667 ettari, incide per il 44,26% e che l'intera popolazione residente della provincia di Frosinone è di 494.019 unità, quella residente nei territori di competenza consortile incide per il 45,31 % (223.840 unità) si evince l'importanza ed il ruolo che il consorzio è chiamato a svolgere sul territorio ricadente nella propria competenza.

Gli impianti irrigui sono alimentati dai fiumi Liri, Gari, Rapido, dalla Forma Quesa, dal torrente Mollarino e da fonti minori.

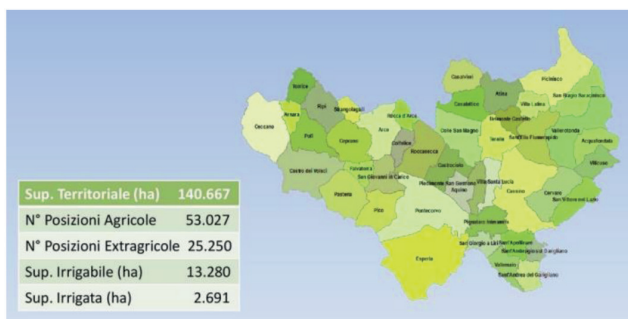


Fig. 1 – Superficie territoriale, irrigabile ed irrigata, anno 2017

Il consorzio, come stabilito all'articolo 2 del proprio statuto sociale, esplica le funzioni ed i compiti che gli sono attribuiti dalle leggi statali e regionali quali: la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione delle opere pubbliche di bonifica, delle opere idrauliche e delle opere relative ai corsi d'acqua naturali facenti parte integrante del sistema di bonifica e d'irrigazione; la difesa del suolo da esondazioni; il ripristino, l'adeguamento e l'ammodernamento delle esistenti opere idrauliche; la gestione dei reflui provenienti dalla depurazione e dal inquinamento delle acque; la realizzazione d'azioni di salvaguardia ambientale, di risanamento e depurazione delle acque; l'assistenza ai consorziati nella trasformazione degli orientamenti produttivi delle singole aziende e nella loro gestione; gli interventi conseguenti a calamità naturali o eccezionali avversità atmosferiche; l'organizzazione e l'attuazione di progetti di difesa idrogeologica e per lo sviluppo del territorio con particolare riferimento alla promozione dei patti territoriali [7].

Denominazione irriguo	Superfici (Ha)	
	Catastali	Irrigui
I) "Fiume Rapido"	1.910,00	1.601,00
II) "Destra e sinistra fiume Gari"	8.160,00	6.519,00
III) "Torrente Mollarino"	604,39	500,00
IV) "Capo d'Acqua"	1.100,00	932,00
V) "Destra e sinistra fiume Liri"	4.607,00	3.525,00
VI) "Forma Quesa"	840,00	703,00
<b>Totale generale</b>	<b>17.221,39</b>	<b>13.780,00</b>
Percentuale	100,00	80,02

Tab. 1 – Superfici comprensoriali attrezzate

Fonte: <http://www.conorziovalledelliri.it/it/compensorio.aspx>



I complessi irrigui attualmente gestiti dal consorzio, sono sei e traggono origine dai corsi d'acqua che alimentano. Le superfici comprensoriali attrezzate sono complessivamente di 17.221,39 ettari, di cui 13.780,00 Ha irrigui (80,02%), come rappresentato nella tabella 1.

#### **4. Le innovazioni nei processi di irrigazione: il telecontrollo**

Negli ultimi decenni numerosi sono stati gli strumenti proposti dai Consorzi di Bonifica per la pianificazione dell'irrigazione come, ad esempio, i progetti AQUATER, WISCHE, GIADA [8] IRRIFRAME [9], accomunati dallo sviluppo di sistemi centralizzati per la gestione dell'irrigazione a domanda, automazione e telecontrollo.

I sistemi di telecontrollo assolvono alla funzione di raccogliere con continuità lo stato degli impianti irrigui e di trasmetterli ai centri di supervisione, i quali, a loro volta acquisiscono, controllano, convertono i dati acquisiti in digitale, memorizzano, codificano trasmettono, ricevono e riconoscono gli indirizzi, interpretano e attuano i comandi automatici.

Il sistema di automazione e telecontrollo del Consorzio di Bonifica Valle del Liri adempie il compito di monitorare e, in parte, di telecomandare gli apparecchi elettromeccanici e strumentazioni facenti parte delle opere idrauliche e delle stazioni di sollevamento, organizzate in stazioni di controllo periferiche, dislocate nell'ampia area geografica del comprensorio di competenza. Esso supervisiona una rete di n. 13 periferiche/controllerori, realizzati mediante PLC Siemens S7/300: 8 stazioni di rilascio, 4 vasche di accumulo ed il Centro operativo di Via Appia.

Il sistema è costituito da un apparato di teletrasmissione/telecontrollo per la trasmissione di segnali e le ricezioni di comandi per/da posto di comando remoto, da un software per la gestione della derivazione e una rete Wi-Fi che consente di interfacciare con la rete Wi-Fi dell'unità operativa di Pontecorvo.

Le stazioni di controllo periferiche scambiano dati sul comando di pompe, comando di interruttori, comando impulsivo, comando analogico, segnalazioni di organi bipozionali, allarmi ed altre segnalazioni, teleconteggi (energie, portate integrate ecc.), misure analogiche (rilevazione di parametri idraulici quali livelli e portate).

Il sistema di telecontrollo è configurabile come un sistema di intelligenza distribuita, in cui le singole stazioni periferiche sono in grado di impartire comandi agli organi di attuazione sulla base di logiche di funzionamento dell'intero sistema idrico in assoluta autonomia. Il sistema di automazione per la gestione dell'impianto presenta una struttura gerarchica e scalabile:

- in campo, costituito dalla strumentazione, contatori ed attuatori delle valvole elettromeccaniche;
- le centrali di sollevamento, con la presenza dei PLC dedicati alla gestione del colloquio con il campo e del colloquio con l'elaboratore del Centro di controllo;
- il Centro di Controllo costituito da un elaboratore con adeguata memoria di massa e da un posto operatore basati su un monitor grafico a colori, per la visualizzazione dei quadri sinottici delle centrali di sollevamento e per la gestione dell'impianto.

Ogni componente dell'impianto è controllato attraverso misure qualitative e quantitative, che sono indispensabili per la supervisione ed il controllo dell'intero impianto di irrigazione, per la corretta conduzione e l'ottimizzazione dei consumi di acqua.

La vigilanza delle stazioni di controllo periferiche è effettuato dalla centrale operativa, ubicata presso la centrale di sollevamento di Ravano da cui è possibile conoscere lo stato dell'impianto e degli organi idraulici telecontrollati, gestire impianti di sollevamento automaticamente da PLC, comandare l'accensione e lo spegnimento delle pompe, sostituendosi agli automatismi locali in funzione dei livelli e delle pressioni degli impianti di sollevamento, in modo da limitare gli interventi diretti alle sole situazioni di emergenza o alle operazioni di manutenzione programmata.

Le soluzioni sviluppate per la gestione delle stazioni periferiche prevedono funzioni per il controllo e la regimazione dei canali irrigui tramite la misurazione dei livelli, la regolazione delle paratoie e il comando delle pompe di sollevamento. Il sistema di controllo automatico, in funzione delle condizioni ambientali, si occupa costantemente della regimazione del livello dell'acqua nei canali, regolando le paratoie quando l'acqua fluisce dal territorio verso il fiume. Quando il flusso dal territorio diviene insufficiente l'impianto aziona le pompe di sollevamento per pompare acqua dal fiume verso il canale e mantenere costante il livello d'acqua. In caso di piena, in particolare, a fronte di piene improvvise provocate da forti temporali, grazie al comando automatico delle paratie, il livello del canale rimane sotto controllo scaricando l'acqua in eccesso nel fiume.

L'architettura del sistema ha come obiettivo anche la costruzione di una banca dati che consenta di ottimizzare i consumi energetici e le reali necessità gestionali degli stessi. Inoltre l'archiviazione dei dati raccolti durante il funzionamento dell'impianto consente di disporre di informazioni per una corretta, efficace e veloce gestione amministrativa del servizio di irrigazione, in più si possono fare previsioni di piena nella rete idrica, fare simulazioni su quello che succederà nel territorio.

Tale sistema di telecontrollo quindi presenta l'integrazione delle modalità operative e degli archivi storici ed è concepito come un'infrastruttura gestionale atta ad integrare le operazioni aziendali, in grado di consentire una reale ottimizzazione nella gestione delle reti irrigue consortili.

<b>Benefici gestionali</b>	<b>Benefici di sostenibilità</b>
Gestione integrata di un'unica banca dati per l'esercizio dell'impianto e miglioramento nel tempo e la tariffazione agli utenti in base ai consumi effettivi	Riduzione consumi energetici (evitare di far funzionare le utenze ad un regime superiore a quello necessario)
Ottimizzazione della pianificazione delle attività	Risparmio risorsa idrica
Ottimizzazione del funzionamento delle pompe	Minore dilavamento del terreno
Possibilità di gestione "a colpo d'occhio" portate, livelli vasche, consumi anomali, etc.	Minore inquinamento falde
Possibilità di guida delle squadre di emergenza mediante coordinate	Controllo pressioni e portate
Monitoraggio in tempo reale del comprensorio irriguo e individuazione in tempo reale di allarmi, situazioni e delle modalità di funzionamento dell'impianto	Erogazione di acqua "a consumo"
Controllo continuo ed unitario dei processi, delle informazioni dello stato dell'impianto e la possibilità da parte dell'operatore, di inviare comandi alle apparecchiature presenti in campo	Individuazione perdite
Riduzione della necessità di ricorrere a frequenti ispezioni agli impianti, eliminazione delle operazioni di lettura delle misure in campo	Controllo delle stazioni in maniera ottimale, tale da garantire la massima efficienza ed il funzionamento in sicurezza

**Tab. 2** – *Benefici del sistema integrato*

#### **4. Conclusioni**

I predetti sistemi hanno apportato un significativo miglioramento nella gestione irrigua consortile, un più razionale utilizzo della risorsa idrica e del personale operaio e, soprattutto, la possibilità di eseguire le manovre di regolazione in completa sicurezza. Attraverso tale inno-

vazione il Consorzio è riuscito a risparmiare notevoli risorse idriche ed economiche con conseguente miglioramento qualitativo del servizio. Tra i vantaggi che tale tecnologia offre ci sono la garanzia di un adeguato approvvigionamento d'acqua e lanciare in tempo reale gli allarmi in caso di anomalie sulle reti idriche; l'ottimizzazione del funzionamento delle reti idriche gestite, conoscendo, costantemente e con la massima precisione, i livelli, le portate e le pressioni; la riduzione dei costi di funzionamento, limitando gli interventi e semplificando la gestione del personale di servizio; un significativo risparmio energetico, migliorando i tempi di funzionamento delle pompe, in funzione delle reali necessità e del sistema di tariffazione dell'energia elettrica; gli interventi di manutenzione preventiva grazie alla conoscenza esatta dei tempi di funzionamento delle pompe e delle apparecchiature idrauliche; l'utilizzo di un database contenente l'archivio storico dei dati di funzionamento delle apparecchiature e delle reti idriche, in modo da permettere analisi e calcoli previsionali della domanda, così da impostare in modo ottimale il funzionamento degli impianti di sollevamento e delle apparecchiature idrauliche; il corretto funzionamento e il controllo a distanza delle stazioni di sollevamento e il rilancio delle acque nelle vasche di accumulo a servizio dei vari distretti irrigui.

### **Bibliografia**

- [1] **Ventura F., et all.** (a cura di) Agrometeorologia per le Politiche di Sviluppo Rurale, Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia, giugno 2018
- [2] **Brunetti A.** Siccità, desertificazione, cambiamenti climatici e agricoltura in Italia in Italia Antonio CRA -UCEA, 2010
- [3] **Dono G., Cortignani R., Giraldo L., et all.** "Income Impacts of Climate Change: Irrigated Farming in the Mediterranean and Expected Changes in Probability of Favorable and Adverse Weather Conditions. Agrarwirtschaft" vol. 63, p. 177-186, 2014
- [4] **AMBI** "Le risorse idriche: orientamenti e problemi di governance, programma idrico nazionale e piano irriguo" 2005
- [5] **Galvani A.** "La legislazione della bonifica e i Consorzi di Bonifica in Italia" gennaio 2009
- [6] **Russo G.** "Il ruolo dei Consorzi di Bonifica nella difesa del suolo e nella tutela del Vincolo Idrogeologico" Geologia dell'Ambiente, Supplemento al n. 2/2014
- [7] <http://www.consorziovalledelliri.it/it/consorzio.aspx>
- [8] **Zottele F., et all.** "GIADA, un sistema centralizzato per la gestione dell'irrigazione a domanda" Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia, giugno 2018
- [9] [www.irriframe.it/Irriframe](http://www.irriframe.it/Irriframe)

# Valutazione ex post del recupero e riuso ai fini irrigui di acque reflue della depurazione civile alla scala reale

*Paolo Mantovi* [p.mantovi@crpa.it](mailto:p.mantovi@crpa.it), Sergio Piccinini  
Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA, Reggio Emilia  
Roberta Calone – DISTAL, Università di Bologna  
Loris Canovi – IRETI SpA, Reggio Emilia

Paola Zanetti – Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, Reggio Emilia

## Riassunto

*A quattro anni dall'avvio del primo impianto di trattamento terziario applicato in Emilia-Romagna sulle acque reflue della depurazione civile (Mancasale, Reggio Emilia), i volumi recuperati sono incrementati da 3,5 milioni nel 2016 sino a quasi 6 milioni di metri cubi nel 2018 e 2019, con portate medie orarie che hanno fluttuato tra 1.200-1.400 m<sup>3</sup>/ora. L'analisi dei principali parametri chimico-fisici e biologici ha confermato il corretto funzionamento dell'impianto, sebbene i livelli di sodio, azoto ammoniacale e oli minerali abbiano presentato un maggior grado di rischio rispetto agli altri parametri. Gli agricoltori interessati al riuso si ritengono generalmente soddisfatti della gestione del servizio irriguo con l'inclusione delle acque recuperate. Quasi tutti non hanno riscontrato variazioni nella disponibilità e nella qualità nell'acqua impiegata e percepiscono dei vantaggi legati al recupero irriguo delle acque reflue piuttosto che dei rischi, dimostrandosi favorevoli alla diffusione di questa buona pratica.*

## Summary

*During the first four years' operation of the first Emilia-Romagna tertiary treatment plant of urban wastewater (Mancasale, Reggio Emilia), the volumes of recovered wastewater increased from 3.5 million in 2016 up to almost 6 million cubic meters in 2018 and 2019. The average hourly flow rates fluctuated between 1,200-1,400 m<sup>3</sup>/hour. The results of the chemical-physical and biological analysis confirmed the correct plant functioning, although the levels of sodium, ammoniacal nitrogen and mineral oils showed a greater degree of risk. The farmers were generally satisfied with the actual management of the irrigation service including the recovery of the treated wastewater. Almost all of them did not observe changes in the availability and quality of the irrigation water and perceived advantages rather than risks linked to wastewater recovery for irrigation, proving to be favourable to the spread of this good practice.*

## 1. Introduzione

Il riutilizzo irriguo delle acque reflue urbane depurate potrebbe permettere di ridurre la pressione significativa che il settore agricolo esercita sulle risorse idriche, promuovendo la transizione verso modelli produttivi incentrati sul concetto di economia circolare, attualmente alla base di molte politiche ambientali e di sviluppo sostenibile. Per questo l'UE ha recentemente proposto un regolamento recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua [1], attualmente in fase di negoziazione tra le Istituzioni europee per giungere ad un testo condiviso.

Nel 2016 a Reggio Emilia (Mancasale) era stato avviato il primo impianto di trattamento terziario applicato in Emilia-Romagna sulle acque reflue della depurazione civile. Il processo di finissaggio è costituito da una prima fase con filtrazione su letto granulare multistrato seguita da disinfezione per mezzo di ossidazione chimica con perossido di idrogeno e irraggiamento a basso dosaggio UV. L'impianto ha una portata massima di circa 1.700 m<sup>3</sup>/ora ed è in grado di trattare fino a sei milioni di metri cubi di acque reflue per stagione irrigua, considerando una durata di 160 giorni da aprile a settembre. L'impianto è stato collegato alla rete di canali gestita dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale e serve un comprensorio irriguo a nord della città di circa 2.000 ettari.

L'avvio dell'impianto, con la messa a punto dei processi, il monitoraggio delle sue performances e dei principali effetti dovuti all'immissione delle acque nella rete irrigua, erano stati seguiti nell'ambito del progetto LIFE ReQPro - *A model to reclaim and reuse wastewater for quality crop production* - coordinato dal Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA S.p.A e terminato nel 2017. Per approfondimenti sui risultati di questo progetto si rimanda al paper [2].

Il presente paper sintetizza invece alcuni risultati di uno studio, commissionato al CRPA dal gestore dell'impianto IRETI, relativi a: i) il controllo delle acque reflue recuperate per le annualità 2017 e 2018, con un confronto rispetto ai dati del 2016, primo anno di funzionamento dell'impianto, ii) la descrizione della tipologia di aziende agricole servite con le acque reflue trattate e la valutazione del grado di soddisfazione degli agricoltori rispetto al riuso irriguo.

## 2. Relazione

### 2.1. Monitoraggio delle quantità e della qualità delle acque depurate

Dalla data di avvio dell'impianto di trattamento terziario è stata condotta un'intensa attività di monitoraggio della quantità e della qualità dell'effluente trattato, seguendo le specifiche indicate nell'Accordo di programma stipulato per la corretta gestione dell'impianto e che governa in particolare i rapporti tra il gestore dell'impianto, IRETI, e quello della rete irrigua, il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale.

Rispetto alla prima annualità di funzionamento dell'impianto, il 2016, in cui era stato erogato al riuso irriguo un volume idrico di circa 3,5 milioni di m<sup>3</sup>, nel 2017 e 2018 lo stesso volume è aumentato rispettivamente sino a 5,4 e quasi 6 milioni di m<sup>3</sup>. Ciò si deve al maggior numero di giorni effettivi di erogazione, sia per il 2017 che per il 2018, rispetto al 2016, in cui questi erano stati rispettivamente 122, più 33 giornate di chiusura della paratoia di immissione delle acque trattate nella rete irrigua, generalmente coincidenti con periodi piovosi. I giorni effettivi di erogazione nel 2017, infatti, sono stati 182, sette in più del 2018. Nonostante la minore durata dell'erogazione, il volume complessivo distribuito nel 2018 rispetto al 2017 è stato del 15% superiore, dovuto ad una portata media superiore, attorno ai 1400 m<sup>3</sup>/ora.

Dal punto di vista qualitativo, il monitoraggio delle acque trattate ha riguardato un set di 60 parametri, con cadenza di campionamento settimanale. Le analisi sono state condotte su tutti i campioni per i parametri pH, conducibilità, SST, COD, BOD, sodio, cloruri, azoto totale e ammoniacale, fosforo, boro, oli minerali, tensioattivi e parametri microbiologici mentre per i restanti parametri la frequenza di analisi è stata ridotta.

Nell'arco del triennio 2016-2018 i valori registrati per i vari parametri chimico-fisici si sono generalmente attestati al di sotto dei valori guida specificati nell'Accordo di programma, se si eccettuano il sodio ed i bicarbonati. I risultati del 2017 e 2018 sono sintetizzati nella tabella 1 e testimoniano di sporadici episodi di incremento delle concentrazioni di sodio e azoto ammoniacale, gestiti con delle analisi suppletive che hanno evitato l'interruzione dell'erogazione in quanto i valori sono subito rientrati. Va inoltre segnalata una leggera tendenza all'incremento

di concentrazione degli oli minerali che, in alcuni campionamenti del 2018, hanno raggiunto valori vicini alla soglia massima di 0,5 mg/l senza comunque superarla.

Per quanto riguarda, invece, la contaminazione di natura biologica, è stato misurato il contenuto di due ceppi di batteri patogeni: salmonella ed *Escherichia coli*. Come nel 2016, anche nelle due annualità successive non è stata mai riscontrata presenza di salmonella nelle acque provenienti dal depuratore di Mancasale, mentre il contenuto di *E. coli* si è mantenuto sempre molto al di sotto del valore guida di 500 MPN/100 ml. Tuttavia, la concentrazione media di questo gruppo di batteri ha subito un incremento nel 2018, mostrando un valore medio di 35 MPN/100 ml contro i 4,5 e 2 MPN/100 ml riscontrati nel 2017 e nel 2016 rispettivamente.

Nel complesso i risultati del triennio testimoniano del mantenimento di un'adeguata capacità depurativa del trattamento terziario, a fronte di una progressiva ottimizzazione della gestione dell'impianto.

<b>Parametri chimico – fisici</b>									
<b>Sostanze caratterizzanti</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Valore-guida</b>	<b>Valore max</b>	<b>2017</b>			<b>2018</b>		
				<b>Media</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
pH	Unità pH	6-9,5	6-9,5	7,9	7,2	8,3	8,0	7,4	8,4
Conducibilità elettrica	µS/cm	1500	3000	1477	802	1699	1535	1211	1764
Indice SAR	-	10	10	3,5	3,1	4,1	3,7	2,7	4,5
SST	mg/l	35	35	0,2	0	6,0	0,2	0	6,0
COD	mg/l	50	100	20	0	37	23	0	38
BOD	mg/l	20	20	0,2	0	3,0	1,1	0	10
Sodio	mg/l	50	200	157	64	221	169	126	271
Cloruri	mg/l	250	500	233	97	277	225	160	284
Calcio	mg/l	-	-	139	133	150	-	-	-
Magnesio	mg/l	-	-	26,7	26,0	27,7	-	-	-
Bicarbonati	mg/l	250	500	405	338	482	410	356	442
Solfati	mg/l	250	500	99	77	121	102	83	119
Boro	mg/l	0,3	1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
<b>Nutrienti</b>									
Azoto totale	mg/l	10	35	7	4	12	11	6	17
Azoto ammoniacale	mg/l	2	5	0,5	0	4,3	1,6	0	11,1
Fosforo totale	mg/l	1	10	0,6	0,1	2,1	0,5	0,1	1,9
Potassio	mg/l	-	-	21,6	20,6	22,7	-	0	0
<b>Sostanze potenzialmente tossiche</b>									
Tensioattivi totali	mg/l	0,5	1	0,3	0,1	0,6	0,4	0	0,9
Oli minerali	mg/l	0,1	0,5	0,01	0	0,10	0,11	0	0,49

Segue

Patogeni	Unità di misura	Valore-guida	Valore max	Parametri microbiologici					
				2017			2018		
				Media	min	max	media	min	max
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100 ml	500	1.000	4,5	0	66	35	0	365
<i>Salmonelle spp.</i>	MPN/100 ml	0	Assente	0	0	0	Assente	0	0

**Tab. 1** – Valori rilevati per i principali parametri analizzati nei due anni 2017 e 2018

## 2.2. Valutazione del grado di soddisfazione degli agricoltori

Il grado di soddisfazione degli agricoltori che utilizzano ai fini irrigui le acque reflue recuperate dalla depurazione a Mancasale è stato valutato attraverso la somministrazione di un questionario.

Il questionario è stato impostato attenendosi alla struttura di quello precedentemente sottoposto agli agricoltori nel 2016, durante il progetto LIFE ReQPro. Al precedente questionario sono state integrate delle domande volte a determinare l'impatto dell'immissione delle acque reflue recuperate sul servizio di fornitura e sulla disponibilità e la qualità dell'acqua ricevuta dagli agricoltori. Inoltre, sono state inserite delle domande per valutare la percezione degli utenti sui rischi e sui vantaggi connessi al riuso di queste acque e il loro giudizio rispetto all'adozione di questa tecnologia per aumentare la sostenibilità dei sistemi agricoli moderni. Il questionario è stato, quindi, articolato in tre sezioni: A. Informazioni generali sull'azienda e sull'intervistato, B. Informazioni sull'irrigazione e C. Conoscenza del recupero e riuso dei reflui urbani.

Il sondaggio è stato svolto telefonicamente nel mese di maggio 2019, con la collaborazione dei tecnici del Consorzio di Bonifica, su un campione di trentuno agricoltori.

### 2.2.1. Informazioni sull'azienda, il conduttore e l'irrigazione

Il campione di intervistati si caratterizza per essere geograficamente localizzato nei comuni di Cadelbosco di Sopra (87%), Bagnolo in Piano (10%) e Reggio Emilia (3%). Dei 31 agricoltori intervistati, il 77 % ha una età superiore ai 45 anni e di questi il 24% supera i 75 anni. Non ci sono, invece, intervistati con una età inferiore ai 35 anni.

Il 45% degli agricoltori ha un titolo di studio non superiore al diploma di scuola media, il 51% possiede un diploma professionale o un diploma di scuola superiore e solo un agricoltore ha conseguito la laurea. Il 29% degli intervistati irriga una superficie inferiore a 2 ha, il 26% compresa tra 2 e 10 ha e il 9 % gestisce in irriguo oltre 50 ha.

L'84% degli intervistati attua metodi di produzione agricola convenzionale mentre la restante parte adotta sistemi di lotta integrata o di agricoltura biologica.

Tra le colture più diffuse troviamo nell'ordine: erba medica e foraggiere (48%), vite (32%), mais (26%) e prato stabile (26%). Dei trentuno agricoltori intervistati il 55% gestisce in irriguo una sola coltura, il 29% due colture, il 3% tre colture e il 13% quattro diverse colture in irriguo.

Tutti gli intervistati utilizzano l'acqua distribuita dal Consorzio di Bonifica. Il 53% di essi esegue irrigazione a pioggia per aspersione, con irrigatore semovente tipo "gettone", il 40% ricorre al metodo dello scorrimento e solo 7% pratica la micro-irrigazione. Il 58% degli agricoltori adotta contemporaneamente due metodi irrigui, di cui quello prevalente resta l'aspersione, mentre la micro-irrigazione viene applicata al massimo sul 30% delle colture aziendali. Solo 3 agricoltori su 31 hanno dichiarato di aver avuto problemi di rifornimento idrico per eventi legati al clima e alla turnazione.



Per quanto riguarda la previsione sui futuri problemi di approvvigionamento idrico, il 26% degli intervistati prevede che essi aumenteranno di intensità e di frequenza contro un 3% che, al contrario, si aspetta una loro riduzione. Per la restante parte, il 52% ipotizza che la disponibilità idrica rimarrà invariata mentre il 19% non è in grado di fornire una opinione in merito. La componente più anziana degli intervistati (oltre i 75 anni) non si aspetta un aumento dei problemi di disponibilità idrica nel futuro o non è in grado di farne una previsione. La maggiore tendenza a prevedere un loro aumento si riscontra nella fascia di età 55-64, che costituisce il 29% del campione di intervistati e raccoglie individui con un buon livello di istruzione (il 67% di essi ha un titolo di studio superiore alla licenza media). Come ci si potrebbe aspettare, infatti, con l'aumentare del livello di istruzione gli agricoltori hanno mostrato una maggiore tendenza a prevedere un aumento dei rischi legati alla disponibilità di acqua nel futuro.

Hanno dichiarato di voler intervenire sul riparto colturale il 20% degli intervistati che temono un aumento dei problemi di approvvigionamento idrico, il 12% degli intervistati che non si aspettano variazioni della disponibilità idrica, e il 33% di coloro che non hanno formulato alcuna previsione in merito.

I principali motivi per cui gli agricoltori modificherebbero il riparto colturale includono la necessità di doversi adattare alle future condizioni climatiche, ossia alla maggiore incidenza di condizioni di stress termico e idrico (50%), la necessità di dover rispondere alle future esigenze dei consumatori (33%), e la necessità di applicare la produzione con l'inserimento di nuove colture in rotazione (17%).

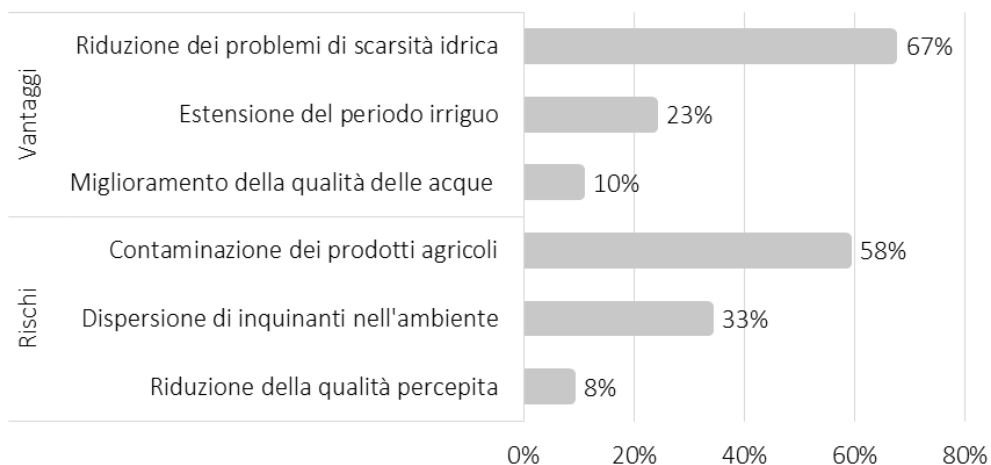
### *2.2.2. Valutazione del servizio di recupero e riuso dei reflui urbani*

Il 74% degli intervistati era a conoscenza che parte delle acque da essi impiegate per l'irrigazione provenissero dal depuratore di Mancasale. Di questi, tuttavia, il 65% non aveva idea che la struttura riuscisse a recuperare oltre cinque milioni di metri cubi di acqua per stagione irrigua.

Tutti gli agricoltori intervistati, comunque, hanno dichiarato di non aver dovuto adattare i loro impianti irrigui per poter utilizzare le acque reflue depurate.

Tra gli intervistati, il 76% associa dei vantaggi al riuso delle acque reflue a scopi irrigui, tra cui una riduzione dei problemi di scarsità idrica (67%), un allungamento del periodo irriguo (23%) e un miglioramento della qualità delle acque (10%) (Figura 1).

Tuttavia, il 40% degli intervistati percepisce anche la presenza di rischi connessi al riciclo delle acque reflue, tra cui la possibilità di contaminazione dei prodotti agricoli (58%), di dispersione di inquinanti nell'ambiente (33%) e di riduzione della qualità percepita dai consumatori (8%) (Fig. 1).



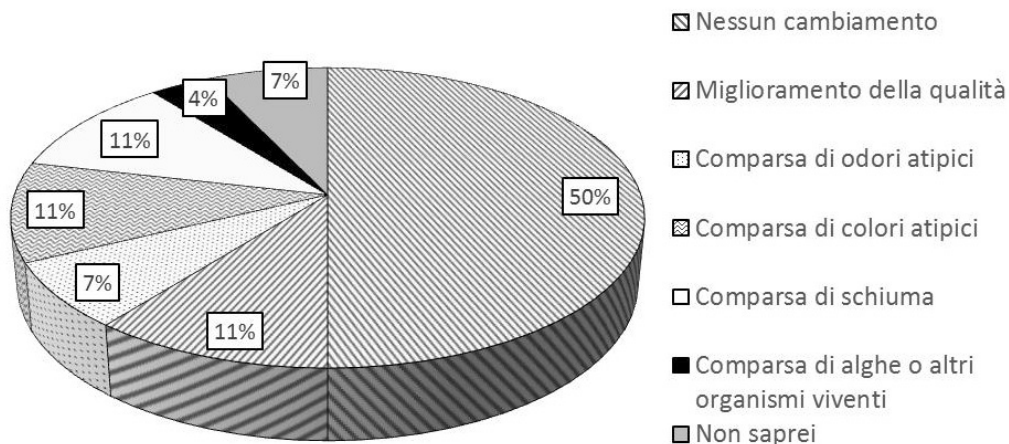
**Fig. 1** – Descrizione dei vantaggi e dei rischi associati al riutilizzo ai fini irrigui delle acque reflue recuperate da parte del campione di agricoltori intervistati

Tra gli intervistati con un titolo di studio inferiore o pari alla licenza media c'è stata una maggiore tendenza ad associare sia rischi che vantaggi al riutilizzo dei reflui mentre coloro che hanno un livello di istruzione pari o superiore al diploma professionale hanno tendenzialmente individuato più vantaggi che svantaggi.

L'84% circa degli intervistati che ritengono ci siano dei rischi giudicano utile la proposta avanzata nel questionario di campionare ogni tre-cinque anni i terreni per misurarne alcuni parametri chiave maggiormente collegati alle pratiche irrigue (nitrati, fosforo, salinità ecc.). Attualmente, comunque, il giudizio sulla qualità delle acque è il seguente: il 52% degli agricoltori dichiara di impiegare delle acque di qualità discreta, il 23% di qualità scarsa e il 3% di qualità pessima. La metà degli agricoltori intervistati non ha riscontrato variazioni della qualità dell'acqua dal 2016, anno in cui l'impianto di trattamento terziario è entrato in funzione. Un altro 11% ha osservato un miglioramento della qualità dell'acqua ricevuta mentre il restante 33% ha notato la comparsa di alterazioni, tra cui schiume, alghe, colori e odori atipici (Figura 2).

In merito alla disponibilità idrica, gran parte degli intervistati non hanno osservato dei cambiamenti da quando l'impianto è diventato operativo, nel 2016, mentre una ridotta percentuale ha notato una maggiore disponibilità idrica nel tempo, anche prima del primo maggio e dopo il 15 settembre.

In merito al livello di sensibilizzazione degli intervistati sul concetto di "uso sostenibile della risorsa idrica in agricoltura", la maggioranza di essi (97%) ha dichiarato necessario dover fare un uso più sostenibile dell'acqua. In particolare, il 70% di questi riconosce che il riutilizzo irriguo delle acque depurate permette di abbattere gli sprechi idrici e i costi energetici, consentendo di recuperare in maniera efficiente una risorsa che altrimenti verrebbe persa.



**Fig. 2** – Osservazioni su cambiamenti nella qualità dell'acqua di irrigazione dall'entrata in funzione del trattamento terziario, nel 2016

### 3. Conclusioni

Il presente studio riporta una sintesi dei dati di monitoraggio del primo impianto di trattamento terziario delle acque reflue civili dell'Emilia-Romagna installato a Reggio Emilia e avviato nel 2016. I risultati delle analisi fisico-chimiche e biologiche effettuate sulle acque trattate durante le prime tre annualità di funzionamento dell'impianto testimoniano di un funzionamento piuttosto costante e corretto dell'impianto. Tuttavia, sarà necessario prestare particolare attenzione al controllo di alcuni parametri che, alla luce dei monitoraggi effettuati, presentano un maggior grado di rischio, tra i quali troviamo il sodio, l'azoto ammoniacale e gli oli minerali.

I risultati dell'indagine svolta sugli utenti che usufruiscono di queste acque per l'irrigazione mostrano che una elevata percentuale era a conoscenza dell'esistenza del trattamento, sebbene solo in pochi siano consapevoli della sua effettiva capacità depurativa. Il giudizio sulla qualità dell'acqua irrigua è risultato piuttosto variabile ma nessuno ha dichiarato di aver dovuto adattare i propri impianti per l'utilizzo delle acque depurate e più della metà non ha riscontrato variazioni né sulla disponibilità né sulla qualità dell'acqua, dichiarandosi soddisfatto dell'attuale gestione del servizio irriguo da parte del Consorzio di Bonifica. Gli agricoltori hanno generalmente associato dei vantaggi al riciclo delle acque reflue, tra cui la possibilità di ridurre i problemi di scarsità idrica, ma anche dei rischi, sia di contaminazione dell'ambiente che di alterazione igienico-sanitaria e qualitativa dei loro prodotti. Va precisato, comunque, che le acque depurate vanno a miscelarsi con quelle provenienti dai fiumi Po e Secchia per cui, man mano che ci si allontana dal depuratore, diventa sempre più difficile distinguere effetti che potrebbero derivare dalla loro immissione nei canali di bonifica; sarà comunque necessario continuare a prestare attenzione alla comparsa di anomalie come odori e colori atipici, alghe o schiume. Inoltre potrebbe essere attivato, a scopo puramente precauzionale, un monitoraggio periodico dei terreni, proposta ampiamente accolta dagli agricoltori, purché questo sia finanziato da enti pubblici. Gli agricoltori, infine, si sono mostrati sensibili al tema del risparmio idrico e favorevoli alla diffusione del riuso delle acque recuperate.

## **Bibliografia**

- [1] COM(2018) 337 final. Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua. Bruxelles, 28 maggio 2018.
- [2] Mantovi P., Ligabue M., Parabita C., Guglielmi L., Zanetti P., Panizzi S. 2017. *LIFE ReQpro - Modello di recupero e riutilizzo delle acque reflue per produzioni vegetali di qualità. Atti del XXI Convegno Ecomondo, Rimini, Italia*

# Analisi economica ed energetica per il trattamento di acque reflue non convenzionali a differenti gradi di purezza

*Michaela Oriolo [michaela.oriolo@feem.it](mailto:michaela.oriolo@feem.it), Tiziana Perri, Filippo Ravoni,  
Fondazione ENI Enrico Mattei (FEEM), Viggiano (PZ)  
Mauro Capocelli  
Università Campus Bio-Medico di Roma, Roma*

## **Riassunto**

*Il crescente deficit delle risorse idriche, in termini di qualità e quantità, è causato sia dalle attività agricole e industriali sia dallo sviluppo urbano che, a sua volta, causa un aumento dei costi per il trattamento delle acque. Oggi le soluzioni sostenibili, in accordo all'Agenda 2030 SDG, si concentrano sulle acque non convenzionali, per le quali in Italia esistono pochi esempi di riutilizzo. In questo lavoro è stata realizzata la progettazione di un impianto pilota per il trattamento ed il riutilizzo di acque reflue industriali al fine di produrre e commercializzare acqua demineralizzata. L'impianto, realizzato sulla base dei principali criteri di progettazione, è costituito da una serie di unità di processo modulari, tali da ottenere in uscita acqua a differente qualità. Sono, inoltre, state effettuate delle analisi energetiche ed economiche con l'obiettivo di valutare la fattibilità dell'impianto in termini di consumo energetico e di sostenibilità economica.*

## **Summary**

*The growing water scarcity, in term of quality and quantity, is caused by both agricultural and industrial activities and by the urban development. This latter, in turn, causes an increase in wastewater treatment costs. Nowadays the sustainable solutions, according to Agenda 2030 SDG's, are focusing on non-conventional waters, for which in Italy there are few examples of reuse. In this work the design of a pilot plant for the treatment and reuse of industrial wastewater was carried out in order to produce and commercialize demineralized water. The plant, proposed with the main criteria of process design, consists of a series of modular process units, so as to obtain different quality water. Furthermore, energy and economic analysis have been carried out with the aim of assessing the feasibility of the plant in terms of energy consumption and economic sustainability.*

## **1. Introduzione**

La carenza di risorse idriche rappresenta attualmente un fattore di preoccupazione per circa 4 miliardi di persone [1], le quali si trovano a vivere in zone in cui l'acqua scarseggia per almeno un mese all'anno. Questo fenomeno, secondo i ricercatori, è destinato a crescere ed aggravarsi [2], tant'è vero che entro il 2040, più di 33 Paesi raggiungeranno una condizione di scarsità idrica estremamente elevata [3]. L'Italia presenta un indicatore di stress idrico (WEI) supe-

riore alla media OCSE (2013) e pari al 24%. Lo stress idrico è causato prevalentemente da:  
— Sprechi. La maggior parte dei paesi del mondo consuma un quantitativo di acqua maggiore della soglia minima del fabbisogno idrico stabilito dalla Organizzazione mondiale della sanità (1700 m<sup>3</sup> pro capite all'anno) [4][5][6];

— Attività antropiche. Più dell'80% delle acque prodotte da attività umane è scaricato in fiumi o mari senza subire trattamento adeguato, incidendo fortemente sul deterioramento di acque superficiali e sotterranee.

E' quindi necessario promuovere una gestione ed un uso equo ed efficiente delle risorse; ridurre al minimo i forti impatti provocati dalle attività umane [7]–[11], migliorare la qualità delle acque incoraggiando la realizzazione di impianti di trattamento tali da garantirne il riciclaggio ed il reimpiego sicuro e promuovere pratiche di riutilizzo di acque non convenzionali secondo i principi di economia circolare. Attraverso un trattamento adeguato, le acque reflue rigenerate possono diventare una delle fonti più importanti di approvvigionamento idrico soprattutto in agricoltura, principale consumatore di acqua nel mondo (più del 70% dei prelievi sono dovuti ad attività agricole [5], [12], [13]). In Italia l'uso in agricoltura di risorse idriche alternative è ancora un nuovo argomento (fatta eccezione per regioni come l'Emilia Romagna e la Toscana), a differenza di paesi come la Germania e gli Stati Uniti (San Diego). Un altro aspetto da valutare riguarda la sostenibilità economica degli impianti di trattamento di acque reflue. I costi di depurazione generalmente dipendono dalle dimensioni dell'impianto, dalla tipologia di trattamento, dalle caratteristiche dei reflui da trattare e dal grado di specializzazione delle attrezzature [5], [14]–[17]. Tra le principali voci di costo rientra il consumo energetico pari a circa il 15-40% [15][17] dei costi totali di esercizio.

## Nomenclatura

C	Concentrazione, $\frac{keq}{m^3}$ or $\frac{mg}{l}$
E	Domanda specifica di energia, $\frac{kWh}{m^3}$
P	Potenza elettrica richiesta dal processo di elettrodeionizzazione, W
P <sub>el</sub>	Potenza elettrica per l'unità di disinfezione UV,
Q	Portata di acqua da trattare, $\frac{m^3}{l}$

## Acronyms & Abbreviations

AOP	Processo di ossidazione avanzata (Advanced Oxidation Process)
EDI	Elettrodeionizzazione
PT	Pretrattamento
WWTP	Impianto di trattamento acque reflue (Waste Water Treatment Plant)

## 2. Relazione

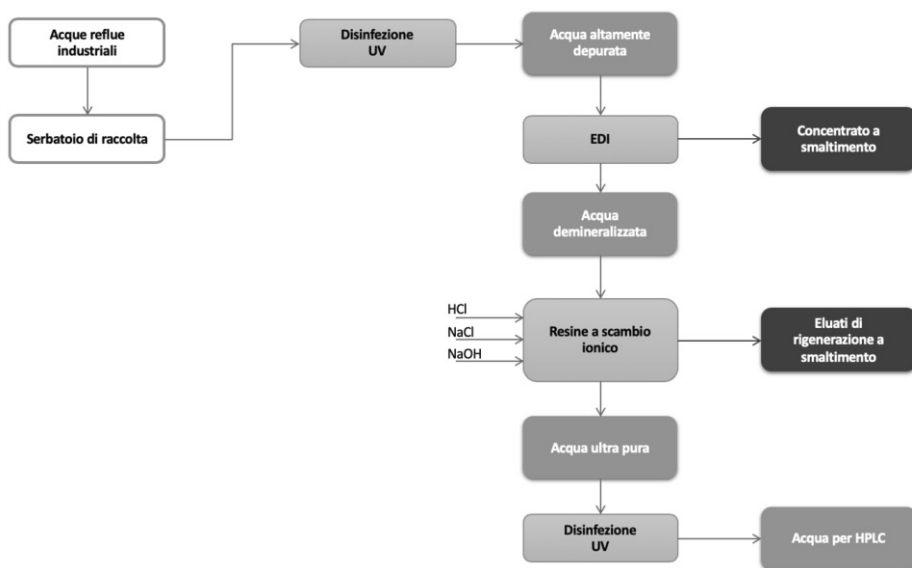
### 2.1 Descrizione e dimensionamento dell'impianto

L'impianto pilota oggetto di questo lavoro è un prototipo di piccole dimensioni, il cui obiettivo è produrre e testare il riutilizzo di acque reflue industriali a vari livelli di purezza. Esso è collegato tramite tubazioni a un impianto di depurazione secondario per il trattamento delle acque di produzione derivanti da attività estrattive di O&G.

L'acqua ottenuta in uscita dall'impianto secondario è inviata in parte al sito industriale ed in parte all'impianto pilota terziario al fine di ridurre ulteriormente la carica di microinquinanti

presenti al suo interno. L'acqua così prodotta potrà essere imbottigliata e commercializzata in diversi mercati di riferimento, promuovendo così un nuovo processo innovativo e circolare. L'impianto (Fig.1) tratta 15 m<sup>3</sup>/giorno di acqua ed è composto da piccole unità modulari ed indipendenti, tra cui:

- Disinfezione UV (I);
- Elettrodeionizzazione (E.D.I);
- Trattamento con resine a scambio ionico;
- Disinfezione UV (II).



**Fig. 1** – Diagramma a blocchi dell'impianto di trattamento

La prima sezione di trattamento con raggi UV permette di abbattere dalle acque contaminate i microrganismi patogeni (virus e batteri) ed i parassiti. In uscita dall'unità si ottiene acqua altamente depurata da inviare all'unità successiva di elettrodeionizzazione, nella quale, mediante delle membrane a scambio ionico, avviene la separazione delle componenti saline e la produzione di acqua demineralizzata. Quest'ultima è inviata ad una sezione di trattamento con resine a scambio ionico al fine di abbattere il contenuto di boro ed altri metalli pesanti disciolti in essa. Segue una seconda unità di trattamento con raggi UV, dove l'acqua ultra pura è trattata in modo tale da ridurre ulteriormente il contenuto microbico. Dal confronto con le caratteristiche chimico-fisiche definite dalle normative, emerge che l'acqua ultra pura è quella più idonea per il riutilizzo irriguo. La progettazione delle singole unità di processo è stata eseguita prendendo in considerazione impianti esistenti costituiti dalle stesse tecnologie di trattamento e seguendo i principali criteri di progettazione. In Tabella 1 si riportano schematicamente i risultati ottenuti dal dimensionamento delle singole unità di processo.



DISINFEZIONE UV (I)		E.D.I		RESINE A SCAMBIO IONICO				DISINFEZIONE UV (II)		
Lampade G36T5L		Membrane RALEX		MAC-3	MARATHON C	IRA 9%	MARATHON 11	Lampade G48T5L		
Intensità media nominale [ $\mu\text{W cm}^{-2}$ ]	7.350	DR [%]	62	Volume di resina [L]	3.045,28	15,88	4.418,6	229,95	Intensità media nominale [ $\mu\text{W cm}^{-2}$ ]	11.760
Dose UV [ $\text{mW s cm}^{-2}$ ]	30	N. di stack	15	Diametro colonna di scambio [m]	2,20	0,160	1,42	0,606	Dose UV [ $\text{mW s cm}^{-2}$ ]	60
Tempo di esposizione nominale [s]	4,74	N. di celle per ogni stack	50						Tempo di esposizione nominale [s]	3,77
Lunghezza lampada [cm]	100	Superficie di membrana [ $\text{m}^2$ ]	1,91						Lunghezza lampada [cm]	120
Diametro lampada [cm]	1,5	Corrente [A]	1,52						Diametro lampada [cm]	1,5
Diametro tubo [cm]	Ca. 4	Lunghezza stack [cm]	10						Diametro tubo [cm]	3,78

**Tab. 1** – Dimensionamento delle unità modulari di processo

## 2.2 Analisi energetica

I processi di trattamento delle acque reflue sono altamente energivori; infatti, oltre al consumo energetico necessario alla realizzazione del trattamento, vi è quello relativo ai processi ausiliari (pompaggio, illuminazione e stazioni di riscaldamento) [19] (circa il 20% dell'energia complessivamente spesa) e allo smaltimento finale dell'effluente; in Australia, ad esempio, questa operazione richiede 0,02 kWh/m<sup>3</sup> [20]. Il consumo energetico è generalmente espresso in kWh di elettricità per ogni metro cubo di acqua trattata o servita [5] ed è tanto maggiore quanto maggiore è la complessità del processo di trattamento. Generalmente, i trattamenti convenzionali delle acque reflue richiedono un consumo di energia tra 0,30 - 0,60 kWh/m<sup>3</sup> [9], [21]–[23]; mentre, i trattamenti terziari ne richiedono 1,15-2 kWh/m<sup>3</sup> [5], [14], [24]. La metodologia di calcolo proposta consente, a partire da un'analisi termodinamica dei processi fisico-chimici, di realizzare bilanci di materia e di energia per ciascuna unità di processo al fine di valutare la sostenibilità energetica dell'intero impianto. Il consumo energetico è, quindi, valutato come somma dei contributi energetici relativi a ciascuna unità operativa (Eq.1):

$$E_{plant} = E_{PT} + E_{UVI} + E_{EDI} + E_{IE} + E_{UVII} \quad (1)$$

Di seguito verrà illustrata la determinazione degli apporti energetici per ogni singola unità.

### 2.2.1 Trattamento secondario

L'acqua in ingresso all'impianto pilota terziario ha già subito un trattamento secondario, il cui consumo energetico, sulla base dei dati forniti da  $Feem$ , è pari a:

$$E_{PT} = 0,66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

### 2.2.2 Disinfezione UV

Per i processi di disinfezione UV è difficile effettuare una stima dei consumi energetici [9] perchè nelle acque da trattare sono presenti alcune sostanze in grado di resistere alla radiazione ultravioletta e, quindi, difficili da uccidere in maniera efficiente. In generale, il consumo

di energia dipende dalle caratteristiche geometriche del reattore di disinfezione, dalle caratteristiche delle lampade UV e dalla qualità dell'acqua da trattare [9]. In media il consumo energetico richiesto dal processo è compreso tra 0,045-0,11 kWh/m<sup>3</sup> [16]. Teoricamente, per tali sistemi la spesa energetica è definita [9], [25] come riportato dalla seguente equazione:

$$E_{UVI} = 0,66 \frac{P_{el}}{Q_{log} \left( \frac{C_i}{C_o} \right)} \quad (3)$$

### 2.2.3 Elettrodeionizzazione

In generale, i processi di elettrodeionizzazione richiedono molta energia (in media tra 0,5 - 1,5 kWh/m<sup>3</sup> [5], [26], [27]); in particolare, il consumo specifico di energia per un trattamento di questo tipo è definito come segue:

$$E_{EDI} = \frac{P}{Q} \times 2.78^{-7} \quad (4)$$

### 2.2.4 Resine a scambio ionico

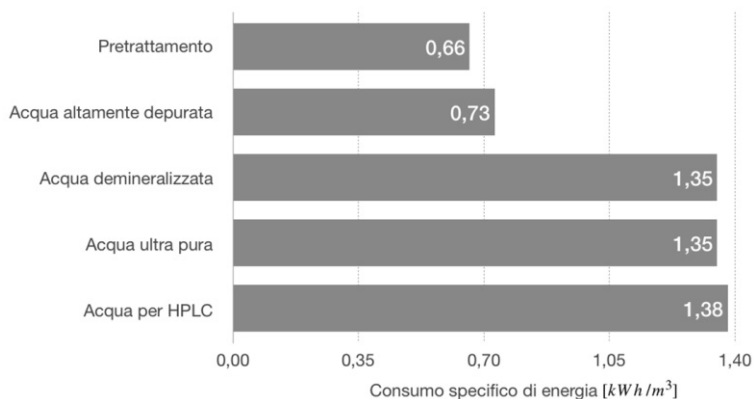
Il processo di scambio ionico ha un fabbisogno energetico operativo minimo legato principalmente alla fase di rigenerazione [28]. In generale, l'energia è richiesta soltanto per il funzionamento di piccole pompe, necessarie per pompare i fluidi a bassa pressione idraulica.

La Tabella 2 mostra i risultati ottenuti dall'analisi energetica per ciascuna unità di processo.

UNITÀ DI PROCESSO	CONSUMO ENERGETICO [kWh/m <sup>3</sup> ]
Pretrattamento	0,66
Disinfezione UV (I)	0,066
Elettrodeionizzazione (E.D.I.)	0,624
Resine a scambio ionico	Trascurabile
Disinfezione UV (II)	0,029

**Tab. 2** – Risultati dell'analisi energetica

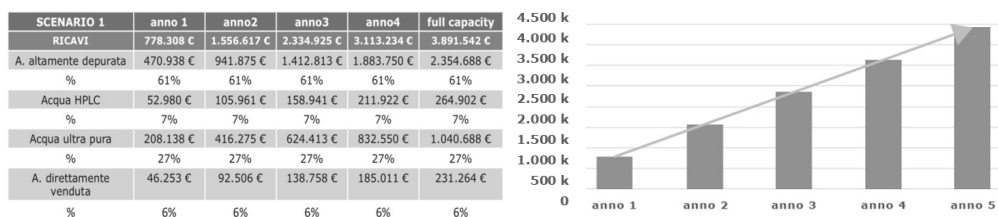
La Figura 2, invece, mostra la relazione esistente tra il consumo specifico di energia richiesto dalle singole unità di processo e le differenti tipologie di acqua prodotte con l'impianto pilota terziario a seconda della specifica destinazione d'uso.



**Fig. 2** – Consumo energetico specifico vs. destinazione d'uso dell'acqua

### 2.3 Analisi economica

Segue l'analisi economica effettuata in relazione alla fase di commercializzazione delle varie tipologie di acqua ottenute dall'impianto pilota terziario all'interno di una filiera corta di produzione. L'obiettivo dell'analisi è la determinazione dei ricavi e dei costi al fine di valutare la fattibilità della filiera anche da un punto di vista economico. Come accennato in precedenza, lo studio è stato effettuato considerando uno scenario con quattro differenti mercati, nei quali allocare il prodotto destinato alla vendita: acqua demi (prodotta dall'impianto di trattamento secondario); acqua altamente depurata; acqua ultra pura e acqua per HPLC. I ricavi sono stati valutati, considerando che il 2% del volume di acqua prodotto dall'impianto secondario è destinato al trattamento ed alla vendita e che il 25% di acqua viene disperso durante il processo di trasformazione nelle altre tipologie di prodotto. L'analisi è stata condotta su un arco temporale di 5 anni, ipotizzando per il primo anno delle revenues al 20% della produzione, per il secondo anno al 40%, per il terzo al 60%, per il quarto all'80% e per il quinto al 100% (full-capacity). Inoltre, l'acqua trattata è stata suddivisa in diverse percentuali in base al mercato di riferimento: 80% acqua altamente depurata; 5% acqua per HPLC e 15% acqua ultra pura. La Figura 3 riporta i ricavi ottenuti per tipologia di prodotto trattato.



**Fig. 3** – Ricavi della filiera

Dopo aver analizzato i ricavi si procede alla valutazione dei costi, suddividendoli in costi operativi (OPEX) e costi di investimento (CAPEX). I primi sono stati calcolati in base ai volumi dei ricavi e vi rientrano il costo del personale (Tabella 3) ed i costi di gestione (Tabella 4); mentre, per i secondi (Tabella 5) le principali voci di costo sono i costi iniziali sull'infrastruttura ed i costi relativi all'impianto di trasformazione.

COSTO DIPENDENTI			
Dipendenti 26	Numero	RAL	Costo azienda
Operai	5	24.000,00 €	120.000,00 €
Autisti autobotti (15 autobotti/mese)	15	48.000,00 €	720.000,00 €
Amministrativi - dipendenti	4	30.000,00 €	120.000,00 €
Amministratore	2	42.000,00 €	84.000,00 €
Totale costi dipendenti			1.044.000,00 €

**Tab. 3 – Costo del personale (OPEX)**

COSTI DI GESTIONE	anno1	anno2	anno3	anno4	full capacity
<b>Ricavi</b>	778.308,48 €	1.556.616,96 €	2.334.925,44 €	3.113.233,92 €	3.891.542,40 €
<b>manutenzione (10% ricavi)</b>	77.830,85 €	155.661,70 €	233.492,54 €	311.323,39 €	389.154,24 €
<b>spese generali (5% ricavi)</b>	38.915,42 €	77.830,85 €	116.746,27 €	155.661,70 €	194.577,12 €
<b>costi energetici (10% Ricavi)</b>	77.830,85 €	155.661,70 €	233.492,54 €	311.323,39 €	389.154,24 €
<b>costi smaltimento rifiuti (10% Ricavi)</b>	77.830,85 €	155.661,70 €	233.492,54 €	311.323,39 €	389.154,24 €
<b>costi monitoraggio qualità acque (10% ricavi)</b>	77.830,85 €	155.661,70 €	233.492,54 €	311.323,39 €	389.154,24 €
<b>Totale COSTI di gestione</b>	<b>350.238,82 €</b>	<b>700.477,63 €</b>	<b>1.050.716,45 €</b>	<b>1.400.955,26 €</b>	<b>1.751.194,08 €</b>
<b>Costi operativi totali</b>	<b>1.394.238,82 €</b>	<b>1.744.477,63 €</b>	<b>2.094.716,45 €</b>	<b>2.444.955,26 €</b>	<b>2.795.194,08 €</b>

**Tab. 4 – Costi di gestione e costi operativi totali (OPEX)**

COSTI INVESTIMENTO INIZIALI SULL'INFRASTRUTTURA		CAPEX
Serbatoio stoccaggio + opere civili	60.000 €	
Quadro elettrico	35.000 €	
Costo infrastruttura	50.000 €	
Opere civili	35.000 €	
Sistema imbottigliamento	20.000 €	
<b>Totale</b>	<b>200.000 €</b>	
COSTI IMPIANTO TRASFORMAZIONE		
Per produrre acqua depurata ed altamente depurata	20.000 €	
Per produrre acqua DEMI	50.000 €	
Per produrre acqua per HPLC ed acqua ultra pura	70.000 €	
<b>Totale</b>	<b>140.000 €</b>	
<b>TOTALE CAPEX</b>	<b>340.000 €</b>	

**Tab. 5 – Costi di investimento (CAPEX)**

È stato, inoltre, ipotizzato che durante il primo anno di attività l'investimento iniziale verrà ripagato in equity. Noti i costi ed i ricavi della filiera, si procede alla valutazione del Margine Operativo Lordo (MOL o EBITDA) al fine di valutare il reddito generato dalla filiera e individuare il punto di pareggio, ovvero il punto in corrispondenza del quale le entrate eguagliano le uscite.

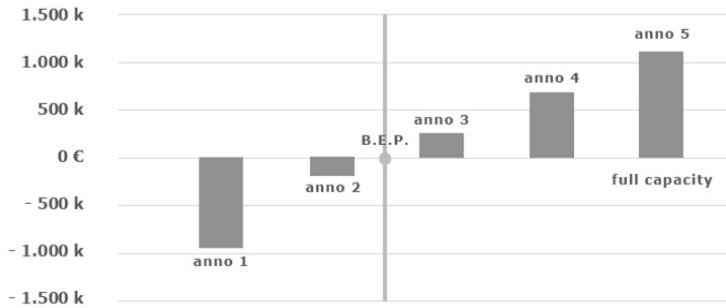


Fig. 4 – Margine Operativo Lordo

### 3. Conclusioni

Nonostante l'acqua sia considerata il bene del 21 secolo, l'uomo continua spropositatamente ad utilizzarla; infatti, circa 4 miliardi di persone al mondo affrontano gravi problemi di stress idrico. In questo lavoro è stato condotto il dimensionamento di un impianto pilota di trattamento terziario destinato ad acque reflue industriali ed alla successiva commercializzazione dei prodotti ottenuti in uscita da ogni unità di processo. L'impianto da realizzare, infatti, è un prototipo ed è costituito da unità di trattamento modulari ed indipendenti tali da produrre diverse tipologie di acqua a vari livelli di purezza. Dal confronto con i limiti imposti dalle normative emerge che l'acqua ultra pura, prodotta dall'unità di trattamento con resine a scambio ionico, è la più idonea ad essere impiegata in agricoltura per l'irrigazione di colture e piante. E' seguita un'analisi energetica ed un'analisi economica in modo tale da valutare la fattibilità e la sostenibilità dell'intera filiera. L'analisi energetica mostra che l'intero trattamento necessita di 1,38 kWh/m<sup>3</sup> di energia, valore al di sotto del limite necessario ai processi di dissalazione (5 kWh/m<sup>3</sup>). Dall'analisi economica, invece, emerge che l'imbottigliamento e la commercializzazione dell'acqua prodotta dall'impianto genererebbero un valore economico pari a circa 780 mila euro il primo anno fino ad arrivare a circa 4 milioni di euro dopo 5 anni, in full capacity. La filiera prevede, inoltre, l'occupazione di 26 dipendenti e dei costi operativi e di investimento rispettivamente pari a 3 milioni di euro (5 anno) e a 340 mila euro. Il punto di pareggio, invece, è raggiunto dopo circa 2 anni e mezzo di esercizio e durante il terzo anno si registra per la prima volta un bilancio positivo pari a circa 240 mila euro.

### Bibliografia

- [1] UNESCO, "United Nations World Water Development Report - Access to safe water : Is the green revolution around the corner?," 2018.
- [2] M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity," *Sci. Adv.*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7, 2016.
- [3] T. Luo, R. Young, and P. Reig, "Aqueduct projected water stress country ranking," 2015.
- [4] P. H. Gleick, "Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs," *Water Int.*, vol. 21, no. 2, pp. 83-92, 1996.
- [5] A. K. Plappally and J. H. V Lienhard, "Energy requirements for water production , treatment , end use , reclamation , and disposal," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 4818-4848, 2012.
- [6] Effetto Serra - Sportello di supporto ai consumi sostenibili ed eco-compatibili, "L'Italia e il consumo dell'acqua." [Online]. Available: [http://www.effettoterra.org/documenti/ambiente/notizie/litalia\\_e\\_il\\_consumo\\_dellacqua.html](http://www.effettoterra.org/documenti/ambiente/notizie/litalia_e_il_consumo_dellacqua.html).
- [7] A. Abramson, A. Tal, N. Becker, N. El-khateeb, and L. Asaf, "Stream restoration as a basis for Israeli-Palestinian cooperation : A comparative analysis of two transboundary streams," *Intl. J. River Basin Manag.*, vol. 8, no. 2010, pp. 39-53, 2010.

- [8] E. M. Adar, L. Margolis, and A. Chaouni, *Bridging the Gap between Available Water and Water Demand: Water Technologies for Agricultural Production in Israel. Chapter in the Book Out of Water - Design Solutions for Arid Regions*. 2015.
- [9] M. Capocelli, M. Prisciandaro, V. Piemonte, and D. Barba, "A technical-economical approach to promote the water treatment & reuse processes," *J. Clean. Prod.*, vol. 207, pp. 85–96, 2019.
- [10] L. Galletti, "Uso sostenibile delle acque e sviluppo di tecnologie pulite per il risparmio idrico," 2003.
- [11] The Dublin Statement on Water and Sustainable Development Adopted, "The Dublin Statement on Water and Sustainable Development Adopted," in *Dublin, Ireland. International Conference on Water and the Environment*, 1992.
- [12] World Bank, "Water resources - Improving services for the poor."
- [13] R. Connor *et al.*, *Water in a changing world*, 3rd Editio. 2009.
- [14] Y. Zhou, D. Q. Zhang, M. T. Le, A. N. Puah, and W. J. Ng, "Energy utilization in sewage treatment - A review with comparisons," *Journal of Water and Climate Change*, vol. 4, no. 1. pp. 1–10, 2013.
- [15] C. Matos, S. Pereira, E. V. Amorim, I. Bentes, and A. Briga-Sá, "Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems - An integrated approach on water quality, energy consumption and CO 2 emissions," *Sci. Total Environ.*, vol. 493, pp. 463–471, Sep. 2014.
- [16] R. B. Soares, M. S. Memelli, R. P. Roque, and R. F. Gonçalves, "Comparative Analysis of the Energy Consumption of Different Wastewater Treatment Plants," *Int. J. Archit. Arts Appl.*, vol. 3, no. 6, pp. 79–86, 2017.
- [17] A. C. Twort, D. D. Ratnayaka, and M. J. Brandt, *Water Supply*, 5th Editio. 2001.
- [18] Metcalf & Eddy, G. Tchobanoglous, F. L. Burton, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 1979.
- [19] P. Gikas, "Towards energy positive wastewater treatment plants," *J. Environ. Manage.*, vol. 203, pp. 621–629, Dec. 2017.
- [20] M. Wakeel, B. Chen, T. Hayat, A. Alsaedi, and B. Ahmad, "Energy consumption for water use cycles in different countries: A review," *Applied Energy*, vol. 178. Elsevier Ltd, pp. 868–885, 15-Sep-2016.
- [21] J. M. Garrido, M. Fdz-Polanco, and F. Fdz-Polanco, "Working with energy and mass balances : a conceptual framework to understand the limits of municipal wastewater treatment," *Water Sci. Technol.*, vol. 3, pp. 2294–2301, 2013.
- [22] Y. Shen, J. L. Linville, M. Urgan-Demirtas, M. M. Mintz, and S. W. Snyder, "An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants ( WWTPs ) in the United States : Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 346–362, 2015.
- [23] J. Wan, J. Gu, Q. Zhao, and Y. Liu, "COD capture: A feasible option towards energy self-sufficient domestic wastewater treatment," *Sci. Rep.*, vol. 6, Apr. 2016.
- [24] H. Gruenspecht, S. Chaudhry, M. Hightower, J. Richenderfer, and J. Wright, "The energy water Nexus: availability and impacts," 2010.
- [25] J. R. Bolton, K. G. Bircher, W. Tumas, and C. A. Tolman, "Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation technologies for both electric- and solar-driven systems," *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, no. 4, pp. 627–637, 2001.
- [26] T. Younos and K. E. Tulou, "Energy Needs, Consumption and Sources," *J. Contemp. Water Res. Educ.*, vol. 132, no. 1, pp. 27–38, May 2009.
- [27] T. Younos and K. E. Tulou, "Energy Needs, Consumption and Sources," *J. Contemp. Water Res. Educ.*, no. 132, pp. 27–38, 2005.
- [28] J. Hardwick and E. Hardwick, "Energy footprint and operating costs, a comparison of ion exchange resin and activated carbon in the application of sugar decolourisation."
- [29] All Consulting, "Water treatment technology fact sheet - Ion exchange."





# WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## AUDIT ENERGETICO E DEL CARBONIO ED EFFICIENZA NEL CICLO IDRICO URBANO: VERSO METODI STANDARD E PRATICHE VERIFICATE

L'audit energetico e del carbonio sono la base per supportare le decisioni volte a raggiungere l'efficienza e l'ottimizzazione nel ciclo idrico urbano. Tuttavia, esso è stato caratterizzato da una sostanziale mancanza di metodi standard europei e nazionali, parametri di riferimento chiari, verifica e certificazione delle prestazioni. Le recenti azioni e iniziative europee e nazionali hanno migliorato le conoscenze e gli strumenti per controllare gli impianti di trattamento delle acque reflue e certificare le prestazioni di efficienza energetica e di carbonio. La sessione presenta i risultati di attività internazionali innovative per verificare, certificare e migliorare l'impronta energetica e di carbonio del trattamento delle acque reflue e del ciclo idrico urbano, anche verso l'ottimizzazione del nesso acqua-energia-carbonio.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Università Politecnica delle Marche, Università degli Studi di Verona, ENEA**

**Presidenti di sessione:**

- Giorgio Bertanza, *Università degli Studi di Brescia*
- Alessandro Spagni, *ENEA*



# Una valutazione integrata per la rimozione sostenibile dell'azoto dalle acque reflue industriali mediante processi biologici decentralizzati

*Roberto Canziani roberto.canziani@polimi.it*<sup>1</sup>, Giovanni Bergna<sup>2</sup>, Roberto Di Cosmo<sup>1</sup>, Giacomo Bellandi<sup>1</sup>, Andrea Turolla<sup>1</sup>, Simone Visigalli<sup>1</sup>, Micol Bellucci<sup>1</sup>, Martina Bargna<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Politecnico di Milano, Milano  
<sup>2</sup>Lariana Depur, Fino Mornasco

## Riassunto

*Nel progetto LIFE DeNTreat è stata sviluppata e applicata una metodologia per condurre una valutazione integrata sulla variazione degli impatti legata all'implementazione di un trattamento decentralizzato per la rimozione dell'azoto da reflui tessili basato su biomasse autotrofe. L'analisi di scenario, strutturata su un approccio modellistico, ha fornito uno strumento efficace per confrontare gli impatti di diverse soluzioni tecnologiche, includendo consumi energetici ed emissioni di gas serra.*

## Summary

*In the LIFE DeNTreat project a methodology for the integrated assessment of the variation of impacts resulting from the implementation of a decentralized treatment for nitrogen removal from textile wastewater based on autotrophic biomass was developed and applied. Scenario analysis, grounded on a modeling approach, provided an effective tool for comparing the impacts of different technological solutions, including energy consumption and greenhouse gas emissions.*

## 1. Introduzione

La recente diffusione della stampa tessile digitale a livello mondiale è da attribuirsi alla grande versatilità rispetto alle tecniche di stampa convenzionali: più rapida, meno costosa, permette piccole produzioni di alta qualità e, inoltre, consente di ridurre i consumi di acqua ed energia elettrica [1]. Tuttavia, questa tecnologia ha lo svantaggio di produrre bagni di risciacquo contenenti alte concentrazioni di composti organici (coloranti e additivi), azoto organico (urea) e ammonio.

Nel distretto tessile di Como, i principali impianti di trattamento delle acque di rifiuto centralizzati ricevono dalle industrie, attraverso il sistema fognario pubblico, le acque di processo. L'uso massiccio di urea nella stampa digitale come additivo per pre-trattare il tessuto causa un notevole aumento del contenuto di azoto (concentrazioni da 150 a 600 mg<sub>N</sub>/L) nelle acque di rifiuto e uno squilibrio complessivo dei rapporti tra COD e azoto nelle acque di fognatura rispetto ai valori convenzionali. Pertanto, nel contesto descritto si pone la doppia problematica dell'autorizzazione allo scarico in fognatura, dal momento che in Italia i limiti per lo scarico

dell'azoto sono posti a  $30 \text{ mg}_N/\text{L}$  con deroghe locali fino a  $100 \text{ mg}_N/\text{L}$ , e del trattamento efficace dei reflui per mezzo di processi biologici convenzionali.

Negli ultimi 20 anni, la rimozione autotrofa dell'azoto mediante processi basati su biomasse anammox è emersa come alternativa sostenibile, in termini di fabbisogno energetico, nel trattamento di reflui [3]. Nella fattispecie, questi processi sono stati applicati con successo ad acque di rifiuto industriali [4], sebbene la loro stabilizzazione sia complicata dalla necessità di disporre di un rapporto COD/N non superiore a circa 3 e dai fenomeni di inibizione dell'attività batterica risultante dalla tossicità delle matrici trattate [5]. In particolare, tali fenomeni di inibizione sono stati osservati in uno studio preliminare svolto su acque reflue tessili provenienti dal medesimo distretto [6].

Il progetto europeo LIFE DeNTreat (<https://www.life-dentreat.eu/>) è finalizzato a dimostrare la fattibilità dell'applicazione di un processo basato su biomasse anammox (processo a stadio singolo combinato di nitrificazione parziale e anammox, PN/anammox) per il trattamento decentralizzato di acque di rifiuto della stampa tessile digitale nel distretto tessile di Como. Nel corso del progetto è stato sviluppato un impianto pilota SBR del volume di  $10 \text{ m}^3$  in grado di trattare una piccola aliquota dell'effluente di una vasca di equalizzazione da  $1200 \text{ m}^3$  in cui vengono raccolte le acque di rifiuto di una delle industrie tessili del distretto. Parallelamente all'implementazione efficace del processo, sfidante da un punto di vista tecnologico per via delle condizioni operative non ottimali, una parte consistente delle attività ha riguardato la valutazione dell'effettiva sostenibilità dell'implementazione del trattamento decentralizzato in comparazione alla situazione esistente. In questo senso, nel presente contributo, appare fondamentale dare risalto alla metodologia sviluppata per confrontare le due alternative tecnologiche così da evidenziarne i benefici sugli impatti generati dal processo innovativo, in primo luogo in termini di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra.

## 2. Relazione

### 2.1 Metodologia

La metodologia per il confronto delle due alternative tecnologiche, sostanzialmente differenti per la presenza dell'impianto di trattamento decentralizzato all'interno dell'industria tessile a monte dello scarico delle acque di rifiuto in fognatura, è stata sviluppata combinando diversi strumenti:

- (1) Sviluppo di modelli appropriati e simulazione delle alternative tecnologiche,
- (2) Determinazione di indicatori di performance e confronto delle alternative tecnologiche.

#### 2.1.1 Sviluppo di modelli appropriati e simulazione delle alternative tecnologiche

Nel corso di questa fase sono stati identificati due scenari di simulazione:

– **Scenario 0 (business as usual)**: trattamento delle acque di rifiuto per mezzo dell'impianto di trattamento convenzionale che collette il sistema fognario pubblico a cui afferisce l'industria tessile, i cui scarichi non sono depurati a piè di impianto e sono concessi in deroga alla normativa vigente. Il carico di azoto in ingresso all'impianto di trattamento è di circa  $80.000 \text{ kg}_N/\text{anno}$ ;

– **Scenario 1**: trattamento preliminare delle acque di rifiuto dell'industria tessile (su base giornaliera circa  $1.000 \text{ m}^3$  e  $150\text{-}200 \text{ kg}_N$ , a seconda dei bagni di risciacquo delle diverse tipologie di tessuti, per un totale di circa  $60.000 \text{ kg}_N/\text{anno}$ ) per mezzo del processo PN/anammox seguito da trattamento degli scarichi convogliati dal sistema fognario pubblico attraverso l'impianto di trattamento convenzionale. Nell'analisi è approfondito sia il caso studio del progetto

LIFE DeNTreat, in cui è sviluppato un impianto pilota in grado di trattare 40 m<sup>3</sup>/giorno, che l'ipotesi di applicare il processo alla totalità delle acque di rifiuto scaricate dall'industria tessile.

In entrambi gli scenari è stato simulato l'impianto di trattamento convenzionale in cui avviene la rimozione biologica dell'azoto per mezzo di un approccio modellistico basato sul lavoro di Barker e Dold (1997) [7] e sviluppato per mezzo del software commerciale BioWin (Enviro-Sim). La modellazione è stata effettuata a partire dai dati di operatività relativi a un periodo di un mese (settembre 2017) considerato rappresentativo del funzionamento abituale dell'impianto. L'impianto pilota per la rimozione autotrofa dell'azoto per mezzo del processo PN/anammox condotto su biomassa granulare è stato modellato utilizzando il medesimo software e adattando il tool dedicato a reattori sequenziali con biomasse granulari (Granular Sludge Sequencing Tank, GSST). Questo tool, sviluppato a partire dal lavoro di Takács, et al. (2007) [8], modella il fango granulare come un biofilm mono-dimensionale mentre la sedimentazione dei solidi sospesi nel corso delle fasi non aerate e non miscelate di processo è basata su un modello di flusso per solidi mono-dimensionale. All'interno di questo schema modellistico, il funzionamento ciclico dell'impianto pilota SBR è stato simulato in maniera da riprodurre due diverse modalità operative del dispositivo esistente e assumendo all'ingresso i valori medi di qualità (temperatura, COD, BOD, TSS, specie azotate, ...) derivanti da una campagna di monitoraggio dell'acqua di rifiuto scaricata nella vasca di equalizzazione dell'industria tessile. Per quanto riguarda i parametri modellistici, sono stati in prima istanza assunti i valori di default previsti dal software, ad eccezione di quei valori per cui le peculiarità del processo richiedevano un adattamento specifico, tra cui lo spessore e il numero di strati previsti per la modellazione del biofilm, il tasso di crescita dei batteri eterotrofi e la loro costante di semi-saturazione rispetto all'ossigeno disciolto. Oltre ai parametri appena citati, nel corso della modellazione è stato necessario prestare particolare attenzione alla definizione dei parametri relativi al trasferimento di massa dell'ossigeno e alla velocità di sedimentazione dei granuli all'interno del reattore.

### *2.1.2 Determinazione di indicatori di performance e confronto delle alternative tecnologiche*

I principali indicatori di performance sono stati valutati per i due scenari investigati a partire dai risultati delle simulazioni e includono i consumi energetici, le emissioni di gas serra, i consumi di reagenti (considerando solamente le variazioni occorrenti tra i diversi scenari) e la produzione di fanghi di depurazione. Per quanto non riportato per brevità, è stata effettuata un'analisi di sensitività per tali indicatori in riferimento al cambiamento delle condizioni operative negli impianti.

## *2.2 Risultati e discussione*

I risultati mostrati nel presente lavoro rappresentano un obiettivo intermedio del progetto LIFE DeNTreat, consistente nell'analisi preliminare, condotta per mezzo di strumenti modellistici, degli impatti generati dal trattamento decentralizzato delle acque di rifiuto per mezzo di biomasse autotrofe nel contesto di riferimento. La validazione dei risultati ottenuti con gli strumenti modellistici proposti, basata su campagne di misure sperimentali, è prevista per le fasi successive del progetto, così come un'ulteriore valutazione dei risultati ottenuti alla luce di eventuali modificazioni.

### *2.2.1 Sviluppo di modelli appropriati e simulazione delle alternative tecnologiche*

Una volta messo a punto il modello per l'impianto pilota, risolvendo le criticità relative alla calibrazione, è stato possibile simulare la fase di avvio del reattore fino al raggiungimento di condizioni stazionarie. Secondo le previsioni modellistiche, questo stadio richiede almeno

65 giorni prima di raggiungere efficienze di rimozione approssimativamente del 75% sulle concentrazioni di ammonio in uscita dal reattore, così da ottenere valori di circa 50 mg/L. Questi risultati, qualora confermati, permetterebbero di evidenziare la possibilità di risolvere uno degli aspetti problematici, ovvero il superamento dei limiti per lo scarico dell'azoto in fognatura.

È importante rilevare che i risultati sulle efficienze di rimozione generati dalle simulazioni dinamiche dipendono dall'abbondanza relativa delle diverse specie batteriche all'interno dei granuli predetta dal modello. In particolare, lo strumento modellistico sviluppato permette di simulare il profilo di composizione del biofilm nel corso dei periodi di operazione del reattore. Nella fattispecie, al raggiungimento dello stato stazionario, il modello ipotizza una predominanza di batteri eterotrofi (300 mg<sub>COD</sub>/L) nello strato esterno del biofilm, mentre la concentrazione di batteri anammox aumenta negli strati più profondi, fino a raggiungere valori di 450 mg<sub>COD</sub>/L. Questi risultati, che sono presentati in Figura 1, sono determinati verosimilmente dalla concentrazione estremamente ridotta di ossigeno disciolto attesa negli strati più profondi del biofilm, risultante da limitazioni diffusive, in grado di avvantaggiare la biomassa anammox. Nel corso del progetto LIFE DeNTreat, grazie alla collaborazione con il progetto TRETILE, finanziato da Fondazione Cariplo, le previsioni modellistiche saranno verificate con analisi microbiologiche delle comunità batteriche dei granuli.

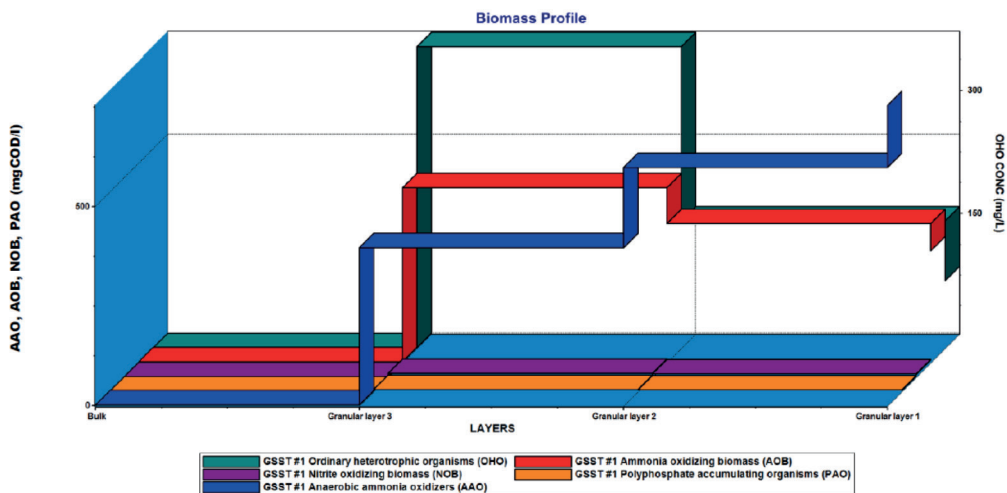


Fig. 1 – Profilo di concentrazione delle specie batteriche simulato allo stato stazionario.

### 2.2.2 Determinazione di indicatori di performance e confronto delle alternative tecnologiche Consumi energetici

I consumi energetici previsti dalla modellazione si riducono da 1.026.600 a 874.500 kWh/anno passando dallo scenario 0 allo scenario 1, ovvero del 15% circa, considerando il trattamento della totalità degli scarichi dell'industria tessile studiata, caratterizzata da dimensioni significative.

### Emissioni di gas serra

Per questioni di rilevanza, l'analisi è concentrata sull'emissione di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), gas serra con un Global Warming Potential (GWP) riportato nell'Assessment Report 4 redatto dall'IPCC di 298 gCO<sub>2</sub> eq/gN<sub>2</sub>O basandosi su un orizzonte temporale di 100 anni. Secondo l'analisi modellistica, l'impianto pilota dovrebbe risultare in un'emissione di circa 0.045 kgN<sub>2</sub>O/giorno, corrispondente all'emissione annuale di circa 16 kgN<sub>2</sub>O qualora la totalità

delle acque di rifiuto dell'industria tessile venisse trattata con il processo PN/anammox. D'altronde, è necessario sottolineare che le emissioni di  $N_2O$  generate dal processo PN/anammox sono ancora oggetto di studio e i parametri dei modelli emissivi risentono di incertezze non trascurabili. Tra l'altro, all'interno di consorzi microbici complessi come quelli presenti nelle biomasse granulari utilizzate, la produzione di  $N_2O$  può essere legata ad altre specie presenti oltre ad anammox, come i batteri ammonio-ossidanti. La letteratura riporta rapporti tra la massa di  $N_2O$  emessa e la massa totale di azoto in ingresso diversi, tra cui 0,4% - 2% [9-10] e 0,2% - 0,5% [11]. Queste differenze sono da imputarsi all'importante influenza sulle emissioni delle condizioni operative (rapporto C/N, configurazione reattoristica, carico di azoto in ingresso, concentrazione di ossigeno disciolto, tipologia di controllo del processo, adattamento della biomassa, composizione del consorzio microbico, ...). Pertanto, appare necessario rafforzare la previsione modellistica per mezzo di campagne di misurazione sperimentali, anch'esse previste all'interno delle attività di progetto.

Per quel che concerne l'impianto di trattamento convenzionale nei due scenari di funzionamento, il modello permette di stimare dei fattori emissivi ridotti da 0.24%±0.25% a 0.11%±0.25% passando dallo scenario 0 allo scenario 1. Questi valori sono confermati in letteratura dal lavoro di Baresel et al. (2016) [12] condotto su un impianto a fanghi attivi convenzionali e inferiori del 50% rispetto a quelli riportati da Peu et al. (2006) [13] per un impianto simile operato con cicli di aerazione alternati.

#### Consumi di reattivi

Allo stato attuale di funzionamento, descritto dallo scenario 0, l'operatività efficiente dell'impianto di trattamento convenzionale richiede il dosaggio di carbone esterno addizionale per permettere la realizzazione del processo di denitrificazione. Circa 24  $kg_{COD}/ora$  sono dosati come substrati organici (tra glicerina, glicerolo e acetato) per riequilibrare il rapporto C/N a un valore di circa 6. L'implementazione dello scenario 1, risultante nella riduzione del carico di azoto in ingresso all'impianto e nella conseguente modificazione del rapporto C/N fino a valori di 12, permette di evitare il dosaggio dei reagenti e un risparmio economico risultante di circa 70.000 €/anno.

#### Produzione di fanghi

La quantità di fanghi prodotti varia da 558  $kg_{TSS}/giorno$  per lo scenario 0 a 418  $kg_{TSS}/giorno$  per lo scenario 1. Nel corso delle attività di progetto è prevista una riduzione del 3% circa dei fanghi.

In sintesi, gli indicatori di performance stimati a partire dai risultati delle simulazioni evidenziano una sostanziale modificazione degli impatti relativi al trattamento delle acque di rifiuto nei due scenari, come riassunto in Tabella 1. In relazione agli impatti previsti per l'impianto pilota, questi saranno verificati attraverso misurazioni puntuali nelle fasi successive di progetto.

	<b>Impianto pilota progetto LIFE DeNTreat</b>	<b>Trattamento completo delle acque di rifiuto</b>
Consumi energetici	-2%	-15%
Emissioni di gas serra	-6% su $N_2O$	Da stimare in relazione alle condizioni operative
Consumo di reattivi	-4%	-100%
Produzione di fanghi	-3%	-25%

**Tab. 1** – Variazione degli indicatori di performance dallo scenario 0 allo scenario 1 simulati nel caso di applicazione del processo PN/anammox limitata all'impianto pilota sviluppato nel progetto LIFE DeNTreat e al trattamento completo delle acque di rifiuto.



### 3. Conclusioni

Il lavoro riporta lo sviluppo e l'applicazione di una metodologia per condurre una valutazione integrata sulla variazione degli impatti legata all'implementazione di un trattamento decentra- lizzato per la rimozione dell'azoto da reflui tessili basato su biomasse autotrofe. Si conclude che:

– La metodica presentata, basata su un approccio modellistico combinato a un'analisi di sce- nario, appare solida e affidabile. La metodica consente di valutare l'influenza delle condizioni operative sui risultati nonché di approfondire casistiche diverse e la dinamicità dei processi coinvolti.

– La valutazione integrata indica ottimi esiti sugli indicatori di impatto, tanto da poter affer- mare che l'alternativa tecnologica proposta rappresenta una soluzione sostenibile ai problemi del contesto studiato, consentendo verosimilmente non solo benefici ambientali ma pure so- ciali ed economici.

Le successive attività riguarderanno la validazione modellistica e la verifica dei risultati otte- nuti con campagne sperimentali. Infine, la valutazione sarà corredata da analisi del ciclo di vita (LCA).

### Ringraziamenti

Il lavoro è stato supportato da finanziamenti della Commissione Europea (progetto 'LIFE DeNTreat', LIFE16ENV/IT/000345) e di Fondazione Cariplo (progetto 'TRETILE', 2017 – 1009).

### Bibliografia

- [1] **Global Industry Analysts Inc.**, "(MCP-6171) Textile printing – Market analysis, trends, and fore- casts (2018)"
- [2] **Hu, Z., Lotti, T., van Loosdrecht, M.C.M., Kartal, B.**, *Nitrogen removal with the anaerobic ammo- nium oxidation process*, *Biotechnology Letters* 35, 1145-1154 (2013).
- [3] **Lotti, T., Scaglione, D., Teli, A., Canziani, R., Ficara, E., Malpei, F.**, *Rimozione completamente auto- trofa dell'azoto: passato, presente e futuro*, *Ingegneria dell'Ambiente* 1, 3-26 (2014).
- [4] **Lackner, S., Gilbert, E.M., Vlaeminck, S.E., Joss, A., Horn, H., van Loosdrecht, M.C.M.**, *Full-scale partial nitrification/anammox experiences - An application survey*, *Water Research* 55, 292-303 (2014).
- [5] **Li, J., Li, J., Gao, R., Wang, M., Yang, L., Wang, X., Zhang, L., Peng Y.**, *A critical review of one-sta- ge anammox processes for treating industrial wastewater: optimization strategies based on key functional microorganisms*, *Bioresource Technology* 265, 498-505 (2018).
- [6] **Scaglione, D., Lotti, T., Menin, G., Niccolini, F., Malpei, F., Canziani R.**, *Complete autotrophic pro- cess for nitrogen removal from ink-jet printing wastewater*, *Chemical Engineering Transactions* 49 (2016).
- [7] **Barker, P.S., Dold, P.L.**, *General model for biological nutrient removal activated-sludge systems: mo- del presentation*, *Water Environment Research* 69, 969-984 (1997).
- [8] **Takács I., Bye C.M., Chapman K., Dold P.L., Fairlamb P.M., Jones R.M.**, *A biofilm model for engi- neering design*, *Water Science and Technology* 55, 329-336 (2007).
- [9] **Castro-Barros, C.M., Daelman, M.R., Mampaey, K.E., van Loosdrecht, M.C., Volcke, E.I.P.**, *Effect of aeration regime on N<sub>2</sub>O emission from partial nitrification-anammox in a full-scale granular sludge reac- tor*, *Water Research* 68 793-803 (2015).
- [10] **Law, Y., Ye, L., Pan, Y., Yuan, Z.**, *Nitrous oxide emissions from wastewater treatment processes*, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367 1265–1277 (2012).
- [11] **Jia, M., Castro Barros, C.M., Winkler, M.K., Volcke, E.**, *Effect of organic matter on the performance and N<sub>2</sub>O emission of a granular sludge anammox reactor*, *Environmental Science: Water Research and Technology* 4 1035–1046 (2018).

- [12] **Baresel, C., Andersson, S., Yang, J., Andersen, M.H.**, *Comparison of nitrous oxide ( $N_2O$ ) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations*. Advances in Climate Change Research 7 185-191 (2016).
- [13] **Peu, P., Beline, F., Picard, S., Heduit, A.**, *Measurement and quantification of nitrous oxide emissions from municipal activated sludge plants in France*. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> IWA World Water Congress, 10 – 14 September 2006, Beijing, China.



# WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## BARRIERE E SOLUZIONI PER LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI FANGHI SOSTENIBILI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

La sostenibilità tecnica, economica ed ambientale della gestione dei fanghi di depurazione è diventata un problema primario per la gestione dei sistemi idrici urbani. Recenti criticità nazionali oggettive, relative alla gestione di grandi quantità di fanghi hanno notevolmente accelerato l'azione legislativa e operativa per l'applicazione di soluzioni eco-sostenibili, innovative e localmente idonee allo scopo. La presente sessione concorre a delineare l'attuale quadro legislativo, concentrandosi sulle caratteristiche reali e sugli impatti osservati della gestione dei fanghi utilizzando soluzioni innovative.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, IRSA-CNR, Università Politecnica delle Marche, Università degli Studi di Brescia, UTILITALIA**

**Presidenti di sessione:**

- Camilla Braguglia, *IRSA-CNR*
- Paolo Giacomelli, *UTILITALIA*



# Thermal Hydrolysis Process for effective and sustainable sludge treatment at sludge centers

*Davide Ferraro<sup>1</sup> [davide.ferraro@cambi.com](mailto:davide.ferraro@cambi.com); Ashish Sabu<sup>2</sup>; Alejandro Jimenez<sup>3</sup>; Torleiv Næss Ugland<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>Cambi Group AS, Asker (NO), <sup>2</sup>[ashish.sabu@cambi.com](mailto:ashish.sabu@cambi.com) Cambi Group AS, Asker (NO), <sup>3</sup>[alejandrojimenez@cambi.com](mailto:alejandrojimenez@cambi.com), Cambi Group AS, Asker (NO), <sup>4</sup>[tu@verdieniavfall.no](mailto:tu@verdieniavfall.no), HØST Verdien i Avfall AS, Grimstad (NO)*

## Summary

*For several small towns in close proximity equipped with wastewater treatment plants (wwtpps), a common Sludge Treatment Center (STC) has been found to be a cost effective and a practical solution for sustainable sludge management. Sustainable sludge management is achieved when dewatered sludge from wwtpps are treated anaerobically to produce bioenergy. In order to speed up the anaerobic digestion process, the use of thermal hydrolysis process (THP) is used as an effective pretreatment. The aim of this paper is to present the benefits for sludge treatment by applying a THP before anaerobic digestion.*

*Cambi is currently the world leader in Thermal Hydrolysis Process (THP) technology and has more than 60 plants all around the world since 1995. THP has been proven for increasing biogas production, increase the sludge load to existing digesters, and generating a low volume of non-odorous, well dewatered, homogenous and pathogen free biosolids. This in turn reduces the overall carbon footprint of several wwtpps and the biosolids can be further used as soil conditioners for agricultural purpose. This has been tried in the UK where nearly 45% of UK sludge is treated by CambiTHP technology.*

*By importing sludges in a single plant (STC) and treating them with THP followed by advanced anaerobic digestion, is an effective way to increase sludge valorisation. The centralised STC solution has been successfully applied by 14 Cambi plants in Europe, Asia and Australia.*

*Spreading high quality biosolids on land is the cheapest and most sustainable way for sludge disposal.*

*A big part of the opposition to agricultural reuse of biosolids has been based upon the appearance and the odour of the product. This study will bring to the attention the experience of applying Cambi biosolids to agriculture and to the characteristics of the cake.*

## Riassunto

*Per diverse piccole città nelle immediate vicinanze dotate di impianti di trattamento delle acque reflue (wwtpps), un centro di trattamento dei fanghi (STC) comune è risultato essere una soluzione economica e pratica per la gestione sostenibile dei fanghi. La gestione sostenibile dei fanghi si ottiene quando i fanghi disidratati dai depuratori (wwtpps) vengono trattati anaerobicamente*

*per produrre bioenergia. Al fine di accelerare il processo di digestione anaerobica, l'uso del processo di idrolisi termica (THP) viene utilizzato come pretrattamento efficace. Lo scopo di questo documento è presentare i benefici del trattamento dei fanghi applicando un THP prima della digestione anaerobica.*

*Cambi è attualmente il leader mondiale nella tecnologia THP (Thermal Hydrolysis Process) e dal 1995 ha oltre 60 impianti in tutto il mondo. Il processo THP ha dimostrato di aumentare la produzione di biogas, aumentare il carico di fanghi per i digestori esistenti e generare un volume ridotto di biosolidi non odorosi, ben disidratati, omogenei e senza patogeni. Ciò a sua volta riduce il Carbon Footprint complessivo di diversi wwtps e i biosolidi possono essere ulteriormente utilizzati come ammendanti per scopi agricoli. Questo è stato provato nel Regno Unito, dove quasi il 45% dei fanghi del Regno Unito è trattato con la tecnologia CambiTHP.*

*Importando i fanghi in un singolo impianto (STC) e trattandoli con il sistema THP seguito da digestione anaerobica avanzata, è un modo efficace per valorizzare i fanghi. La soluzione STC centralizzata è stata applicata con successo da 14 stabilimenti Cambi in Europa, Asia e Australia.*

*Spandere biosolidi di alta qualità sui terreni è il modo più economico e sostenibile per smaltire i fanghi.*

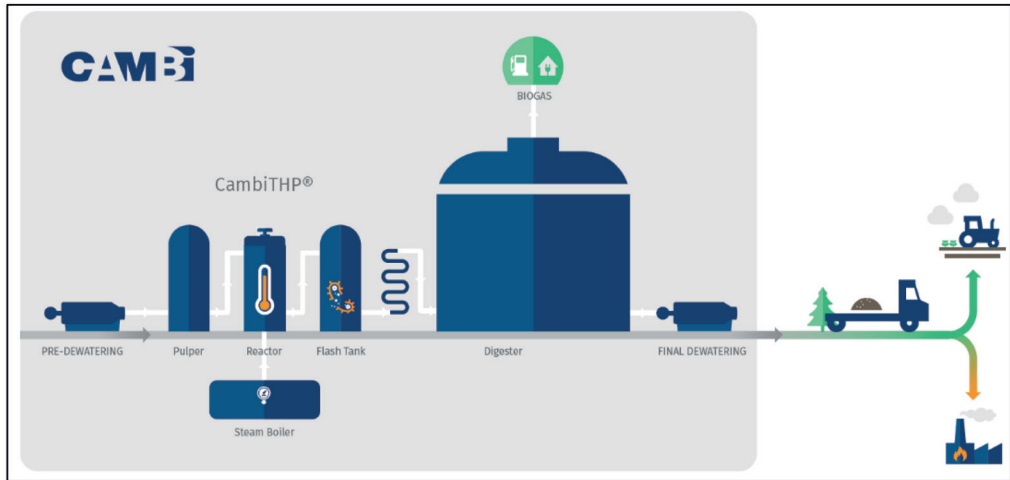
*Gran parte dell'opposizione al riutilizzo agricolo dei biosolidi si è basata sull'aspetto e sull'odore del prodotto. Questo studio porterà all'attenzione l'esperienza dell'applicazione dei biosolidi Cambi in agricoltura e alle caratteristiche del fango.*

## **1. Introduction**

Wastewater treatment plant (wwtp) yields two by-products, treated water, which is either reused or discharged to near water bodies based on regulations and second, sludge, which needs further treatment for safe disposal. Sludge a gelatinous mixture of water and particles, which carry pathogens and require further treatment for disposal to the environment. There are several ways of treating sludge, anaerobic digestion, liming, pyrolysis, incineration, and each of these treatments has its own pros and cons in terms of treatment, and overall lifecycle costs (CAPEX and OPEX). Amongst these, anaerobic digestion is the oldest most sustainable way of treating sludge ([1] Ariunbaatar, *et al.*, 2014), which is a biological process and the end products are bioenergy (biogas) and digested sludge. This paper will focus on sustainable treatment of sludge using advanced anaerobic digestion (AAD).

There are several unit operations in AAD treatment train, pre-dewatering of sludge from wastewater treatment plant, thermal hydrolysis, anaerobic digestion, final dewatering and biogas handling. All these unit operations in the process line is termed as sludge treatment line (Figure 1).





**Fig. 1** – Sludge treatment line showing the different unit operations

## 2. Sludge Treatment Line

Sludge from conventional wastewater treatment plants are from primary and secondary treatment, aka, primary sludge (PS) and secondary sludge (SS) / waste activated sludge (from biological treatment using activated sludge process), respectively, or mixed sludge (PS and SS), which are treated in a sludge treatment line ([2] Barber, 2012). In anaerobic digestion, microorganisms biodegrade the sludge in four steps (hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, methanogenesis) and the products obtained are biogas and digested sludge. Hydrolysis is a rate limiting step and there are several technologies that can be implemented to speed this reaction ([1] Ariunbaatar, *et al.*, 2014) and thermal pre-treatment is one of them. This paper will focus on thermal hydrolysis process (THP) as a pre-treatment step before anaerobic digestion.

Thermal pre-treatment modifies the sludge flock and improves the degradability of the sludge, by destroying chemical bonds in the cell wall and membrane of the bacteria and in addition carbohydrate, lipids and proteins can become more accessible to biological degradation ([3] Hanjie, 2010). Thus, thermal hydrolysis is one of the important unit operations in advanced anaerobic digestion (AAD) process. The THP consists of three units in this process: Pulper, Reactors, Flash Tank. Raw sludge is dewatered to 16-18 % dry solids (DS) and is continuously fed into the pulper to be mixed and heated by recycled steam. The released process gases are compressed and treated biologically in the anaerobic digesters. Thermal hydrolysis takes place in reactors at 165°C for 20-30 minutes. The sterilized sludge is then passed rapidly to the flash tank, resulting in cell destruction from the pressure drop. The sludge is cooled to the required digestion temperature partly by adding dilution water and partly in heat exchangers. The sludge from THP is followed by anaerobic digestion for biogas production and biogas is further for combined heat and power.

Cambi is one of the thermal hydrolysis process (THP) technology provider with 85% global market share with 64 installations in 22 countries. About 34% of the entire UK sludge is currently handled by Cambi. Cambi installations are in large cities such as London, UK; Washington DC, United States; Singapore; Beijing, China and also in smaller locations such as Medina, OH, USA; Hamar, Norway; Vilnius, Lithuania, to name a few. CambiTHP can treat 400 tDS/d to 20 tDS/d.

### 3. Benefits of AAD

While applying thermal hydrolysis process (THP) prior to conventional anaerobic digestion, there are several benefits ([4] Barber, 2016). Studies and full scale installations have revealed on implementing the THP compared to conventional process yields increased digester throughput, upto tripling their capacities, thus reducing the number of digesters in new greenfield projects or optimising the current assets in brownfield projects thus increasing the overall capacity of sludge treatment. The design of THP is also based on modularity, i.e. to increase the treatment plant capacity the number of reactors in THP can be increased.

Higher biogas production up to 50% is achieved depending on the feedstock, whether it is primary sludge and/or secondary sludge. One of the primary objectives on implementing the THP is to improve dewaterability of the sludge, which is greatly improved. On dewatering of digested sludge, lower volume of biosolids are produced, with higher dry solids content, which can be easily stored or hauled away. The biosolids have low odour and the end product is guaranteed with pathogen kill to achieve sterilised biosolids. These biosolids can be used as a soil conditioner or organic fertiliser as demonstrated by several utilities worldwide.

The implementation of THP results in overall lower lifecycle costs both in terms of CAPEX and OPEX, Capex is reduction in number of digesters to be built, if footprint is the driver, THP can act like a catalyst for sludge treatment thus saving land space. Less sludge needs to be transported, which reduces the overall carbon and ecological footprint. There is lower energy costs as higher bioenergy is produced, which in turn, can be used to run the plant with bioenergy produced and even excess bioenergy can be sold as a product as electricity back to the grid as exhibited by a few ([5] Hackett, 2018).

Biosolids, which is odour free and pathogen free have been classified as Class A biosolids by US Environmental Protection Agency (USEPA). This is achieved with AAD. Biosolids of this nature can be land applied or converted into fertiliser. This has been done by large utilities such as DC Water, Washington DC and sold as commercial product known as Bloom, while in the UK, several utilities have used biosolids for land application. Another enterprising company, Høst a leading waste management company convert biosolids into pellets, which are easily transportable and can be stored and exported as a product as fertiliser and sold to farmers around the world. To convert it to fertiliser solar drying technology is implemented. This eliminates landfill and incineration operation for biosolids.

### 4. Sludge Management

Sludge can either be treated onsite (at the wwtp facility, which generates the sludge) or offsite, which is decentralised sludge treatment center (STC) and this is possible when the wwtp facility are small and generate small quantities of sludge and is not profitable to have an entire sludge treatment line. Depending on the distances, some small wwtp also send their sludge to a larger wwtp, which has the existing sludge treatment line. In a decentralised STC, sludge from nearby wwtps are dewatered and stored in a silo, where it further undergoes treatment using AAD.

Often it happens, there are several different owners of wwtps with independent budgets and governance and one of the major challenges is to gather them under one umbrella to design, build and operate a STC. There are several examples in Europe, especially in UK, where several wwtps are owned by a single operator and they adopt the strategy on decentralised STC to achieve optimisation on assets i.e. to save on equipment costs and operational expenditures as shown in Table 1.

A single STC is able to optimise the assets as shown in Table 1. In this example, Plant 1 because of its low sludge volume production cannot implement a THP as its cost prohibitive

and this problem can be solved with a common decentralised STC, which will require a reception facility and an external large silo is implemented. The total number of equipment (THP and ancillaries) needed for each plant will also be reduced.

	Individual wwtps				Total		STC
	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4			New Plant
Reception facility	No	No	No	No			Yes
External sludge silo	No	No	No	No			Yes
tDS/d	6	26	14	12	58		58
THP	None	B4-3	B2-4	B2-3			B6-4
Steam boiler	None	1	1	1	3		1
Pre-dewatering	None	1	1	1	3		1
Digester cooler	None	1	1	1	3		1
Class A	No	Yes	Yes	Yes			Yes
Reject water treatment	No	Yes	Yes	Yes			To be built

**Tab. 1 – Optimisation of assets between individual wwtps and sludge centre equipment**

In the past, several wwtp utilities in Europe adopted sludge treatment strategies which were heavily reliant on energy intensive processing such as drying. However, increasing energy costs, mounting importance of nutrient recovery and growing influence on sustainability and carbon footprint reduction drivers led to new sludge treatment strategies ([2] Barber, 2012). As a consequence, in the UK, many drying plants have been shut down due to high carbon footprint and energy requirements to accommodate the new strategies. There are several examples in the real world who have implemented STC and these are summarised in Table 2.

#	Reference Name	Plant Owner	Country	Year commissioned	Plant Type	Feed-stock	Disposal method
1	Aberdeen - Nigg	Scottish Water	UK	2001	B12	MS	LA
2	Basingstoke	Thames Water	UK	2018	B6	MS	LA
3	Beijing - Gao-antun	Beijing Drainage Group	China	2017	B12	MS	LA
4	Brisbane - Oxley Creek	Brisbane Water	Australia	2007	B12	SS	LA
5	Crawley	Thames Water	UK	2015	B6	MS	LA
6	Drammen - Lindum	Lindum	Norway	2012	B6	MS	LA
7	Manchester - Davyhulme	United Utilities	UK	2013	B12	MS	LA
8	Milton Kenyes - Cotton Valley	Anglian Water	UK	2008	B12	MS	LA
9	Newcastle - Howdon	Northumbrian Water	UK	2012	B12	MS	LA
10	Norwich - Whitlingham	Anglian Water	UK	2009	B12	MS	LA
11	Tilburg	Waterschap De Dommel	Netherlands	2015	B12	MS	I
12	Stoke-on-Trent-Strongford	Severn Trent	UK	2019		MS	LA
13	Sydney - St Marys	Sydney Water	Australia	2020	B6	MS	LA
14	Wrexham - Five Fords	Dwr Cymru Welsh Water	UK	2019		MS	LA

**Tab. 2** – Operators that have implemented STC using CambiTHP for AAD (MS- Mixed Sludge; SS-Secondary sludge; LA-Land application; I-Incineration)

## 5. Challenges of a Sludge Treatment Centre

One of the key challenges of decentralised STC are quality of sludge received, imported sludge that is diluted, upgrading biogas line, reject water treatment. The imported cakes might have different dry solids (DS) concentration if they come from different sites. A first water dilution of the sludge can be done between the receiving facilities and the silo. A second dilution stage can be done between the silo and the THP in order to reach 16.5% DS. In best case, the second stage dilution can be done by using hot water in order to reduce the steam consumption. For brownfield sites, that are willing to take in new sludge, this will require upgrade of THP (due to its modularity) and biogas lines to meet new higher biogas production.

Need for reject water treatment for decentralised STC will need investigation. A sidestream treatment to treat reject water will require additional treatment technologies such as annamox, ammonia stripping, evaporation etc. However, the flows of reject treatment are relatively low and depending on the STC, the volumes can be stored and taken to a large wwtp facility.

One of the key challenges is the production of ammonia in reject water, which requires further treatment. Several mass balance were conducted on ammonia load, which are summarised

in Table 3. There are three scenarios, conventional mesophilic anaerobic digestion (MAD), THP-MAD and imported sludge with THP-MAD.

The reject water on final dewatering for the three scenarios shows an increase in ammonium load, which will require further treatment. However, on implementation of a classic THP the ammonium load to the head of the plant is 34%, which translates to 4.3% to the head of the plant for biological treatment, which can easily be bled into the system. For handling of imported sludge on dewatering after THP-MAD the ammonium load increase by 178%, which translates to 10% increase in nitrogen load that has to be further treated by wastewater treatment or additional side stream treatment.

		Conventional MAD	THP-MAD	Imported sludge + THP-MAD
Total	tDS/d	40	40	40+60*
Primary	tDS/d	16	16	46
WAS	tDS/d	24	24	54
Nitrogen load in Primary	% N/DS	1.9	1.9	1.9
Nitrogen load in WAS	% N/DS	6	6	6
Feed to MAD	% DS	5	10	10
Production of ammonia	mg NH <sub>4</sub> -N /L	850	2300	1900
Ammonia in reject water from final dewatering	kg NH <sub>4</sub> -N /d	593	794	1647
Increase in load in reject water compared to conventional MAD	%	-	34	178
Increase in nitrogen load to head of the wwtp	%	-	4.3	10

\*-imported sludge

**Tab. 3** – Mass balance on nitrogen load for different scenarios

## 6. Conclusions

The objective of this paper was to show effective and sustainable sludge treatment at sludge centres. Sludge is a by-product of wastewater treatment and this can be either treated onsite (existing wwtp) or decentralised STC before disposing off into the environment in a sustainable way. Implementing a thermal hydrolysis process with AAD, yields biosolids which is high in quality and low odours and pathogen free, which can easily be disposed off as a soil conditioner or sold as organic fertiliser. In addition, optimisation of assets is achieved by having a decentralised STC as exhibited by several wastewater utilities around the world.

## References

- [1] Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., Lens, P.N.L. (2014) Pre-treatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*. 123:143-156.
- [2] Barber, W.P.F. (2012) Influence of changing drivers on realising the value of sewage sludge as a resource. *Water Practice & Technology*, 7(4).
- [3] Hanjie, Z. (2010) Sludge treatment to increase biogas production. Thesis, KTH-Sweden.
- [4] Barber, W.P.F. (2016) Thermal hydrolysis for sewage treatment: A critical review. *Water Research*, 104:53-71.
- [5] Hackett, R. (2018) Basingstoke STW operating entirely on energy from sludge. Water and Wastewater Treatment. URL: <https://wwtonline.co.uk/>



# WATER CYCLE MANAGEMENT AND INTEGRATED VALORIZATION

## PIANI DI SICUREZZA IDRICA E FOGNARIA: METODOLOGIE, SUPPORTO DIGITALE E IMPLEMENTAZIONE SECONDO IL NUOVO QUADRO EUROPEO

La politica dell'Unione Europea nei confronti dell'SDG6 (acqua e servizi igienico-sanitari) si concentra sull'adozione di un approccio olistico basato sul rischio come strategia chiave per rafforzare la gestione e la resilienza alle sfide emergenti e future connesse all'uso eccessivo di acqua, all'inquinamento e ai cambiamenti climatici. Il piano di sicurezza idrica (WSP) è il pilastro dell'attuale revisione della direttiva UE sulla qualità dell'acqua per il consumo umano che persegue un approccio basato sul rischio che comprende i rischi e gli eventi pericolosi dei bacini e dei corpi idrici, il sistema di approvvigionamento (vale a dire la produzione, il trattamento, lo stoccaggio e la distribuzione di acqua nel punto di approvvigionamento dei fornitori di acqua) e i sistemi di distribuzione domestici. L'adozione del piano di sicurezza igienico-sanitario (SSP) ispira il regolamento UE sul riutilizzo delle acque reflue, come mezzo fondamentale per gestire sistematicamente i rischi per la salute lungo l'intera catena di servizi igienico-sanitari, per garantire uno smaltimento e un riutilizzo sicuri delle acque reflue. In questa cornice, questa sessione è incentrata sulle pratiche correnti e le prospettive nell'analisi del rischio applicate agli usi e al riutilizzo delle risorse naturali dell'acqua, con particolare attenzione ai principi, ai criteri e ai metodi di sorveglianza basati sul monitoraggio innovativo e sui sistemi digitali.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Istituto Superiore di Sanità, Horizon2020 “DigitalWaterCity” Consortium, Università Politecnica delle Marche, UTILITALIA**

**Presidenti di sessione:**

- Renato Drusiani, *UTILITALIA*
- Luca Lucentini, *National Health Institute*





# La gestione dei nuovi rischi nella filiera idropotabile: un approccio metodologico e organizzativo per l'implementazione dei WSP

*Valentina Nisticò [valentina.nistico@santannapisa.it](mailto:valentina.nistico@santannapisa.it), Natalia Marzia Gusmerotti, Filippo Corsini, Alessandra Borghini, Marco Frey, Istituto di Management Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa*

*Emanuele Ferretti, Istituto Superiore di Sanità, Roma  
Tiziana Cenderello, Acque SpA, Pisa*

## **Riassunto**

*Lo studio presenta un approccio metodologico per la valutazione e la gestione del rischio secondo il modello dei Water Safety Plans (WSP), con particolare riferimento alla valutazione di vulnerabilità ed al coinvolgimento degli attori chiave. La ricerca ha previsto lo sviluppo di un modello di analisi basato su quello D.P.S.I.R. (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto e Risposta) per descrivere, attraverso una serie di indicatori, il sistema idrico e le sue relazioni con gli aspetti ambientali e socio-economici. Infine, utilizzando un indice di vulnerabilità per ciascuno degli indicatori, sono stati identificati gli eventi più critici da considerare e valutare nella fase di valutazione del rischio. Le conclusioni mostrano come l'approccio utilizzato possa rappresentare uno strumento utile al fine di individuare, prevenire e gestire i potenziali rischi in maniera completa e sistematica.*

## **Summary**

*The study presents a methodological approach for the risk assessment and management according to the model of the Water Safety Plans (WSP), with particular reference to the assessment of the vulnerability and the involvement of key actors. The research concerned the development of an analysis model based on the D.P.S.I.R. model (Determinants, Pressures, State, Impact and Response) with the aim to describe, through a series of indicators, the water supply system and its relations with environmental and socio-economic aspects. Finally, by using a vulnerability index for each of the indicators, the most critical events to be considered and evaluated in the risk assessment phase were identified. The conclusions show that the used approach can represent a useful tool for the identification, prevention and management of risks in a complete and systematic manner.*

## **1. Introduzione**

Le acque destinate al consumo umano sono sempre più esposte a nuove tipologie di pericoli che ne minacciano la quantità e la qualità. Tra questi vi sono i contaminanti emergenti [1] e gli effetti del cambiamento climatico quali siccità, precipitazioni intense, inondazioni [2]. I possibili impatti di questi fenomeni rappresentano delle sfide sia per i gestori del servizio idri-

co sia per gli enti cui spetta istituzionalmente il compito della tutela e della governance delle risorse idriche e sono frequenti, nella letteratura, le esperienze di collaborazione tra queste due categorie di soggetti nell'ambito della ricerca di percorsi di adattamento [3] e di soluzioni condivise [1].

I WSP rappresentano il mezzo più efficace per garantire la qualità della fornitura idrica e la protezione della salute dei consumatori [4] in quanto si basano sulla valutazione e gestione del rischio dalla captazione al rubinetto, con l'obiettivo di assicurare, attraverso una loro costante e continua revisione nel tempo, una riduzione considerevole dei pericoli fisici, biologici e chimici nell'acqua potabile. Grazie a questo approccio, i WSP forniscono ai gestori del servizio idrico uno strumento che facilita la resilienza agli impatti del cambiamento climatico [5] e la flessibilità nella gestione di nuovi emergenti profili di rischio derivanti da pericoli di origine sia naturale sia antropica.

Sebbene in Italia lo strumento del WSP sia stato introdotto a partire dal 2017, non sono ancora molte le esperienze di WSP implementati ad oggi; pertanto condividere quelle che possono essere le modalità di gestione delle diverse fasi del processo può essere di interesse sia per la comunità scientifica sia per gestori del servizio, consulenti, etc. Lo studio in questione infatti propone un modello metodologico ed un approccio gestionale degli stakeholder completamente replicabile in grado di supportare un gestore nella realizzazione di un WSP anche relativo a sistemi idrici particolarmente complessi e in contesti fortemente antropizzati.

## **2. Relazione**

La presente sezione descrive il contesto e le fasi principali del progetto di implementazione del WSP, approfondendo le attività di stakeholder engagement condotte ai fini della formazione del team multidisciplinare e la metodologia utilizzata per pervenire alla valutazione del rischio.

### *2.1 Il sistema idrico pilota di Empoli e il contesto territoriale*

Il sistema acquedottistico di Empoli è costituito da un insieme complesso e frammentato di infrastrutture compreso all'interno di un perimetro ideale che interessa i territori di 6 comuni. Il numero di utenze servite è pari a 32786, per un totale di 4450668 mc erogati. Le infrastrutture presenti nel sistema in analisi consistono in 79 pozzi (distribuiti in 9 campi pozzi), 1 sorgente, 10 potabilizzatori, 30 accumuli, 26 pompaggi e 388 Km di rete acquedottistica. Tale sistema infrastrutturale è inserito in un'area attraversata dal fiume Arno e dal Torrente Pesa, e oggetto negli anni Sessanta e Settanta di un forte processo di sviluppo industriale e commerciale ed urbano.

### *2.2 La formazione del team multidisciplinare*

Una delle fasi più delicate della ricerca è stata quella finalizzata ad individuare i soggetti da coinvolgere nel processo di implementazione del WSP e di definire i relativi ruoli, competenze e responsabilità. La letteratura recente sulle esperienze di implementazione dei WSP [6] ha dimostrato infatti che proprio il coinvolgimento dei gruppi di lavoro e la collaborazione tra agenzie sono aspetti chiave per determinare il successo di tali piani.

La prima attività ad essere condotta, in tal senso, ha riguardato la mappatura e classificazione degli stakeholder, sia interni sia esterni all'azienda. Per lo svolgimento di tale attività è stata utilizzata la metodologia della stakeholder analysis [7] un processo che permette di raccogliere ed analizzare sistematicamente le informazioni qualitative per determinare quali interessi devono essere presi in considerazione nello sviluppo e nell'implementazione di un'iniziativa, in riferimento a categorie di diversi stakeholder. A valle della individuazione delle diverse categorie di stakeholder e dei rispettivi interessi, è stato definito un organigramma di tutti

i soggetti coinvolti, all'interno del quale è stato individuato il team multidisciplinare che ha collaborato alla implementazione del WSP. Al fine di garantire la copertura dei fabbisogni conoscitivi, la presenza di tutte le necessarie competenze in fase di valutazione dei rischi e la possibilità di svolgere approfondimenti puntuali su particolari tematiche, è stata ideata una struttura comprendente sia un team di lavoro preposto– nelle sue diverse sottoarticolazioni – allo sviluppo delle diverse fasi del WSP, sotto la guida di un Team Leader, sia un gruppo di esperti che viene attivato on demand su particolari tematiche. Come mostrato in Fig. 1, il primo si suddivide ulteriormente in due gruppi:

- Gruppo operativo ristretto (GOR), composto da un numero ristretto di professionisti afferenti ad Acque SpA, all'Istituto Superiore di Sanità (ISS), all'Istituto di Management della Scuola Superiore Sant'Anna (IDM), all'Autorità Sanitaria Locale (ASL), all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPAT) e all'Istituto di Fisiologia Clinica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);

- Gruppo Operativo allargato (GOA), nel quale, oltre alle figure previste nel gruppo ristretto, sono incluse altre funzioni del gestore del servizio idrico (a seconda dei temi in analisi), i referenti dei comuni e di altri enti aventi la funzione di gestire e proteggere la risorsa idrica sotto il profilo territoriale (Autorità di Bacino, Autorità Idrica, Regione).

Il gruppo di esperti ipotizzato è composto da figure altamente qualificate su argomenti strettamente connessi all'implementazione del WSP quali il cambiamento climatico, l'organizzazione aziendale e la comunicazione. In fase di predisposizione dell'organigramma finale del team, non tutte le figure sono state attivate, sia per quanto riguarda gli esperti sia per il GOR. Per quanto riguarda le modalità di partecipazione, i componenti del GOR hanno partecipato a riunioni periodiche, anche telematiche, necessarie per la implementazione del WSP. I componenti del GOA e del gruppo di esperti sono stati convocati in funzione delle necessità specifiche evidenziate dal gruppo operativo ristretto.

A valle di un processo di engagement degli stakeholder individuati, si è provveduto all'organizzazione del primo incontro del GOA a valenza territoriale che ha rappresentato il momento ufficiale di formalizzazione di tale gruppo. Durante lo svolgimento del progetto sono stati pianificati altri incontri del GOA che hanno rappresentato delle occasioni fondamentali sia per la discussione e la condivisione di aspetti prettamente operativi, connessi alle fasi principali dell'implementazione del WSP sia per il consolidamento dei rapporti tra i diversi membri del gruppo. Numerosi sono stati i momenti in cui sono stati attivati, tramite le attività di engagement, riflessioni congiunte e costruttive su quelli che sono i ruoli dei vari stakeholder nella tutela della risorsa idrica e sulle prospettive di collaborazione nell'ottica dell'implementazione futura dei WSP sul territorio regionale.

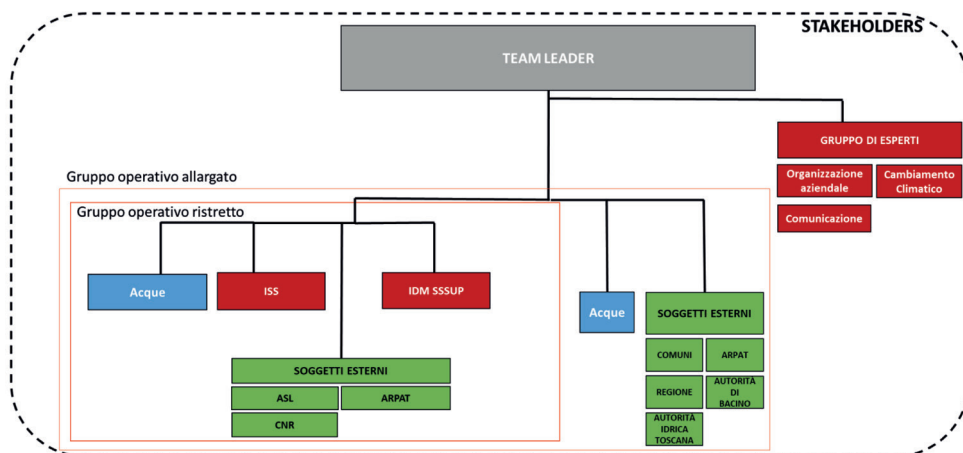


Fig. 1 – Organigramma del team multidisciplinare

### 2.3 Il modello DP\_SI\_R

In seguito all'attivazione del team multidisciplinare, è stato portato avanti un lavoro di analisi finalizzato all'individuazione di un modello teorico in grado di cogliere la complessità sia del sistema acquedottistico sia delle sue interazioni con il sistema antropico e ambientale.

Più in particolare, il modello teorico individuato si basa sul modello D.P.S.I.R. (Driving forces, Pressure, State, Impact e Response), concepito dall'Agenzia europea dell'ambiente (1995). Tale modello si fonda sull'assunto che gli sviluppi sociali ed economici (Determinanti) provocano delle Pressioni sull'ambiente determinando così una variazione del suo Stato (inteso come qualità e caratteri dell'ambiente). I cambiamenti significativi dello Stato dell'ambiente possono a loro volta provocare degli Impatti, che si manifestano come alterazioni negli ecosistemi, nella loro capacità di sostenere la vita, la salute umana, le performance sociali ed economiche. Ciò richiede l'individuazione di Risposte che possono agire sulle Determinanti, sullo Stato o direttamente sugli Impatti.

Il team di ricerca ha semplificato la struttura classica del modello D.P.S.I.R. mediante l'accorpamento delle Determinanti e delle Pressioni da un lato, e dello Stato e degli Impatti dall'altro, ottenendo così un modello denominato DP\_SI\_R composto da tre Macrocategorie. Attraverso l'individuazione della Macrocategoria "Determinanti e Pressioni", il modello consente di inquadrare il sistema demografico, socio-economico e ambientale in cui si inserisce il sistema idrico in esame e di individuare e classificare conseguentemente i possibili fattori di vulnerabilità di origine naturale o antropica che si esercitano sulla risorsa idrica (ad esempio il cambiamento climatico, lo sviluppo urbano, la presenza di attività agricole o industriali etc.). Questi ultimi vengono descritti tramite un Set di indicatori qualitativi o quantitativi elaborati ad opportune scale territoriali. La Macrocategoria "Stato e Impatti" contiene invece un insieme di indicatori che descrivono, per ogni fase della filiera idropotabile, lo stato dell'ambiente (ad esempio il livello di pericolosità territoriale), lo stato delle infrastrutture acquedottistiche (ad esempio lo stato di conservazione delle opere o la loro età), lo stato della risorsa idrica (numero di superamenti del valore soglia per un determinato parametro) e la frequenza temporale degli eventi in grado di provocare una alterazione quali-quantitativa della risorsa potabile con conseguenze sulla salute umana (ad esempio il numero di segnalazioni per acqua sporca). La Macrocategoria "Risposte" raccoglie un set di misure di risposta ai rischi individuati nella fase specifica di Valutazione del rischio. Tali misure sono state distinte in tre categorie. La prima categoria comprende strumenti normativi e regolatori che agiscono su scala ampia a prote-

zione della risorsa idrica, direttamente o indirettamente. La seconda categoria si riferisce alle misure per il controllo degli eventi pericolosi già implementate nel sistema idrico (ad esempio il telecontrollo, le manutenzioni, la protezione fisica delle infrastrutture), che devono essere valutate in termini di efficacia e validate all'interno della matrice del rischio. La terza categoria si compone di tutte le azioni finalizzate al controllo di ogni pericolo e rischio associato (in scala di priorità) rispetto al quale le misure di controllo già in essere risultano inadeguate. In Fig. 2 viene illustrato il modello concettuale sopra esposto, completo delle categorie principali in cui si suddividono le macrocategorie e delle relazioni (frecce) tra esse esistenti.

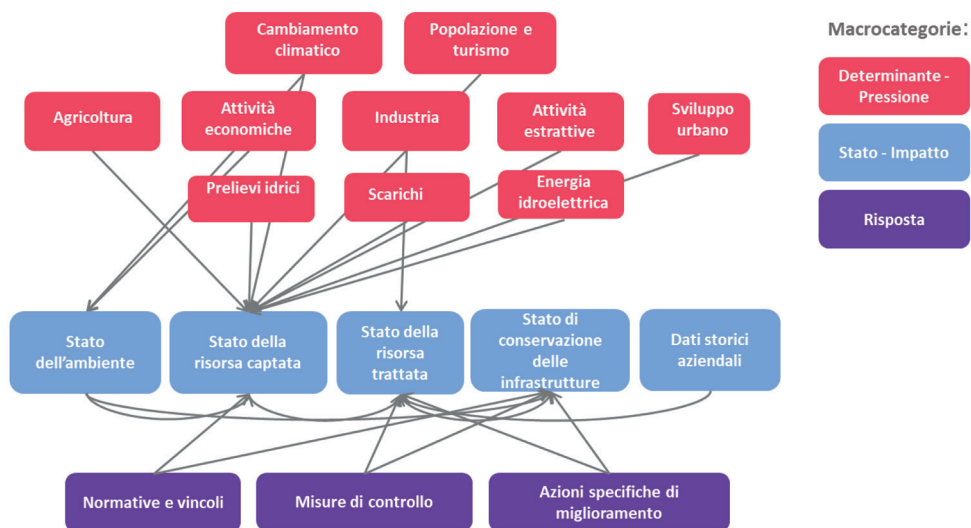


Fig. 2 – Schema a blocchi del modello DP\_SI\_R

#### 2.4 La raccolta dei dati

Data la mole e le caratteristiche dei dati da raccogliere, sia internamente all'azienda del gestore e sia esternamente, è stata elaborata una check list allo scopo di facilitare e sistematizzare la raccolta.

In parallelo con le attività di raccolta dei dati è stato implementato un progetto su software GIS in cui sono stati inseriti i dati georeferenziati del sistema infrastrutturale e, dove disponibili sui database pubblici, i dati relativi al contesto ambientale e antropico. Realizzato proprio con lo scopo di rendere visibili, attraverso le cartografie, le relazioni tra i vari sistemi descritti dal modello DP\_SI\_R, questo strumento si è rivelato un mezzo indispensabile per l'elaborazione di alcuni indicatori (soprattutto quelli delle "Determinanti e Pressioni"), fornendo un potente supporto alla successiva analisi della vulnerabilità.

#### 2.5 Analisi di vulnerabilità e valutazione del rischio

Ciò che ha contraddistinto l'approccio sviluppato per il WSP del sistema pilota di Empoli dalle esperienze adottate in altri contesti [6] è stato lo svolgimento di un'analisi di vulnerabilità, di cui si riassumono brevemente i passaggi, propedeutica alla valutazione del rischio.

Una volta sviluppato e convalidato il modello DP\_SI\_R e raccolti i dati relativi agli indicatori selezionati, sono state effettuate l'elaborazione e l'analisi degli indicatori che descrivono le Macrocategorie "Determinanti e Pressioni" e "Stato e Impatti". In seguito è stato assegnato ad ogni indicatore, sulla base del suo valore numerico, un giudizio qualitativo di vulnerabilità, volto a stabilire in che misura la risorsa idrica fosse minacciata da quello specifico fattore.

Nello specifico, è stata utilizzata una scala che prevede tre differenti livelli di vulnerabilità (bassa, media ed elevata). L'assegnazione del livello di vulnerabilità si è configurata come un passaggio propedeutico alla effettiva valutazione del rischio, in quanto ha permesso di discriminare, nell'ambito dei potenziali fattori di pressione che si esercitano sulla risorsa, quelli che costituiscono una minaccia concreta e che, pertanto, devono essere declinati nei possibili eventi pericolosi ad essi riconducibili e valutati in termini di rischio per la salute umana al fine di adottare adeguate misure di risposta. Lo strumento operativo che consente questo tipo di valutazione è la matrice del rischio del sistema idrico che riporta, per ogni nodo e internodo del sistema idrico, tutti gli elementi conoscitivi utili alla descrizione degli eventi pericolosi e alla valutazione del livello di rischio ad essi associato.

Per effettuare la valutazione del rischio è stato adottato l'approccio semiquantitativo riportato nelle linee guida ISTISAN [3], determinando, tramite l'assegnazione di punteggi di Probabilità e Gravità, prima il valore del rischio teorico (che non tiene in conto dell'esistenza delle misure di controllo già eventualmente presenti nel sistema) e poi il valore del rischio effettivo. Quest'ultimo è il valore del rischio alla luce del giudizio di efficacia su ciascuna misura di controllo esistente, sia in termini di

adeguatezza delle misure adottate che di evidenza delle azioni conseguite (validazione).

Nella fase di valutazione del rischio, il coordinamento e la collaborazione tra i vari membri del team sono stati fattori indispensabili. In merito ad esempio all'assegnazione dei punteggi di probabilità, è stata formulata dal GOR una prima proposta che è stata discussa iterativamente all'interno del GOR stesso; successivamente è stata presentata una proposta al GOA per una nuova discussione con i componenti di questo gruppo; il processo di discussione così strutturato, ha permesso di garantire l'affidabilità riducendo quindi possibili *bias* legati al giudizio soggettivo.

### *Risultati*

La composizione eterogenea del team multidisciplinare, in termini di competenze e conoscenze, ha garantito l'apporto delle necessarie informazioni, punti di vista e competenze durante tutto lo svolgimento del processo di implementazione. L'organigramma adottato nella fase iniziale si è rilevato una struttura efficace e flessibile alle reali esigenze di confronto che si sono verificate tra alcuni membri del team nel corso del progetto. Nell'arco temporale di svolgimento del progetto (2 anni) si sono tenuti circa 15 incontri dei due gruppi operativi, sia in plenaria sia in sottogruppi di ciascuno dei due gruppi operativi. Per quanto riguarda il GOA, i diversi componenti si sono riuniti in plenaria per la condivisione delle fasi principali e più delicate relative all'implementazione del WSP, quali la fase di raccolta dei dati, la convalida del modello teorico e la condivisione della matrice del rischio. La condivisione e la convalida del modello DP\_SI\_R e della sua lista di indicatori ha rappresentato la fase centrale e di maggiore collaborazione tra i membri del gruppo, garantendo di fatto il contributo di diversi soggetti all'individuazione dei fattori di rischio.

Per quanto riguarda la valutazione del rischio, il lavoro ha fatto emergere, per il caso studio in esame, come maggiori le criticità riguardo lo stato della risorsa captata che sono esercitate dai fattori che appartengono alla Macrocategoria "Determinanti\_Pressioni". Entrando nel dettaglio dei risultati della valutazione del rischio, considerando la totalità degli eventi pericolosi, il rischio teorico è risultato più elevato nella fase di trattamento, seguita da quella di captazione e di distribuzione; la rivalutazione del rischio, tenendo conto dell'efficacia delle misure di controllo già in atto, ha rivelato un rischio effettivo basso in tutte le fasi della filiera idropotabile, dimostrando che le misure di controllo esistenti attuate dal fornitore di acqua sono efficaci. Per gli eventi pericolosi con rischio effettivo medio o elevato sono state inoltre individuate o definite delle specifiche misure di risposta che, con riferimento alle catego-



rie del modello DP\_SI\_R, agiscono sullo stato della risorsa captata (tramite le disposizioni contenute in norme e regolamenti) e sullo stato della risorsa trattata e di conservazione delle infrastrutture (grazie soprattutto alle misure di controllo già in essere e alle azioni specifiche di miglioramento individuate dal gestore del servizio idrico).

### 3. Conclusioni

Nel presente caso studio l'implementazione del modello dei WSP per la valutazione dei rischi che minacciano la qualità e la quantità dell'acqua e, quindi, la salute umana, è avvenuta attraverso lo sviluppo e la sperimentazione di un modello teorico che, cogliendo le specificità del sito pilota di Empoli, ha allargato la visione del sistema acquedottistico descrivendone la relazione con il sistema ambientale e socio-economico.

Sotto l'aspetto dello stakeholder engagement, il caso studio in oggetto ha dimostrato che sia gli stakeholder interni che quelli esterni, grazie alla loro esperienza, alla loro prospettiva e alla conoscenza del territorio, se coinvolti in maniera efficace, continua e coordinata, svolgono un ruolo fondamentale nel supportare l'identificazione dei possibili eventi pericolosi che minacciano la risorsa idrica. È auspicabile di conseguenza una cooperazione continua del team multidisciplinare per garantire un'efficace prevenzione e gestione dei rischi.

Sotto l'aspetto della gestione del rischio, l'approccio proposto dal modello DP\_SI\_R, basato sull'analisi dettagliata della vulnerabilità della risorsa idrica nel contesto territoriale di riferimento, ha garantito di individuare con completezza i possibili fattori di rischio e consentito di stabilire, tra questi, attraverso un approccio di valutazione multidisciplinare iterativa, quelli che costituiscono una minaccia concreta. Attraverso la successiva fase di valutazione del rischio sono state individuate dal gestore le azioni di miglioramento per la gestione dei rischi medio-alti.

### Bibliografia

- [1] Fischer A., ter Laak T., Bronders J., Desmet N., Christoffels E., van Wezel A., e, van der Hoek J. P., 2017. *Decision support for water quality management of contaminants of emerging concern*, Journal of Environmental Management 193, 360-372.
- [2] Khan, S.J., Deere, D., Leusch, F.D.L., Humpage, A., Jenkins, M., Cunliffe, D., 2015. *Extreme Weather Events: Should Drinking Water Quality Management Systems Adapt to Changing Risk Profiles?*, Water Research
- [3] Kingsborough A., Borgomeo E., Hall J.W., 2016. *Adaptation pathways in practice: Mapping options and trade-offs for London's water resources*, Sustainable Cities and Society 27, 386-397.
- [4] Lucentini L, Achene L, Fuscoletti V, Nigro Di Gregorio F, Pettine P., 2014. *Linee guida per la valutazione e gestione del rischio nella filiera delle acque destinate al consumo umano secondo il modello dei Water Safety Plan.*, Rapporti ISTISAN 14/21.
- [5] World Health Organization, 2017. *Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change*. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [6] Roeger A., Tavares A.F., 2018. *Water safety plans by utilities: A review of research on implementation*, Utilities Policy 53, 15-24.
- [7] Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J. & Stringer, L. C., 2009. *Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management*. Journal of environmental management, 90(5), 1933-1949.

# Thallium contamination in an Italian public water system: a multidisciplinary approach to protect environmental health of exposed population

*Daniela Nuvolone*<sup>1</sup> [daniela.nuvolone@ars.toscana.it](mailto:daniela.nuvolone@ars.toscana.it), MC Aprea<sup>2</sup>, S Bertelloni<sup>3</sup>, R Crebelli<sup>4</sup>, A Di Benedetto<sup>5</sup>, V Fuscoletti<sup>4</sup>, R Guerra<sup>5</sup>, L Lucentini<sup>4</sup>, S Murtas<sup>4</sup>, D Petri<sup>1</sup>, S Pieroni<sup>6</sup>, G Sciarra<sup>2</sup>, E Veschetti<sup>4</sup>, F Voller<sup>1</sup>, I Aragona<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Regional Health Agency of Tuscany, Unit of Epidemiology, Florence, <sup>2</sup>Public Health Laboratory South-East Tuscany, <sup>3</sup>University Hospital of Pisa, <sup>4</sup>Istituto Superiore di Sanità, Department of Environmental Health, Section of Water quality and health, <sup>5</sup>Ministry of Health General Directorate of Health Prevention, <sup>6</sup>Department of Prevention Health Agency of North-West Tuscany.

## Riassunto

Nel corso del 2014 sono state rilevate concentrazioni di tallio (Tl) in tratti della rete acquedottistica del comune di Pietrasanta superiori al limite raccomandato da EPA ( $> 2 \mu\text{g/l}$ ). Al fine di gestire l'emergenza, sul modello dei Water Safety Plans (WSP), sono stati messi in campo interventi a breve e medio termine. Sono state condotte varie campagne di biomonitoraggio di urine e capelli al fine di valutare l'impatto della contaminazione sulla popolazione esposta. Inoltre è stato prodotto uno studio epidemiologico di coorte residenziale per studiare gli effetti sulla salute. Gli interventi emergenziali attuati hanno determinato il rientro dei valori di tallio nelle acque potabili nei limiti raccomandati ed una riduzione delle concentrazioni urinarie della popolazione esposta. Lo studio epidemiologico non ha rilevato criticità in termini di indicatori di mortalità e morbilità nelle aree interessate dalla contaminazione. Lo sviluppo dei Piani di Sicurezza dell'Acqua e la sinergia tra le autorità sanitarie e le varie professionalità coinvolte nella gestione di questo evento sono stati punti chiavi per affrontare l'emergenza e ristabilire condizioni per la protezione della salute pubblica nel medio-lungo termine.

## Summary

In 2014 thallium levels above the recommended limits were measured in some parts of the water distribution system of the municipality of Pietrasanta (Tuscany, Italy). Short- and med-term mitigation measures were applied within a Water Safety Plan (WSP), implemented to manage the drinking water emergency. To assess thallium exposure of people living in the exposed areas and health effects, a human biomonitoring survey and an epidemiological residential cohort study were also done. The applied interventions determined a decrease of Tl levels in the water distribution system and in the urinary samples collected from the exposed people. Residential cohort study showed no significant relationships among Tl exposure and main mortality/morbidity outcomes. The developed WSP as well as synergies among health authorities and experts

*involved in the crisis management were key factors to cope with the emergency and establish an effective approach to protect public health in the medium-long term period.*

## 1. Introduction

In September 2014, the Department of Earth Sciences (DES), University of Pisa (Italy) reported the presence of significant levels of Tl ( $2\text{--}10\ \mu\text{g/L}$ ) in some water samples taken from public fountains in the village of Valdicastello Carducci in the Pietrasanta municipality (Lucca, Tuscany, Italy) [1]. The Local Health Authority (AUSL 12) and the water supplier (GAIA Ltd) carried out an extensive analytical monitoring, that confirmed relevant Tl levels (till up to  $14\ \mu\text{g/L}$ ) in drinking water distributed in the village. The source of contamination was immediately identified as a spring which fed the drinking water distribution network which is located very close to an abandoned mining site immediately north of Valdicastello Carducci. Despite the contaminated spring was disconnected from the WDS on September 25th, 2014, a residual contamination was still detected in the distribution network due to releasing of Tl from the contaminated pipelines. Thus, on October 3rd, 2014 the local authorities imposed restriction of water uses for drinking and food preparation purposes to Valdicastello's inhabitants.

In November 2014, two months later the first report by DES, significant levels of Tl ( $4.9\text{--}6.8\ \mu\text{g/L}$ ) were also measured in drinking water distributed in the historical centre of Pietrasanta and its vicinity. Restrictions to water uses were therefore adopted by health and municipality ordinances in the centre of Pietrasanta on November 7th, 2014 and in the Pollino District. Figure 1 shows the map of the three contaminated areas. Since no limit value was set up for the Tl by World Health Organization, neither by the European Drinking Water Directive (Council Directive 98/83/EC, DWD) and in the Italian DWD transposition law (DL 31/2001), the AUSL 12 requested a technical opinion from the Italian National Institute of Health (ISS). After a preliminary risk assessment, ISS defined a maximum provisional limit (MPL) of  $2.0\ \mu\text{g/L}$  for the Tl in case of drinking purposes and a MPL of  $40.0\ \mu\text{g/L}$  when tap water is used for personal hygiene. These values were established on the basis of currently-available toxicological data and the outcome of a previous U.S. EPA's risk assessment [2].

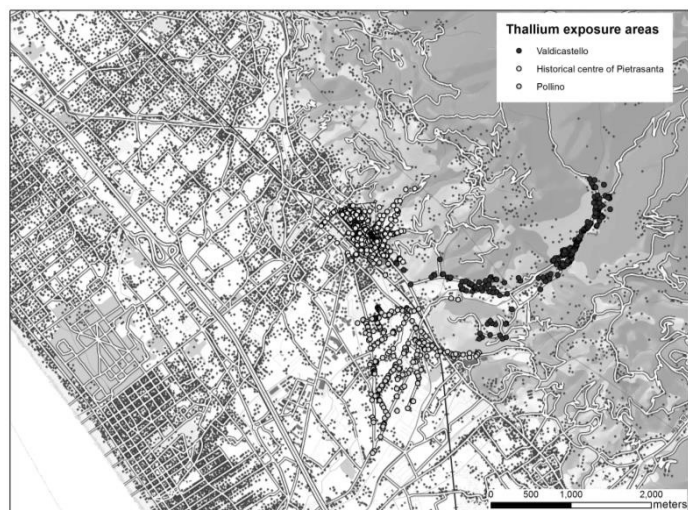


Fig. 1 – Map of the thallium contaminated areas.

## 2. Manuscript

The management of this rare and complex event required a series of actions concerted by an expert's team according to the Italian version of WHO guidelines on Water Safety Plan (WSP) [3]. To assess the levels of human exposure to thallium through contaminated water and potential health effects, a human biomonitoring campaign and an epidemiological study have been implemented.

### 2.1 Materials and methods

Two WSPs have been developed as a tool to manage the emergency and to control the entire drinking water supply chain against the risk of further Tl contamination, as well as to prevent and control other hazardous events and related risks along the entire water chain. The three main stages of the WSP development - Preparation and planning, System and risk assessment and System revision and risk management - are here briefly summarized.

*Preparation and planning* - An expert group (later defined as team) was brought together for the emergency management and to drive the WSPs implementation. The working group team was composed by representatives from the Municipality of Pietrasanta, Local Health Authority AUSL 12, Laboratories for Public Health, Regional Agency for Environment Protection, Regional Water Authority, Regional Health Agency, Italian National Institute of Health, Ministry of Health and a Pediatrician living in the contaminated area.

*System and risk assessment* - According to WSP principles, the Water Distribution Systems (WDSs) were clearly described, identifying the points of health interest (named nodes and internodes) to focus the two-phases risk analysis. The risk analysis was extended to the whole drinking water supply chain, taking particularly into account hazardous events and hazards related to water sources and distribution networks.

*System revision and risk management* - Within the plan, short- and med-term mitigation measures were implemented, ensuring the supply of healthy and safe drinking water, focused on replacement of polluted sources, replacement and/or sanitation of highly Tl-contaminated drinking water distribution networks. Among these, the system flushing for several weeks, the complete replacement of some stretches of steel pipes, and the application of an innovative technique to clean the remaining contaminated pipes (steel, cast iron, cement-mortar lined) were applied.

To assess human Tl exposure through contaminated water, two human biomonitoring campaigns were carried-out by measurement of urinary Tl levels. A first set of urine samples was collected in people living in the contaminated area within 30 days from restrictions in drinking water use (samples A). A second set was collected 2 months after the interventions aimed to reduce Tl bio-contamination (samples B). The interpretation of the results was performed considering the reference values for the general population defined by the Italian Society for Reference Values (SIVR): the reference range was (5<sup>th</sup>-95<sup>th</sup> percentiles) 0.06-0.759 µg/L with geometric mean of 0.203 µg/L [4]. In agreement with WHO Environmental Health Criteria, a second cutoff has been set to 5 µg/L: urinary thallium concentrations below 5 µg/L are unlikely to cause adverse health effects; in the range 5-500 µg/L the magnitude of risk and severity of adverse effects are uncertain, while exposure giving values over 500 µg/L have been associated with clinical poisoning [5].

A residential cohort study was done to evaluate the long-term effects of thallium exposure in contaminated areas. A cohort of residents in Pietrasanta municipality during the period 2000-2015 was included in the study. Tl exposure areas were defined according to Tl levels measured along the WDSs. Three main exposure areas were defined: the Valdicastello Carduci area, with the highest Tl levels, the historical centre of Pietrasanta, and the outskirts of Pietrasanta (Pollino). Residential addresses were geocoded by automated and manual re-

covery procedures (99.2% of geocoded addresses). Socio-economic levels were assigned to each cohort member on the basis of the census tract data linked to the geocoded addresses at the beginning of follow-up. Mortality and hospital discharge data were collected from administrative health regional database and they were analysed using Cox proportional hazard risk models to estimate Hazard Ratios (HR) and 95% confidence intervals. All models were adjusted for age, calendar period, socioeconomic status, and the analyses were performed for men and women separately, and for long-term residents (> 5 years). Finally, preterm births and low birth weights during the period 2001-2014 were compared between exposed and not exposed populations.

## 2.2 Results

To cope with the risks highlighted in risk assessment, mitigation measures were implemented, mainly consisting in infrastructure and plant measures and early warning strategies. Among these, the extensive monitoring of unregulated chemical parameters and the installation of on-line monitoring systems have been adopted as measures to protect and prevent the drinking water supply chain. Extraordinary measures were adopted to ensure the control of thallium in drinking water: the main steel pipeline (~5.7 km) in Valdicastello Carducci was completely replaced, while other pipelines were flushed for several days. Additional stretches of steel pipes in Pietrasanta were also replaced (~6.4 km).

To assess the effectiveness of the control measures implemented, 4761 drinking water samples were collected during a two year follow-up along the two waterworks and inside private houses to evaluate Tl concentration. Results are summarized in Tables 1 and 2.

The remaining contaminated pipes of the WDS in Pietrasanta were cleaned with the technique developed by ISS in co-operation with GAIA Ltd, resulting in a significant reduction of the 75° percentile of the maximum and median concentrations of thallium in the distributed water in the historical centre (90% and 91%, respectively) and in the District of Pollino (71% and 66%, respectively).

	N° of samples			
	Tl ≥ 2 µg/L	0.5 µg/L ≤ Tl < 2 µg/L	Tl < 0.5 µg/L	Total
Gaia Ltd	169	365	3429	3963
AUSL Toscana Nordovest	25	58	715	798

**Table 1** – Results of Tl monitoring surveys (samples collected by Gaia Ltd and USL Toscana Nordovest)

µg/l	2014	2015	2016	2017	2018 <sup>a</sup>	2018 <sup>b</sup>
Tl < 0.5	129	311	515	158	335	276
0.5 ≤ Tl < 2	58	31	28	58	22	6
Tl ≥ 2	70	6	43	70	19	0
Total	257	348	586	286	376	

a: inhabited and uninhabited houses; b: only inhabited houses

**Table 2** – Results of Tl monitoring at the kitchen faucet by year and Tl levels

Human biomonitoring data were obtained from 637 samples A and 700 samples B accounting for about 20% of total population living in the contaminated areas. The results are shown in



Table 3. Considering the total set of data, Tl geometric mean (GM) of samples A was 0.42 µg/L (max: 8.96 µg/L), with a percentage above the 95<sup>th</sup> of the SIVR reference range of 28%. Samples B showed a significant decrease ( $p < 0.001$ ) of Tl levels (GM: 0.29 µg/L; max: 5.44 µg/L), but exceeded the 95<sup>th</sup> percentile of the SIVR reference range in 8.4% of samples (Table 3).

	AM *(SD) µg/L	GM** µg/L	Max µg/L	P95 µg/L	% above 0.759 µg/L	% above 5.0 µg/L
Sample A	0.626 (0.661)	0.419	8.96	1.79	27.8	0.31
Sample B	0.379 (0.365)	0.286	5.44	0.920	8.4	0.14

\*AM: arithmetic mean \*\*GM: geometric mean

**Table 3** – Descriptive statistics of sample A and Sample B

Considering the subjects participating in both surveys A and B (paired samples; 86% of participants), samples collected in Valdicastello Carducci showed a geographical trend: both A and B samples from the nearest area to the contamination source had the highest urinary Tl levels with respect to those collected in people living in more distant areas.

In the cohort study, 33 708 people were enrolled (47.2% males). In the period 2000-2015, a total of 3442 deaths occurred in the municipality: 635 deaths (18.4%) were observed in the three considered areas and 138 deaths (4.0%) in Valdicastello Carducci. General mortality rate (per 100 000 person-years) observed in the exposed areas was lower than the rate observed in the rest of Pietrasanta municipality not exposed to Tl contamination. Mortality risks for all cancers as well as for cardiovascular, respiratory, digestive and genitourinary diseases were similar in exposed areas and in not exposed areas. In Valdicastello Carducci, cancer mortality was significantly lower than in non-exposed areas ( $p < 0.001$ ). However, residents in exposed areas showed a non-statistically significant risk excess for bladder cancer ( $n = 9$ , HR=2.07 IC<sub>95%</sub>: 0.92-4.63) and for non-Hodgkin lymphoma ( $n = 4$ , HR=2.63 IC<sub>95%</sub>: 0.74-49.40). Data from hospital discharges were similar to mortality ones: no significant risk excesses were observed in population exposed to Tl. Results from hospital discharge for cancer in Valdicastello Carducci confirmed mortality analyses and showed a lower risk compared to non-exposed areas ( $n = 96$  HR=0.70 IC<sub>95%</sub>: 0.57-0.86)

Areas exposed to Tl showed higher risk for lower birth weight (OR=1.30 IC<sub>95%</sub>: 0.73-2.31) and preterm birth (OR=1.24 IC<sub>95%</sub>: 0.70-2.19) when compared to the rest of the Pietrasanta municipality, even if statistical significance was not reached, likely due to the low number of cases.

### 3. Conclusions

Tl is an extremely toxic metal for mammals and its adverse health effects in humans for acute poisoning are well documented [5-7]. However, chronic exposure to low levels by contamination of public WDSs are rarely reported [8-9] and population health consequences of low-level exposure are little investigated [10-13]. After the emergency of Tl contamination occurred in Pietrasanta, the WSP approach was adopted and proved to be effective to manage the risk of the arising of Tl levels by the water catchment and the residues released in water from contaminated distribution pipelines. WSP actions were also extended to the entire water supply chain both in Valdicastello and Pietrasanta. The actions related to the WSPs implementation in the WDSs of Pietrasanta and Valdicastello Carducci have significantly reduced the levels

of exposure to Tl through consumption of drinking water. The measures adopted, which are functional to resolve the contamination phenomena, have proved to be a useful tool for emergency management and, above all, a model that can be applied for the prevention over time of the possible future events of chemical, physical, microbiological contamination of the water supplied by the drinking water supply chain.

The preliminary results of the human biomonitoring campaign showed increased urinary Tl levels in a large population sample mainly due to the drinking water contamination. The restriction of water consumption by the contaminated WDSs together with the specific WSP determined a significant decrease of urinary Tl in the exposed population. A preliminary parallel survey in a smaller group on inhabitants living the same area (150 urine samples) demonstrated Tl levels close to those we found in the present study (geometric mean 0.55 µg/L and 0.37 µg/L in samples collected within 30 and 60 days after the “do not drink” order, respectively) [1]. However, we found higher upper values, suggesting that only large sample allows to identify the true extent of contamination. In both studies, the highest urinary Tl levels were found in people living in the area with highest Tl values in drinking water, strongly reinforcing that WDS represents a significant source of contamination and that inhabitants in this area have a higher risk of Tl toxicity. Finally, the present and previous data [1] demonstrated that urinary Tl levels measured in Pietrasanta contaminated areas were lower than values measured in other populations, who underwent environmental Tl exposure [10,11, 14-17].

The preliminary results from the residential historical cohort study showed that the main mortality/morbidity rates were not higher than those observed in other areas of the same municipality. The low birth weight and the preterm births represent a reason of concern, because foetuses may be more susceptible to environmental noxae than adults and exposures in utero can increase the risk of developmental delays, adult chronic illnesses, and next generation negative effects [18-19]. Our findings are consistent with those recently observed by Chinese researchers, who showed an association between risk of low birth weight and preterm birth and prenatal exposure to increased Tl levels [13].

In conclusion, Tl contamination of Pietrasanta WDSs added a relevant contribution to actual knowledge on environmental and health risks related to abandoned mine sites. WSP was an effective tool to bridge this gap through the multidisciplinary task force and a site-specific risk analysis encompassing any pollution source of the drinking water chain. The effective synergies among all local health units involved in the crisis supported by Regional and National authorities were a key factor to cope with the emergency, allowing an effective prevention approach and a progressive decrease of Tl contamination of WDSs and humans. Considering that in Italy more than 3000 abandoned mining areas are potential contamination sources for groundwater and possibly drinking water supplies, a screening approach for elements not listed in the drinking water directive seems to be advisable and the Pietrasanta experience can be an effective intervention model for additional environmental emergencies due to heavy metal contamination of WDSs.

## References

- 1) Campanella B., Onor M., D’Ulivo A. et al. (2016) Human exposure to thallium through tap water: A study from Valdicastello Carducci and Pietrasanta (northern Tuscany, Italy). *Sci. Total. Environ.*, 548-549, 33-42.
- 2) EPA U.S. Environmental Protection Agency (1993) *Health Advisories for Drinking Water*.
- 3) Lucentini L., Achene L., Fuscoletti V. et al. (2014) *Linee guida per la valutazione e gestione del rischio nella filiera delle acque destinate al consumo umano secondo il modello dei Water Safety Plans*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2014. *Rapporti ISTISAN 14/21*
- 4) Aprea M.C., Apostoli P., Bettinelli et al. (2018) Urinary levels of metal elements in the non-smoking general population in Italy: SIVR study 2012-2015. *Toxicol. Lett.*, 298, 177-185.



- 5) WHO World Health Organization (1996) Thallium. International Programme on chemical safety. Environmental Health Criteria 182.
- 6) ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service (1992) Toxicological profile for thallium
- 7) EPA U.S. Environmental Protection Agency (2009) Toxicological review of thallium and compounds.
- 8) Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ANSES (2013) Evaluation des risques sanitaires liés à la présence de thallium dans les eaux destinées à la consommation humaine. Maisons-Alfort, le 27 septembre 2013.
- 9) Xiao T., Yang F., Li S. et al. (2012) Thallium pollution in China: A geo-environmental perspective. *Sci. Total. Environ.*, 421-422, 51-58.
- 10) Brockhaus A., Dolgner R., Ewers U. et al. (1981) Intake and health effects of thallium among a population living in the vicinity of a cement plant emitting thallium containing dust. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.*, 48, 375-89
- 11) Dolgner R., Brockhaus A., Ewers U. et al. (1983) Repeated surveillance of exposure to thallium in a population living in the vicinity of a cement plant emitting dust containing thallium. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.*, 52, 79-94.
- 12) Hu X., Zheng T., Cheng Y. et al. (2015) Distributions of heavy metals in maternal and cord blood and the association with infant birth weight in China. *J. Reprod. Med.*, 60, 21-9
- 13) Xia W., Du X., Zhang B. et al. (2016) A Case-Control Study of Prenatal Thallium Exposure and Low Birth Weight in China. *Environ. Health. Perspect.*, 124, 164-9.
- 14) Curković M., Sipoš L., Puntarić D. et al. (2013) Detection of thallium and uranium in well water and biological specimens of an eastern Croatian population. *Arh. Hig. Rada. Toksikol.*, 64, 385-94.
- 15) Xiao T., Guha J., Boyle et al. (2004) Environmental concerns related to high thallium levels in soils and thallium uptake by plants in southwest Guizhou, China. *Sci. Total. Environ.*, 318, 223-244.
- 16) Xiao T., Guha J., Liu et al. (2007) Potential health risk in areas of high natural concentrations of thallium and importance of urine screening. *Applied Geochemistry*, 22, 919-929.
- 17) Zhou D.X., Liu, D.N. (1985) Chronic thallium poisoning in a rural area of Guizhou Province, China. *J. Environ. Health.*, 48, 14-18.
- 18) Wigle D.T., Arbuckle T.E., Walker M. et al. (2007) Environmental hazards: evidence for effects on child health. *J. Toxicol. Environ. Health. B. Crit. Rev.*, 10(1-2), 3-39.
- 19) Stillerman K.P., Mattison D.R., Giudice L.C. et al. (2008) Environmental exposures and adverse pregnancy outcomes: a review of the science. *Reprod. Sci.*, 15, 631-650.

# CIRCULAR BIOECONOMY

## DA *COMMODITIES* A *SPECIALTIES*: I SEMINATIVI NELL'ERA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DELLE SFIDE PER UNA BIOECONOMIA CIRCOLARE, PRODUTTIVA, SOSTENIBILE E DI PRECISIONE, E PER PRODOTTI ALIMENTARI DI QUALITÀ E NUTRACEUTICI

In Italia tra seminativi, colture industriali, foraggere e terreni a riposo si tratta di quasi sette milioni di ettari, oltre il 50% dei 12,6 milioni di ettari attualmente utilizzati nel paese. Si tratta quindi di colture che rappresentano un elemento relevantissimo per la gestione del territorio e l'agroecosistema. Dal punto di vista del mercato, si tratta poi di produzioni collocate in quei mercati internazionali delle "*commodities*" indifferenziate e scambiate su vasta scala; mercati che spesso non premiano la qualificazione dei prodotti.

Le recenti traiettorie della bioeconomia, dell'economia circolare ed in genere della ricerca di una intensificazione sostenibile delle produzioni agricole costituiscono una grande chance per i prodotti delle "grandi colture" che, dai cereali alle proteoleaginose, alle leguminose possono divenire delle "*specialties*" con caratterizzazioni in linea con i fabbisogni (anche nuovi) dei consumatori e del mercato di prodotti alimentari di alta qualità che siano in grado di dare risposte anche alle nuove esigenze di benessere e salute. Ciò in un'ottica di filiera che deve coinvolgere tutti gli operatori, dalla terra alla tavola.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Federalimentare, Confagricoltura, Cluster Agrifood CL.A.N.**

### **Presidenti di sessione:**

- Massimo Iannetta, *ENEA (Moderator tbd)*
- Maurizio Notarfonso, *Federalimentare*
- Donato Rotundo, *Confagricoltura*



# 40\_60 energy crops towards biogas to boost sustainable agriculture development in Sahel

*Carlo Santoro, [carlo.santoro@as-it.biz](mailto:carlo.santoro@as-it.biz), AS Sustainable Engineering S.r.l., Vito Pignatelli, ENEA, Dipartimento Tecnologie Energetiche, Roma (RM)*

## **Riassunto**

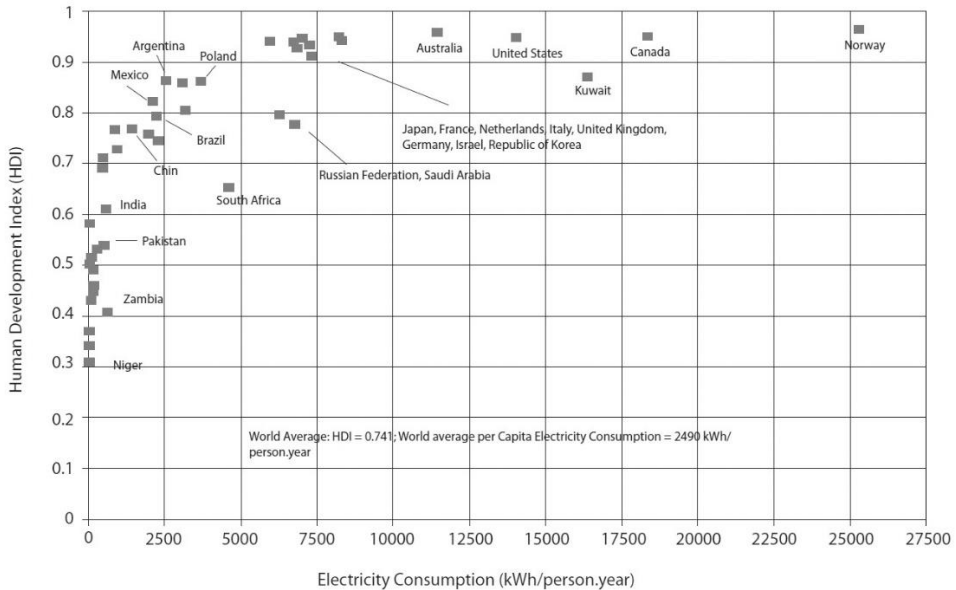
*Il modello concettuale qui presentato rappresenta un nuovo approccio innovativo ed a basso impatto ambientale, per lo sviluppo ecosostenibile dell'agricoltura nei paesi appartenenti alla fascia sub-sahariana. Basato su un'organizzazione più efficiente dei terreni agricoli e sull'impiego in modo innovativo di strumenti e tecniche già convalidati ed utilizzati a livello mondiale. Ogni terreno agricolo viene suddiviso in parte per la produzione di cibo ed in minor parte per la produzione di energy crops che a loro volta saranno utilizzate per la produzione di biogas e biofertilizzante utilizzato per sostenere la richiesta energetica e di fertilizzante di tutto il terreno coltivato.*

## **Summary**

*The conceptual model presented here represents a new innovative approach with a low environmental impact, for the sustainable development of agriculture in the countries belonging to the sub-Saharan belt. Based on a more efficient organization of agricultural land and on the innovative use of tools and techniques already validated and used worldwide. Each agricultural land is divided in part to produce food and for a lesser extent for the production of energy crops which in turn will be used for the production of biogas and biofertilizers used to supply the energy and fertilizer demand of all the cultivated land.*

## **1. Introduction**

In Sahel Region, one of the major constraints facing a fruitful and sustainable agriculture development towards food production is the energy cost for fields irrigation. As an example, in Senegal, Mali and Mauritania the cost of diesel fuel for water pumping is about 0,9 € per litre. Therefore, energy can weight about 55% and more on the total cost of agricultural products. Historically, the prosperity and life quality of a country are closely linked to the level of its per capita energy consumption and the strategies adopted to use energy, as shown in figure 1 [1].



**Fig. 1** – Human development index (HDI) and per capita electricity consumption, 2003 –2004 (UNDP, 2006)

Renewables could compensate the increasing energy needs, in a much more sustainable approach than fossil fuel, in particular in rural areas or whatever there are higher energy costs. Different projects have been developed to provide sustainable and low-emission alternatives for water extraction, distribution and irrigation, for instance, some hybrid photovoltaic/diesel water pumps systems, but they also are all still mostly strictly connected to diesel systems and are often limited by the necessity of wide areas addressed to photovoltaic systems and therefore taken away from agriculture.

Other renewables, like Hydropower or Geothermal are limited by the needs of particular conditions, for instance, high volumes of water, or specific geological conditions. [2, 3, 4, 5, 6]. Biomass, Biofuel and more generally waste-to-energy, among all renewables, has greatly increased in the last years, due to new technologies, new researches and new legislation and regulatory/incentive framework. In particular, Biogas production could have a key-role in the sustainable development of rural countries.

## 2. Report

### 2.1 Main concept proposal

Anaerobic Digestion process leads to the natural breakdown of organic matter in the absence of oxygen into a methane rich gas (biogas) via the complex and synergistic interactions of various micro-organisms. In years, new technologies were developed leading to Dry Anaerobic Digestion, that avoid the usage limit in arid regions due the great water needs for the process.

Moreover, the geochemical properties of the soils of Sahelian area fits very well with a large variety of energy crops, both autochthonous (for instance Sorghum Sudangrass and/or millet) and allochthonous (for instance Jerusalem artichoke), all of them suitable as energy crops for biogas and biofertilizer production [7, 8, 9, 10].

The concept proposal is based on an innovative approach that combines farmland organization, usage of local well-known energy/food crops with high methanogenic content and patented specific dry-anaerobic digester.

First, a not cultivated semi-arid agricultural area in a Sahel Region must be identified. This area must have the following properties:

- 1,5 – 2 km max distance from water source (river, well),
- An average areal extension above 200 ha, for optimal efficiency.

The farmland organization is the core of the proposal. The identified area, with the above characteristics, is divided in two parts.

About 40% of the farmland is devoted to the cultivation of energy crops, the ones that best fits local environment, with high methanogenic content, the remaining 60% of the area is devoted to the cultivation of food crops.

In brief, the proposal is that the smaller part could produce so much BIOGAS to comply with the 100% of the energy needs for land irrigation and cultivation of the whole farmland.

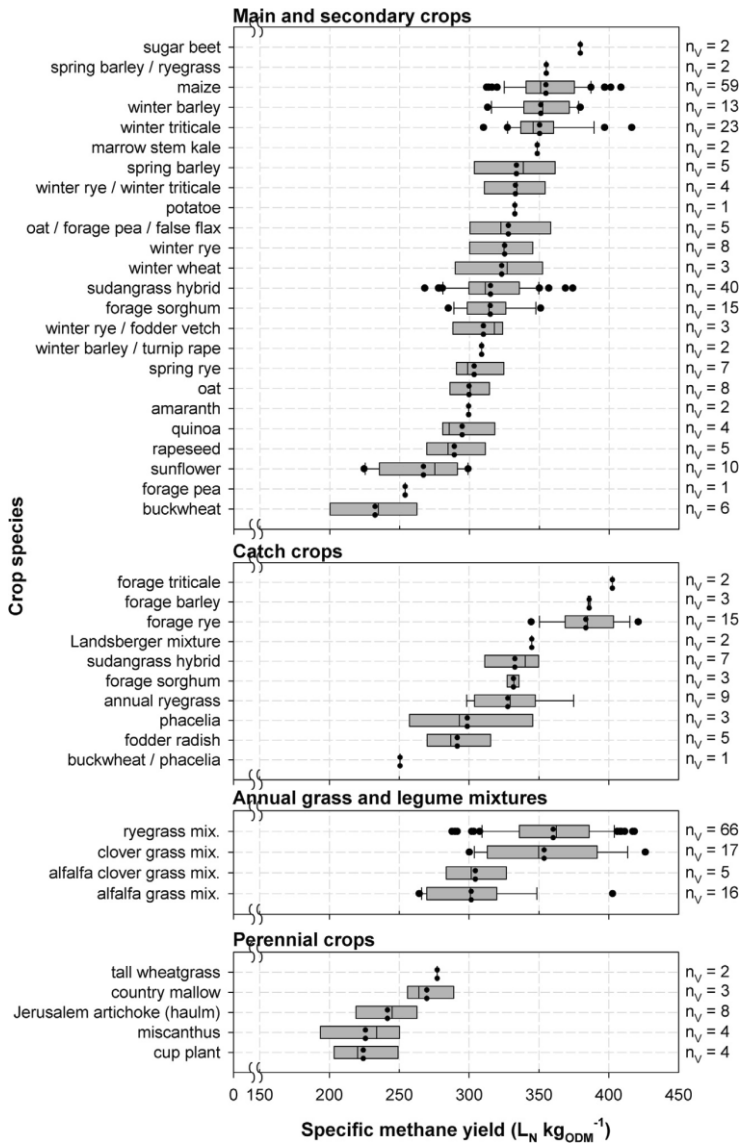
To achieve such a result, energy crops products, integrated with wastes from food crops harvesting and processing, will be used to feed a specific dry-anaerobic digester. This digester is based on the well-known and developed technologies as BioFerm (WEISSMAN Group) patented tech and/or BRT Linde (now in STRABAG Group) [12, 13].

The wastes produced by the food area will be also added to the energy crops products (and wastes) to enhance the biogas production. The produced energy could be utilized not only for agricultural purposes, including irrigation, but also to provide electricity access in rural areas or to boost electricity production in urban areas.

Irrigation power needs strictly depends on the typology of irrigational system, for instance, drip irrigation can greatly decrease water needs while boosting production [14].

In addition to BIOGAS production, the dry-anaerobic digester produces, as an end-product, a biological, natural and certifiable bio-fertilizer, to be used as a soil improver and a natural source of nutrients for the whole farmland. [10]. This bio-fertilizer could also be used as a treatment in arid soil to enhance plant rooting capabilities, and consequently water retention as a method of mitigation of desertification.

As far as soils and terrains geochemical properties, there is a wide flexibility because, from literature, all suggested plants have very limited needs in terms of nutrients and are capable of growing in every soil type, whether they are cultivated or not yet widely used for agricultural purposes. Regarding suitable crops, as above mentioned, there is a wide variety of plants already grown, or growing spontaneously in those regions having a high methanogenic power. (Figure 2).



**Fig. 2** – Specific methane yields of silages from different crop species and position within crop rotations ( $n_v$ : number of variants). [11]

## 2.2 Example models

The following conservative numerical model is proposed for better evaluate the potential of the proposal (Table 1).

The selected crops, in the specific conditions of the suggested area, give rise to at least 2-3 harvests per year.



Cultivated Area (ha)	1,000	500	250	125
Biomass production (t/ha/year)	170	170	170	170
Biomass production (t/year)	170,000	85,000	42,500	21,250
BIOGAS productivity (m <sup>3</sup> /t)	100	100	100	100
Estimated BIOGAS production (m <sup>3</sup> /year)	17,000,000	8,500,000	4,250,000	2,125,000
BIOGAS energy content (kWh/ m <sup>3</sup> )	5.30	5.30	5.30	5.30
Total energy production (kWh/year)	3,207,547.17	1,603,773.58	801,886.79	400,943.40
Conservative conversion efficiency	0.33	0.33	0.33	0.33
Net energy production (kWh/year)	1,058,490.57	529,245.28	264,622.64	132,311.32
Average energy consumption for irrigation (kWh/ha/day)	32.50	32.50	32.50	32.50
Yearly energy consumption (kWh/ha/year)	11,862.50	11,862.50	11,862.50	11,862.50
Irrigated Area (Ha)	1,000	500	250	125
Total Energy Consumption (kWh/year)	11,862,500.00	5,931,250.00	2,965,625.00	1,482,812.50
BIOGAS plant working hours (h/year)	8,200	8,200	8,200	8,200
Theoretical BIOGAS plant electric power (kW)	1,446.65	723.32	361.66	180.83
Theoretical BIOGAS plant thermal power (kW)	4,383.78	2,191.89	1,095.94	547.97
Theoretical BIOGAS consumption (m <sup>3</sup> /year)	2,238,207.55	1,119,103.77	559,551.89	279,775.94
Estimated BIOGAS consumption (m <sup>3</sup> /year)	6,782,447.11	3,391,223.56	1,695,611.78	847,805.89
Estimated BIOMASS consumption (t/year)	67,824.47	33,912.24	16,956.12	8,478.06
Estimated area needed for BIOGAS production (ha)	<b>398.97</b>	<b>199.48</b>	<b>99.74</b>	<b>49.87</b>
Estimated area needed for BIOGAS production (% of cultivated area)	40	40	40	40

**Table 1** – Numerical model for an area from 1000 to 125 ha (left to right), showing the area needed to be dedicated to energy crops, respectively, from about 400 to about 50 ha (left to right)

The above table shows the calculated value for the land to be devoted to energy crops cultivation for different agricultural areas, with an extension of respectively 1,000, 500, 250 and 125 ha, cultivated with vegetable crops (like zucchini, tomatoes, okra, melons, eggplant, and so on) or cereals [15, 16, 17].

The average energy requirement for irrigation is about 32.5 kWh/day/ha and the biogas average energy content is 5.3 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Using those values, we can estimate the sub-area needed for biogas production, that will provide energy and fertilizer for the whole cultivated area leaving the remnant 60% to full food production.

As shown the model is very scalable to different cultivated area dimensions and can be adapted to different local conditions.

Note that we used worst-case scenario parameters for all calculation, meaning that we used maximum values for energy needs and minimum values for biomass and biogas production, energy content and so on. Despite the use of very conservative parameters the model works well at different scales.

### 3. Conclusions

The proposed innovative approach, taking into due account the local food production and the respect of the existing agriculture cultures and cultural heritage in the Sahelian Region, might boost dramatically the local life quality. Greatly improving the available arable and food productive land, reducing poverty and food needs, creating local job opportunities, mitigating climate change effects through the reduction of fossil fuels and chemicals use, and promoting a local sustainable development mechanism for the local population.

Such effects lead to better local health and life conditions, and could also orient, in the near future, part of the international cooperation activities into more technological and high profile support to the Sahel population and lastly it might be an additional player of the required and urgent constraint to face large immigration flows. [18, 19].

### Bibliography

- [1] **B. Amigun, W. Parawira, J. K. Musango, A. Aboyade, A. S. Badmos**, *Anaerobic Biogas Generation for Rural Area Energy Provision in Africa*. (2012);
- [2] **S.S.Chandel, M.Nagaraju Naik, R. Chandel**, *Review of Solar Photovoltaic Water Pumping System Technology for Irrigation and Community Drinking Water Supplies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (2015);
- [3] **Yorkor, Banaadornwi**. (2017). *Solar water supply for rural communities in rivers state, Niger delta of Nigeria*. (2017);
- [4] **Armidale**, *Global Energy and Sustainability*. (2013);
- [5] **S. Karekezi, W. Kithyoma**, *Renewable Energy in Africa: Prospects and Limits*. (2003);
- [6] **REN21**, *Renewables 2018 Global Status Report (Paris REN21 Secretariat)*
- [7] **B. Amigun, W. Parawira**, *Anaerobic Biogas Generation for Rural Area Energy Provision in Africa*. (2012);
- [8] **G. Venturi, E. Bonari**, *Produzione di biomasse da colture erbacee dedicate e non*. (2004);
- [9] **E. Dinuccio, S. Menardo, F. Gioelli, P. Balsari**, *Valutazione della potenzialità produttiva, in termini di biogas, di alcune biomasse di origine agroindustriale*. (2009);
- [10] **K. Risberg**, *Quality and function of anaerobic digestion residues*. (2015);
- [11] **C. Herrmann, C. Idler, M. Heiermann**, *Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics*. (2016);
- [12] <https://www.biofermenergy.com/>;
- [13] [https://www.the-linde-group.com/en/clean\\_technology/clean\\_technology\\_portfolio/merchant\\_liquefied\\_natural\\_gas\\_lng/biogas/index.html](https://www.the-linde-group.com/en/clean_technology/clean_technology_portfolio/merchant_liquefied_natural_gas_lng/biogas/index.html);
- [14] **S. Varma, S. Verma, R.Namara**, *Promoting Micro-Irrigation Technologies that Reduce Poverty*. (2016);
- [15] **L. Pari**, *Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia, il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI*. (2011);
- [16] **M. Baldini, F. Danuso, A. Rocca, E. Bulfoni, A. Monti, G. De Mastro**, *Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) productivity in different Italian growing areas: a modelling approach*. (2011);
- [17] **L. Danieli, A. Aldrovandi**, *Sostituire le colture energetiche con le biomasse ad boc*. (2011)
- [18] **U. R. Fritsche, G. Berndes, A. L. Cowie, V. H. Dale and K. L. Kline, F. X. Johnson, H. Langeveld, N. Sharma, H. Watson, J. Woods**, *Global Land Outlook – Working Paper, Energy and Land use* (2017)
- [19] **Jinke Van Dam**, *Sustainable biomass production and use, Lessons learned from the Netherlands Programme Sustainable Biomass (NPSB) 2009-2013*. (2014)

# CIRCULAR BIOECONOMY

## XXI CONFERENZA SUL COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA - CONFERENZA SUI FERTILIZZANTI ORGANICI DI QUALITÀ E LA CONSERVAZIONE DELLA FERTILITÀ ORGANICA DEL SUOLO – SESSIONE TECNICA

La gestione e la valorizzazione del biorifiuto: in un'ottica di bioraffineria, la sessione affronta i temi legati alla generazione e valorizzazione dei possibili output derivanti dai processi di riciclo dei rifiuti organici, che spaziano dal biometano ai diversi tipi di fertilizzanti organici (ammendanti e concimi), oltre ai composti impiegabili in svariate applicazioni industriali. Alcuni dei contributi presentano aspetti tecnici e scientifici annessi all'uso di fertilizzanti organici che sono i prodotti del riciclo organico.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo e Comitato Tecnico del Consorzio Italiano Compostatori**

**Presidente di sessione:**

- Flavio Bizzoni, *Presidente CIC*



# Sedimenti e stratificazioni negli impianti di digestione anaerobica

*Mirco Garuti\**, [m.garuti@crpa.it](mailto:m.garuti@crpa.it), *Fabio Verzellesi\**, *Claudio Fabbri\**, *Francesco Gallucci\**

*\*Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia - Reggio Emilia*

*\*\*Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA-IT), Monterotondo (RM), Italy*

## Riassunto

*Gli obiettivi dell'attività sono stati focalizzati sulla quantificazione e caratterizzazione dei sedimenti e degli strati flottanti osservabili nei digestati prelevati in diversi impianti di digestione anaerobica alimentati con diverse tipologie di biomasse.*

*L'attività sperimentale ha contribuito a indagare sui fenomeni di formazione di stratificazione e sedimentazione in diverse tipologie di digestato. È stato possibile mettere in relazione la viscosità e la granulometria del digestato con la sua tendenza a formare stratificazioni e croste galleggianti con lo scopo di ottenere informazioni predittive per la gestione di in un impianto di biogas.*

## Summary

*The aim of the activity is focused on the quantification and characterization of sediments and of floating layers that can be seen in digestate collected from different anaerobic digestion plants fed with different types of biomass. The experimental activity supported the investigation on sedimentation and stratification phenomena in different types of digestate. It was possible to relate the viscosity and the particles size distribution of the digestate with its trend to form layers and floating crusts in order to reach predictable information for the biogas plant operation.*

## 1. Introduzione

Lo studio del comportamento reologico del digestato risulta essere di rilevante interesse sia in fase di progettazione di nuovi impianti di biogas/biometano che di gestione di impianti esistenti per ottimizzare l'effetto della miscelazione nei digestori e per limitare i fenomeni di sedimentazione e stratificazione [1].

La sedimentazione è un processo in cui i solidi presenti nelle biomasse utilizzate per alimentare l'impianto di biogas iniziano ad accumularsi sia sul fondo delle vasche in cui sono contenuti (digestori, prevasche di alimentazione, vasche di stoccaggio del digestato) che lungo le tubazioni di trasferimento, all'interno delle pompe, nei sistemi di pre/post trattamento, etc.

Una miscelazione non adeguata oltre a causare fenomeni di sedimentazione determina anche il galleggiamento dei solidi con formazione di strati flottanti o croste galleggianti [2]. I solidi con tendenza al galleggiamento che sono presenti nelle biomasse hanno caratteristiche fisiche molto diverse rispetto ai solidi che mostrano una tendenza a sedimentare. La formazione di questi strati galleggianti, sia sulla parte alta del digestore che in zone intermedie, deve essere tenuta particolarmente controllata in quanto una volta che uno strato galleggiante inizia a

formarsi tende ad aumentare la sua dimensione per aggregazioni periferiche progressive, intensificando tale fenomeno nel tempo.

Gli obiettivi dell'attività sono stati focalizzati sulla caratterizzazione di sedimenti campionati presso impianti di digestione anaerobica di tipo agro-zootecnico e sullo studio del fenomeno di stratificazione in diverse tipologie di digestato, con diversa viscosità e diversa granulometria, al fine di poter fornire informazioni utili alla progettazione e alla gestione operativa di un impianto di biogas/biometano.

## 2. Materiali e metodi

Per lo studio dei sedimenti, sono stati condotti dei sopralluoghi presso impianti di biogas soggetti a problematiche di sedimentazione ed è stato effettuato un campionamento del materiale per determinarne la distribuzione granulometrica mediante setacciatura ad umido e osservarne le varie frazioni ottenute allo stereomicroscopio.

Per lo studio del fenomeno della stratificazione, diversi campioni di digestato sono stati caratterizzati preliminarmente per determinare solidi totali, solidi volatili, viscosità (Viscosimetro rotazionale Brookfield LV-DVE), distribuzione granulometrica mediante setacciatura ad umido e area di superficie specifica (Specific Surface Area). Il calcolo dell'area di superficie specifica è stato effettuato ipotizzando una dimensione sferica dei solidi nel campione. Un cilindro di plexiglas trasparente, atto a contenere fino a 25 kg di digestato, è stato riempito e mantenuto ad una temperatura controllata di 39°C in assenza di miscelazione per 24-48 ore, a seconda del tipo di fluido. È stato possibile identificare e descrivere il fenomeno di stratificazione registrando nel tempo il volume occupato dal digestato nella colonna di stratificazione e lo spessore dello strato galleggiante. Queste determinazioni permettono di associare le caratteristiche reologiche del fluido iniziale con il fenomeno di stratificazione, classificato in tre tipologie di comportamento: i) evidente rigonfiamento e limitata stratificazione, ii) limitato rigonfiamento e limitata stratificazione, iii) evidente rigonfiamento ed evidente stratificazione

## 3. Risultati e discussione

Il contenuto di solidi totali dei sedimenti (**Tab. 1**) ha mostrato un valore compreso tra 390 g/kg e 859 g/kg, con una media di 560 g/kg. Il contenuto di solidi totali del sedimento è influenzato sia dalla tipologia del materiale che lo ha originato che dalle modalità in cui vengono svolte le operazioni di rimozione dei depositi (svuotamento delle vasche e delle prevasche, manutenzioni e ispezioni nelle linee di alimentazione delle biomasse).

Impianto	Punto di campionamento	ST (g/kg)	SV (g/kg)	Biomasse utilizzate (% espresse in p/p)
1	Digestore Secondario	614,56	411,7	Liquame bovino 64%, letame bovino 35%, effluenti avicoli 1%
2	Digestore secondario	575,72	254,29	silomais 38%, silotriticale 43%, sottoprodotti di cereali 2,5%, sansa di olive 5%, letame bovino 10%, pollina da ovaiole 1,5%
3	Contenitore di raccolta di corpi estranei del trituratore ad umido	859,02	ND	Silomais 52%, scarti di frutta 3%, liquame bovino 34%, letame di cavallo 5%, letame bovino 3%, letame suino 3%

*Segue*

Impianto	Punto di campionamento	ST (g/kg)	SV (g/kg)	Biomasse utilizzate (% espresse in p/p)
4	Post-fermentatore	686,91	ND	lettiera avicola 23%, sansa di olive due fasi 70%, insilati di cereali 7%
5	Post-fermentatore	473,95	302,38	pollina da ovaiole 15%, contenuto ruminale 3%, letame bovino 8%, sottoprodotti industria molitoria 1%, solido separato da liquame bovino 2%, sansa di olive 5%, liquame bovino 66%
6	Prevasca di caricamento	694,06	222,48	sottoprodotti dell'industria molitoria 9%, sansa di olive a tre fasi 5%, sansa di olive a due fasi 38%, silomais 38%, silosorgo 10%
7	Digestore secondario	469,47	332,11	liquame bovino 43%, letame bovino 5%, sottoprodotti industria molitoria 2%, siero di latte 1%, scarti di patate 10%, sansa di olive a tre fasi 1%, trebbie di cereali 10%, silomais 24%, silotriticale 4%
8	Digestore primario	427,54	196,81	sottoprodotti industria molitoria 14%, sottoprodotti di lavorazione delle verdure 12%, silotriticale 9%, silomais 1%, silosorgo 6%, sansa di olive a tre fasi 31%, sansa di olive a due fasi 27%
9	Digestore secondario	418,67	360,79	scarti di lavorazione del caffè 11%, pollina da ovaiole 2%, sottoprodotti di lavorazione dei cereali 3%, siloloiotto 10%, sansa di olive tre fasi 6%, liquame suino 68%
10	Digestore secondario	389,96	ND	sottoprodotti industria molitoria 5%, sottoprodotti industria lattiero-casearia 18%, silomais 10%, silosorgo 8%, sansa a due fasi 53%, lettiera avicola 6%

**Tab. 1** – Caratterizzazione dei sedimenti con indicazione del punto di campionamento e della tabella di alimentazione dell'impianto di biogas (ST= solidi totali; SV=solidi volatili).

L'utilizzo di effluenti zootecnici, quali letami bovini e avicoli e liquami di allevamenti bovini e suini, può dare origine a sedimenti di tipo inorganico rappresentati sia da ghiaia e ciottoli di diametro superiori ai 5 mm (Impianti 3 e 4, Fig. 1), originati da fenomeni abrasivi che insorgono nelle platee di stoccaggio dei letami durante le operazioni di carico, che da sabbie fini con diametro compreso tra 0,1-0,3 mm, provenienti dall'usura delle pavimentazioni degli allevamenti (Impianto 1, Fig. 1). Nei sedimenti degli impianti che utilizzano pollina da ovaiole è stato identificato il grit utilizzato in alimentazione zootecnica per la corretta assunzione e digestione del cibo negli animali. Questi hanno bisogno, infatti, di assumere tali sassolini duri ed appuntiti per assorbire al meglio i nutrienti del cibo e per poter riuscire a digerirlo più efficientemente. Le classi granulometriche maggiormente significative in cui è stato identificato il grit nel sedimento sono quelle tra 0,5-1 mm e tra 1-2 mm (Impianto 2, Fig. 1).

I frammenti di nocciolino contenuti nella sansa di olive (in particolare nella sansa di olive a tre fasi) rappresentano una frazione significativa nei sedimenti campionati negli impianti di biogas in cui questa biomassa è utilizzata (Impianto 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, Fig. 1). I frammenti di nocciolino di sansa di oliva hanno una granulometria prevalentemente compresa tra 1 e



3,15 mm. L'utilizzo di sansa di olive a tre fasi denocciolata o l'utilizzo di sansa a due fasi non garantisce una completa assenza di frammenti di nocciolino.

Nei sedimenti campionati nella maggior parte degli impianti è stato identificato anche materiale organico non digerito, ma potenzialmente ancora utilizzabile da microrganismi anaerobici. Il meccanismo con cui si forma il sedimento provoca l'inglobamento di sostanza organica con diametro maggiore di 3,15 mm, in proporzioni variabili rispetto agli inerti inorganici e diverse da caso a caso.

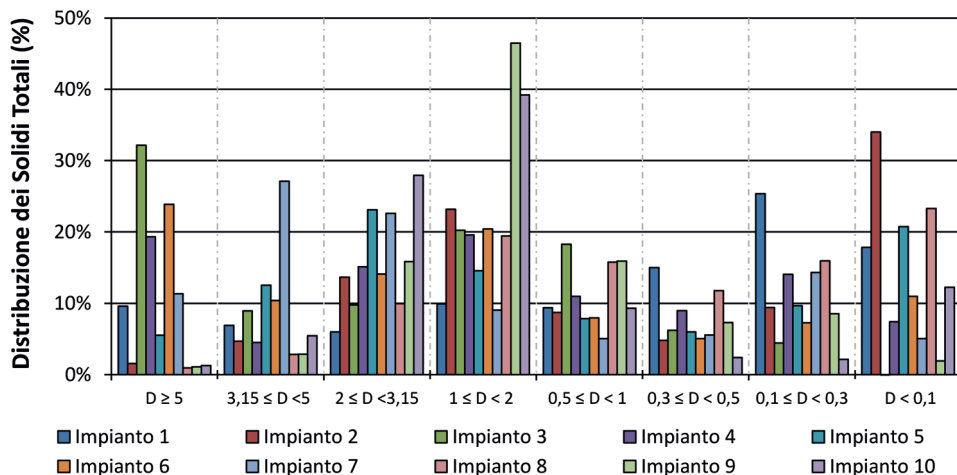


Fig. 1 – Distribuzione granulometrica dei solidi presenti nei sedimenti dei 10 impianti monitorati (D= Diametro dei solidi ritrovati nel sedimento espresso in mm).

In Tab. 2 vengono riportati i sei digestati sui quali è stato condotto lo studio riguardante la stratificazione del digestato.

Prova	Biomasse utilizzate (% espresse in p/p)	ST (g/kg)	SV (g/kg)	Viscosità apparente, 39°C @10 rpm (cP)	Area di superficie specifica (m <sup>2</sup> /kgST)
A	silotriticale 50%, silosorgo 30%, letame bovino 20%,	128,92	100,11	11210	33,46
B	Silomais 50%, silotriticale 25%, silosorgo 15%, letame bovino 10%,	98,95	72,74	5113	33,95
C	sottoprodotti industria molitoria 7%, sottoprodotti industria lattiero-casearia 23%, silomais 13%, silotriticale 5%, silosorgo 3%, sansa a due fasi 45%, lettiera avicola 4%	61,04	43,22	67	44,07
D	Letame bovino 27%, liquame bovino 73%	72,1	53,26	944	31,93

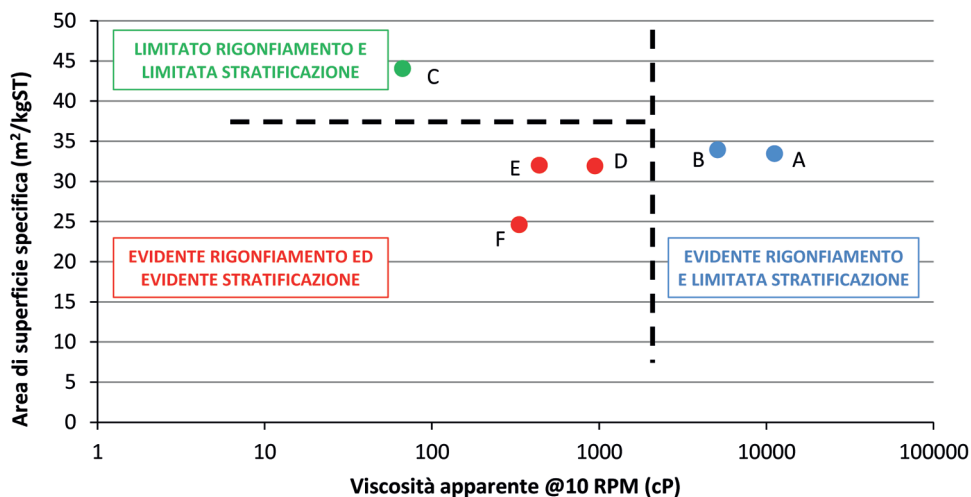
Segue

Prova	Biomasse utilizzate (% espresse in p/p)	ST (g/kg)	SV (g/kg)	Viscosità apparente, 39°C @10 rpm (cP)	Area di superficie specifica (m <sup>2</sup> /kgST)
E	Liquame suino 77%, vinacce 16%, silomais 7%	104,79	80,57	332	24,62
F	Liquame suino 77%, vinacce 16%, silomais 7% (Biomasse sottoposte a pretrattamento meccanico prima dell'utilizzo)	84,56	62,23	439	32,02

**Tab. 2** – Caratterizzazione dei digestati usati nelle prove di stratificazione (ST= solidi totali; SV=solidi volatili).

La stratificazione si è presentata, con intensità variabili, nella maggior parte dei digestati valutati (prova A, B, D, E, F). È stato osservato un fenomeno graduale nel tempo che ha comportato, entro le prime 20 ore dall'inizio della prova, un aumento del volume occupato dal digestato (rigonfiamento). Nei casi di intensa stratificazione lo strato flottante si è separato dalla fase liquida formando una crosta galleggiante ben visibile e solo parzialmente immersa nel digestato (Prove D, E, F). La crosta galleggiante è costituita da insilati di cereali, paglie, graspi e, in generale, da componenti fibrose non totalmente digerite dai microrganismi anaerobici e il suo galleggiamento è favorito anche dalla produzione del biogas residuo nel digestato [3]. Sulla base delle prove sperimentali effettuate è stato possibile delineare i seguenti comportamenti (**Fig. 2**):

- quando l'area di superficie specifica nel digestato è tra 30-35 m<sup>2</sup>/kgST ma la viscosità apparente è superiore a 2500 cP (39°C, 10 rpm) si osservano evidenti fenomeni di rigonfiamento e limitati fenomeni di stratificazione (prove A, B).
- in una situazione di viscosità del digestato inferiore a 100 cP e area di superficie specifica maggiore di 40 m<sup>2</sup>/kgST si osservano limitati fenomeni di rigonfiamento e di stratificazione dovuta alla favorevole condizione di fuoriuscita del biogas dalla fase liquida e alla limitata presenza di solidi con diametro maggiore di 1 mm (prova C).
- al diminuire della viscosità e dell'area di superficie specifica si osserva un evidente rigonfiamento e un'evidente stratificazione del digestato con comparsa di croste galleggianti (prove D, E, F). Questa situazione è stata riscontrata in particolare quando l'area di superficie specifica del digestato è inferiore a 33 m<sup>2</sup>/kg ST e la viscosità apparente è inferiore a 1000 cP (39°C, 10 rpm);



**Fig. 2** – Relazione tra la viscosità e l'area di superficie specifica nel digestato rispetto alla tendenza a formare stratificazioni e croste galleggianti.

#### 4. Conclusioni

L'attività sperimentale ha contribuito ad indagare sui fenomeni di sedimentazione e stratificazione in diverse tipologie di digestato. Conoscere in che modo si può originare un sedimento in un impianto di digestione anaerobica permette di programmare operazioni di pulizia, riducendo perdite di produzione rispetto ad interventi di manutenzione non programmati. Nonostante il comportamento fluidodinamico del digestato in impianti di digestione anaerobica sia soggetto a numerose variabili e non sia semplice modellarne il comportamento, con la presente attività sperimentale è stato possibile mettere in relazione la viscosità, la granulometria dei solidi nel digestato e la tendenza del digestato a formare stratificazioni e croste galleggianti.

#### Bibliografia

- [1] Karim, K., Thomas Klasson, K., Hoffmann, R., Drescher, S.R., DePaoli, D.W., Al-Dahhan, M.H., 2005. Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing. *Bioresour. Technol.* 96, 1607–1612.
- [2] Subramanian, B., Pagilla, K.R., 2014. Anaerobic digester foaming in full-scale cylindrical digesters – effects of organic loading rate, feed characteristics, and mixing. *Bioresour. Technol.* 159, 182–192.
- [3] Kaparaju, P., Angelidaki, I., 2008. Effect of temperature and active biogas process on passive separation of digested manure. *Bioresource Technology* 99, 1345–1352.

**Attività condotta nell'ambito del progetto AGROENER “Energia dall'agricoltura, innovazioni sostenibili per la bioeconomia” (MiPAAF, D.D. N. 26329 del 1/04/2016), WP 5 “Realizzazione impianti sperimentali, dimostrazioni e divulgazione” (WP leader: Francesco Gallucci).**

# $^{15}\text{N}$ e $^{13}\text{C}$ nella valutazione dell'uso dell'azoto e della conservazione del carbonio da compost

*Marco Grigatti [marco.grigatti@gmail.com](mailto:marco.grigatti@gmail.com), Giampaolo Di Biase, Alja Margon, Claudio Ciavatta  
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari - Alma Mater Studiorum Università di  
Bologna*

## Riassunto

*L'abbondanza naturale degli isotopi stabili di azoto ( $^{15}\text{N}$ ) e del carbonio ( $^{13}\text{C}$ ) di quattro compost (ACV;  $\text{ACM}_{\text{dig}}$ ; ACF; ACM) impiegati a 10 e 20 Mg SO  $\text{ha}^{-1}$ , è servita per stimare l'utilizzo di N in loietto e la variazione della firma isotopica del carbonio del suolo ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ ) al termine di un ciclo di coltivazione (112 gg).  $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACF presentavano le maggiori efficienze d'uso dell'N ( $^{15}\text{NRF}$ : 9-16%), in accordo con il maggiore apporto di N-minerale. Nel suolo il  $\Delta^{13}\text{C}\%$  variava tra -25,39 e -25,55 (controllo vs. NPK); tra -26,76 e -26,55 in ACV e  $\text{ACM}_{\text{dig}}$ . ACF e ACM mostravano valori intermedi (-25,94; -26,06). Il  $\Delta^{13}\text{C}\%$  nei vari trattamenti era legato da una relazione lineare con le emissioni di  $\text{CO}_2$ , evidenziando una riduzione della capacità di conservazione del C nei prodotti meno stabili che era influenzata dal livello di applicazione degli stessi. Tanto maggiore è l'applicazione di compost non completamente stabile tanto minore risulta il C conservato nel suolo.*

## Summary

*The natural abundance of stable isotopes of nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ) and carbon ( $^{13}\text{C}$ ) of four composts (ACV;  $\text{ACM}_{\text{dig}}$ ; ACF; ACM) applied at 10 and 20 Mg OM  $\text{ha}^{-1}$ , was used to estimate the utilization of N in ryegrass and the variation of the soil carbon isotopic signature ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ ) at the end of a cultivation cycle (112 days).  $\text{ACM}_{\text{dig}}$  and ACF showed the greatest N use efficiency ( $^{15}\text{NRF}$ : 9-16%), in agreement with their higher mineral-N. At the end of the test the  $\Delta^{13}\text{C}\%$  ranged between -25.39 and -25.55 (control vs. NPK); between -26.76 and -26.55 in ACV and  $\text{ACM}_{\text{dig}}$ , while ACF and ACM were intermediate (-25.94; -26.06). The  $\Delta^{13}\text{C}\%$  in the various treatments was described by a linear relationship with  $\text{CO}_2$  emissions, highlighting a reduction in the carbon's storage capacity in the less stable products, being this influenced by the application level. The greater the application of not completely stable compost, the smaller is the C conserved in the soil.*

## 1. Introduzione

In seguito alla applicazione delle politiche europee in materia di gestione virtuosa dei rifiuti, in questi ultimi anni in Italia si è assistito ad un notevole incremento del recupero dei rifiuti organici tramite compostaggio, accoppiato o meno alla digestione anaerobica (DA). Questo ha avuto come conseguenza la produzione di notevoli quantità di materiali organici trattati biologicamente che possono essere favorevolmente impiegati in agricoltura come ammendanti, con benefici effetti sulla nutrizione delle piante, sulla fertilità biologica e sulla conservazione del carbonio [1]. Tuttavia ancora poco conosciuta è la loro effettiva capacità fertilizzante sia per l'azoto (N) che per il fosforo (P). Questo aspetto risulta particolarmente poco studiato nei prodotti derivanti dalla DA, in quanto questa tecnologia ha visto una crescita esponenziale

solo in tempi recenti. Le norme che regolano l'impiego in agricoltura dei compost nella Regione Emilia-Romagna, prevedono il 40% di efficienza d'uso dell'N (nell'anno di distribuzione). La distribuzione dei compost ai suoli agrari è quindi limitata in funzione della massima applicazione standard di N (MAS), in molte zone della Pianura padana ricomprese nelle zone vulnerabili ai nitrati (ZVN). Questi valori di efficienza d'uso dell'N spesso non trovano effettivo riscontro nelle risposte agronomiche delle varie colture, rendendo poco efficiente l'impiego di compost nei piani di fertilizzazione. Scoraggiando di fatto l'impiego razionale e su larga scala di questi prodotti. Tra le varie tecniche possibili per la valutazione della efficienza d'uso dell'N da parte delle piante, l'impiego degli isotopi stabili dell'azoto ( $^{15}\text{N}$ ) è tra quelle più promettenti. I prodotti sottoposti a stabilizzazione biologica (aerobica; anaerobica o accoppiate), presentano spesso un arricchimento naturale in  $^{15}\text{N}$  che permette di seguirne il destino nella pianta consentendo valutazioni puntuali della efficienza d'uso dello stesso. Allo stesso modo i prodotti sottoposti a trattamento biologico presentano spesso anche un arricchimento in  $^{13}\text{C}$  che permette di seguire il destino del C addizionato al suolo con i compost [2]. In questo ambito gli obiettivi di questo lavoro sono stati quelli di determinare: (i) l'efficienza d'uso dell'N tramite lo studio dell'assorbimento di  $^{15}\text{N}$  in piante di loietto; (ii) lo studio della variazione della firma isotopica del C del suolo ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ ), in seguito all'impiego di compost che presentavano un significativo arricchimento naturale degli elementi ( $^{15}\text{N}$ ;  $^{13}\text{C}$ ).

## 2. Relazione

### 2.1. Materiali e metodi

#### 2.1.1 I materiali analizzati

I compost impiegati nella prova erano diversificati per matrici di partenza, tempo e modalità di lavorazione. L'ACV (ammendante compostato verde) era formato da soli scarti ligno-cellulosici, ACM<sub>dig</sub> (ammendante compostato misto) era formato da: digestato + scarti ligno-cellulosici (45:55<sub>dig</sub>%), ACF (ammendante compostato con fanghi) era formato da: fanghi (urbani-agroalimentari) + materiali ligno-cellulosici (50:50), ACM<sub>2</sub> (ammendante compostato misto) è stato preparato da FORSU + scarti ligno-cellulosici (60:40%). I prodotti sono stati forniti dal Consorzio Italiano Compostatori (CIC).

#### 2.1.2 Caratteristiche dei materiali

Sui prodotti freschi sono stati determinati il pH, il contenuto di solidi totali (ST), di solidi volatili (SV), l'N minerale e l'oxygen uptake rate (OUR), secondo la metodologia proposta da Grigatti et al. [3]. Successivamente i campioni sono stati essiccati all'aria, macinati e analizzati per le principali caratteristiche chimiche. I contenuti di carbonio (C) organico e di azoto (N) totale accanto all'arricchimento naturale in  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$  nei prodotti organici è stato determinato tramite Continuous Flow-Isotope Ratio Mass Spectrometry (CF-IRMS, Delta Plus Thermo Scientific). Sono state effettuate due repliche di ogni campione per ogni analisi.

#### 2.1.4 Prova in vaso su loietto

I quattro compost (ACV; ACM<sub>dig</sub>; ACM e ACF) sono stati impiegati a due livelli (equivalenti a 10 e 20 ton di SO ha<sup>-1</sup>), in un ciclo di coltivazione su loietto allevato in vaso, contenenti 1 kg suolo secco (112 gg; 4 raccolte), a confronto con una fertilizzazione chimica (NPK), e un controllo non fertilizzato (Ctrl). Nei tessuti delle piante è stato determinato l'arricchimento in  $^{15}\text{N}$ , e al termine del ciclo di coltivazione è stata valutata la firma isotopica del carbonio nei suoli ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ ). I valori di  $^{15}\text{N}$  sono stati espressi come eccesso atomico percentuale (%) corretti per la abbondanza naturale di fondo (0.366%). L'ammontare di N nei tessuti vegetali derivato dal fertilizzante ( $N_{\text{diff}}$ ) è stato calcolato come:

$$N_{diff} (\%) = (B-A) / (C-A) \times 100$$

Dove “A” è  $^{15}\text{N}$  l’abbondanza naturale di fondo, “B” è l’eccesso isotopico ( $^{15}\text{N}$ ) nei tessuti vegetali, “C” è l’eccesso isotopico ( $^{15}\text{N}$ ) nell’N dei compost [4].

$$^{15}\text{NRF} (\%) = N (c-b) \times 100 / R (a-b)$$

Dove  $N$  è il contenuto totale in azoto nei tessuti vegetali, “a” è l’abbondanza naturale ( $^{15}\text{N}$ ) dei diversi compost, “b” è l’eccesso isotopico ( $^{15}\text{N}$ ) nei tessuti vegetali del controllo, “c” è la abbondanza naturale ( $^{15}\text{N}$ ) dei tessuti nei diversi trattamenti, “R” è il totale dell’N fornito con i compost [4]. L’abbondanza relativa ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ ) del suolo al termine della coltivazione nelle varie tesi è stato calcolato come:

$$\Delta^{13}\text{C} (\%) = [({}^{13}\text{C}_{suolo} / {}^{12}\text{C}_{suolo}) - ({}^{13}\text{C}_{ref} / {}^{12}\text{C}_{ref}) / ({}^{13}\text{C}_{ref} / {}^{12}\text{C}_{ref})] \times 1000$$

Dove “ ${}^{13}\text{C}_{suolo}$ ” e “ ${}^{12}\text{C}_{suolo}$ ” sono i valori di  ${}^{13}\text{C}$  e  ${}^{12}\text{C}$  del suolo, mentre “ ${}^{13}\text{C}_{ref}$ ” e “ ${}^{12}\text{C}_{ref}$ ” sono i valori di  ${}^{13}\text{C}$  e  ${}^{12}\text{C}$  dello standard di riferimento (PDB) [2].

### 3 Risultati e discussione

#### 3.1. Principali caratteristiche dei compost

Le principali caratteristiche dei prodotti sono riportate nella Tabella 1. I compost  $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACF presentavano i valori più bassi di pH (8,04 *vs.* 8,18), mentre ACV e ACM si attestavano su valori maggiori (8,84 *vs.* 8,91). I prodotti confrontati presentavano marcate differenze nel contenuto in C che risultava nel primo gruppo ( $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACF) del 30% minore rispetto al secondo (ACV e ACM), (240 *vs.* 310  $\text{g kg}^{-1}$ ). Queste variazioni, unitamente a quelle del contenuto in N, facevano variare il rapporto C:N tra 9 ( $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACF) e  $\approx 15$  (ACV e ACM). I diversi compost presentavano per la maggior parte una buona stabilità biologica, facendo registrare valori di OUR compresi nell’intervallo 5-15  $\text{mmol O}_2 \text{kg}^{-1} \text{VS h}^{-1}$ , tra i prodotti solamente ACM risultava molto instabile ( $\text{OUR} > 60 \text{mmol O}_2 \text{kg}^{-1} \text{VS h}^{-1}$ ). La presenza di N minerale ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) risultava diversa nei prodotti confrontati. ACV presentava il contenuto minore ( $\approx 700 \text{mg kg}^{-1}$ ),  $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACF mostravano un contenuto 9-10 superiore rispetto ad ACV, mentre ACM risultava intermedio ( $\approx 3300 \text{mg kg}^{-1}$ ).

L’abbondanza naturale in  $^{15}\text{N}$  era decisamente variabile, attorno a 4‰ in ACV mentre si poneva attorno a 8‰ in  $\text{ACM}_{\text{dig}}$  e ACM, raggiungendo il massimo in ACF (11,60‰). Contestualmente l’arricchimento in  $^{13}\text{C}$  variava tra -27,91 e -25,54‰ in ACV e  $\text{ACM}_2$ . Questi valori erano in linea con quanto riportato in letteratura per prodotti simili [2].

Prodotto	pH	ST ( $\text{g kg}^{-1}$ )	SV ( $\text{g kg}^{-1}$ )	C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	C:N	OUR ( $\text{mmol O}_2 \text{kg}^{-1} \text{VS h}^{-1}$ )	N-Min ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	$^{15}\text{N}$ ( $\Delta^{15}\text{N}\%$ )	$^{13}\text{C}$ ( $\Delta^{13}\text{C}\%$ )
ACV	8,91	590	525	304	16	7	707	3,99	-27,91
$\text{ACM}_{\text{dig}}$	8,04	675	400	233	9	6	5511	8,01	-27,06
ACF	8,18	680	375	241	9	9	7787	11,60	-26,41
$\text{ACM}_2$	8,84	680	545	312	14	62	3298	8,21	-25,54

I valori sono la media di due repliche. Deviazione media <5%; I dati (a parte pH e CE) sono espressi sui ST.

**Tab. 1** – Principali caratteristiche fisico-chimiche dei compost impiegati nello studio.

### 3.2. Assorbimento ed utilizzo di N in loietto

Come mostrato in Tabella 2, il contenuto in N rilevato nei tessuti fogliari delle piante di loietto era massimo al primo campionamento (28 gg; 37,2 mg g<sup>-1</sup>), per poi presentare una rapida discesa nei tagli successivi tra i giorni 56 e 112 (11,6 vs. 3,9 mg g<sup>-1</sup>, in media). In questo contesto al termine dell'esperimento ACV presentava le asportazioni minori, molto vicine a quanto rilevato nel controllo ( $\approx 50$  mg vaso<sup>-1</sup>). ACM mostrava una performance negativa con valori totali di N asportato inferiori al controllo ( $\approx 40$  mg vaso<sup>-1</sup>). ACM<sub>dig</sub> e ACF mostravano invece performance decisamente superiori attestandosi al 60-70% e 70-90% rispetto a quanto mostrato da NPK al termine della prova (77 mg g<sup>-1</sup>). Come evidenziato in Figura 1, una analisi più approfondita condotta tramite lo studio del <sup>15</sup>N nei tessuti delle piante, ha permesso di calcolare l'azoto derivato da fertilizzante ( $N_{diff}$ ) nei vari trattamenti. Ne emergeva che in ACV questo praticamente non era registrabile. Al contrario in ACM<sub>dig</sub> e ACF l'N presente nella pianta e derivato da compost ( $N_{diff}$ ) rappresentava il 30-50% dell'N totale asportato se impiegato al minore (L-1), mentre raggiungeva il 65-75% se impiegato al livello maggiore (L-2). Questi risultati erano in accordo con il diverso rapporto C:N dei vari prodotti ed anche con il diverso contenuto in N-min che risultava essere maggiore in ACF. Allo stesso modo anche l'N<sub>diff</sub> determinato in ACM era coerente con il suo C:N ed N-min, presentando valori molto inferiori a quelli di ACM<sub>dig</sub> e ACF (Figura 1).

Trattamento	Livello	Giorni dalla semina					Somma (28-112)
		28	56	84	112	Media (0-112)	
<b>N (mg vaso<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Controllo</b>		30,3	10,2	6,0	3,5	12,5 cd	50,0 bc
ACV	1	31,0	10,3	6,6	3,4	12,8 cd	51,3 bc
	2	27,7	9,2	5,9	3,2	11,5 d	46,0 d
ACM <sub>dig</sub>	1	33,8	10,7	7,1	3,9	13,9 c	55,4 c
	2	44,9	12,5	8,4	4,6	17,6 b	70,4 b
ACF	1	46,3	13,0	7,1	3,4	17,4 b	69,7 b
	2	56,7	18,6	9,1	4,2	22,1 a	88,6 a
ACM	1	26,0	8,2	6,6	3,9	11,2 d	44,6 d
	2	22,6	9,1	7,1	4,6	10,9 d	43,4 d
NPK		52,5	14,1	6,7	3,8	19,3 b	77,1 b
<b>Media</b>		37,2 a	11,6 b	7,1 c	3,9 d		

**NPK:** fertilizzante minerale. In ogni colonna lettere differenti indicano medie statisticamente diverse in base al test di Tukey (P <0,05).ns: non significativo.

**Tab. 2** – Asportazioni totali di N, in tessuti fogliari di loietto nelle quattro raccolte successive (28-112 giorni).

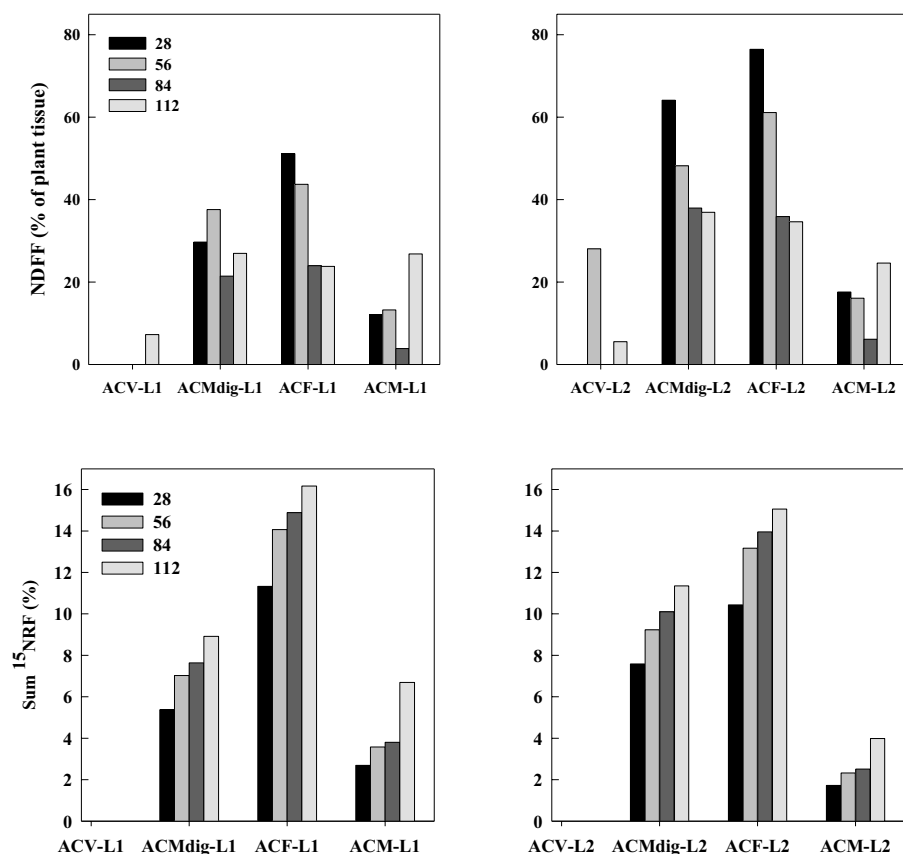
Oltre a  $N_{diff}$  anche lo studio di <sup>15</sup>NRF può fornire importanti informazioni sulle dinamiche dell'utilizzo dell'N da compost da parte delle piante di loietto, più in particolare questo parametro può fornire l'efficienza d'uso del nutriente (N). Come evidenziato in Figura 1 anche in questo caso ACM<sub>dig</sub> e ACF presentavano le prestazioni migliori con valori però molto diversi al primo taglio (giorno 28), mostrando un <sup>15</sup>NRF% compreso tra 5 e 11 (ACM<sub>dig</sub> e ACF) (Figura 1). Nel corso della prova (giorni 28-112) si poteva rilevare un incremento quasi costante di <sup>15</sup>NRF% da 5 a 9% in ACM<sub>dig</sub>, mentre ACF presentava un incremento da 11 a 14% tra il primo ed il secondo taglio (giorni 28-56), per poi evidenziare un andamento costante fino a raggiungere il 16% al termine della prova in vaso (Figura 1). Questo tipo di utilizzo dell'N era



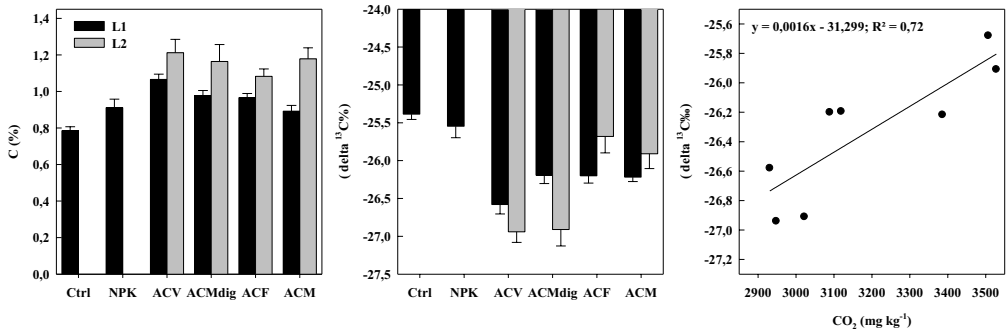
da relazionare alla presenza di N-min che era stato assorbito dalla piante nella prima fase della prova in vaso (28 gg), questa quota di utilizzo rappresentava infatti il 60 ed il 70% dell'utilizzo totale di N da compost in ACM<sub>dig</sub> e ACF.

### 3.3. Carbonio totale e firma isotopica nel suolo ( $\Delta^{13}C\%$ ) in seguito ai diversi trattamenti

In Figura 2 è rappresentato il contenuto in carbonio totale (C%) determinato nel suolo al termine della coltivazione di loietto (112 gg). I dati dimostrano che tutti i trattamenti si ponevano al di sopra del controllo, anche NPK che non ha ricevuto addizione di materiale organico. Risulta noto in letteratura che la deposizione di essudati radicali oltre che ai residui radicali stessi possano influenzare questo parametro. La variazione netta "apparente" di C nei vari trattamenti ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) era la minore in ACM-L1 (1072) < NPK (1260) < ACF-L1 (1808) < ACM<sub>dig</sub>-L1 (1916) < ACV-L1 (2808) < ACF-L2 (2980) < ACM<sub>dig</sub>-L2 (3796) < ACM-L2 (3935) < ACV-L2 (4270). Questo lasciava intravedere un effetto generalmente positivo dell'impiego di compost sul contenuto totale di C in seguito ai vari trattamenti senza però permetterci di comprendere la quota effettiva di C addizionato con i compost che era ancora presente al termine del ciclo di coltivazione. La quota calcolata con questo metodo risultava infatti sempre superiore al 100% rispetto al C aggiunto con i diversi compost.



**Fig. 1** – Andamento dell'azoto derivato da fertilizzante ( $N_{eff}$ ) (in alto) e dell'utilizzo cumulativo dell'azoto da fertilizzante ( $^{15}NRF$ ) (in basso) determinato nei tessuti vegetali nel corso della coltivazione di loietto con i compost a confronto ai due livelli di applicazione (L1; L2).



**Fig. 2** – Carbonio totale e firma isotopica ( $\Delta^{13}C\%$ ) determinata nel suolo al termine della coltivazione di loietto (112 gg), con i compost a confronto ai due livelli di applicazione (L1; L2).

La firma isotopica del C ( $\Delta^{13}C\%$ ) dei suoli trattati con i vari compost invece ci mostrava andamenti differenti sia tra i vari prodotti che tra i livelli di impiego degli stessi. Più in particolare emergeva che ACV e ACM<sub>dig</sub> presentavano in media valori più negativi di  $\Delta^{13}C\%$ , con anche un significativo calo all'incremento della quantità di compost applicata. ACF e ACM oltre a presentare valori più elevati mostravano anche un effetto della dose di impiego. Alle dosi maggiori i valori di  $\Delta^{13}C\%$  tendevano ad avvicinarsi a quelli del controllo. Questo fenomeno è riportato in letteratura [5] e descritto come un effetto della attività dei microrganismi che preferibilmente utilizzano <sup>12</sup>C, arricchendo progressivamente in <sup>13</sup>C la sostanza organica residua (rendendo meno negativa la firma isotopica). Questa istanza era confermata dalla relazione lineare rilevata tra le emissioni totali di CO<sub>2</sub> (Fig. 3), nella quale si evidenzia che i prodotti meno stabili (ACM e ACF) con i maggiori livelli di respirazione erano quelli con  $\Delta^{13}C\%$  minori.

## Conclusioni

I compost analizzati in questo lavoro (ACV; ACM<sub>dig</sub>; ACF; ACM) presentavano arricchimenti naturali dell'isotopo stabile <sup>15</sup>N che nella maggior parte dei casi potevano essere efficacemente impiegati nello studio delle cinetiche di utilizzo dell'N in loietto. I risultati ottenuti in questo lavoro tramite lo studio della abbondanza isotopica naturale in <sup>15</sup>N nei tessuti di loietto evidenziavano che le efficienze d'uso dell'N nei compost impiegati in suolo per la nutrizione azotata delle piante era molto minore rispetto al 40% indicato nelle norme e generalmente compreso tra il 10 ed 15% nell'arco di una stagione colturale.

Inoltre anche lo studio dell'abbondanza naturale dell'isotopo stabile <sup>13</sup>C dei prodotti compostati può rappresentare una via di studio alla conservazione del carbonio nel suolo. Anche se non è stato possibile procedere alla determinazione quantitativa del carbonio proveniente da compost in tutte le tesi a confronto, al termine della coltivazione la firma isotopica ( $\Delta^{13}C\%$ ) dei suoli che hanno previsto l'impiego dei vari compost risultava significativamente modificata, indicando la possibilità di impiegare questa tecnica per seguire il destino del C addizionato ai suoli con i prodotti organici compostati.

## Bibliografia

- [1] Slorach, P.C., Jeswani, H.K., Cuéllar-Franca, R., Azapagic, A., 2019. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. *Journal of Environmental Management*, 236, 798-814.
- [2] Lynch, D. H., Voroney, R. P., Warman, P.R., 2006. Use of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N natural abundance techniques to characterize carbon and nitrogen dynamics in composting and in compost-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(1), 103-114.

- [3] **Grigatti M., Pérez M.D., Blok W.J., Ciavatta C., Veeken A.**, 2007. A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization capacity of natural organic matter sources. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 1493–1503.
- [4] **Hauck, R.D., Bremner, J.M.**, 1976. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Advances in agronomy*, 28, 219-266
- [5] **Ehleringer, J.R., Buchmann, N., Flanagan, L.B.**, 2000. Carbon isotope ratios in belowground carbon cycle processes. *Ecological Applications*, 10, 412-422.

# Il potenziale metanigeno (BMP) della FORSU

*Soldano Mariangela, [m.soldano@crpa.it](mailto:m.soldano@crpa.it), Labartino Nicola,*

*Piccinini Sergio*

*Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA Lab, Sezione Ambiente ed Energia - Reggio Emilia*

## **Riassunto**

*Il presente lavoro riporta i risultati della caratterizzazione chimica e la misura del potenziale metanigeno (mediante test BMP) di campioni di FORSU, Frazione Organica del Rifiuto Urbano. La natura eterogenea e la variabilità della composizione dei rifiuti organici rendono difficili le stime della sua composizione; la misura della produzione specifica di metano permette di valutarne il loro uso in digestione anaerobica, per un ulteriore recupero energetico. Si riportano i risultati delle analisi effettuate di oltre 60 campioni di FORSU e di spremuta di FORSU, provenienti da diverse località nazionali.*

## **Summary**

*The present work reports the results of the chemical characterization and measurement of the methanogenic potential (by BMP test) of biowaste samples, the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). The heterogeneous nature and variability of the composition of organic waste makes it difficult to estimate or measure its composition; methane specific production measurement allows us to evaluate its use in anaerobic digestion, for further energy recovery. Analyzes on over 60 OFMSW and OFMSW “juice” samples, from different national locations, are reported.*

## **1. Introduzione**

L'Italia si conferma in Europa il paese al primo posto nel settore della raccolta differenziata e la filiera industriale di recupero e riciclaggio del rifiuto organico è in continua espansione e crescita (rapporto CIC, 2018) [1]. Nel concetto di economia circolare, il recupero di rifiuti e sottoprodotti agroindustriali per la produzione di biometano e il conseguente ottenimento di compost e digestato come fertilizzanti dei suoli, è la nuova prospettiva di sviluppo del settore. La frazione organica del rifiuto urbano (FORSU) è un substrato prevalentemente solido, costituito da particelle di dimensioni relativamente grandi. È di natura eterogenea con una mescolanza complessa che di solito rende difficili le stime o le misure della sua composizione. La variabilità nella composizione dei rifiuti organici è sempre molto elevata e la degradabilità anaerobica dipende principalmente dalla composizione e dalla natura della materia prima. Il suo contenuto in residui alimentari, di giardinaggio (foglie e sfalci) carta e residui inorganici come metalli, vetro, polvere, pietre e plastica, varia anche a seconda della stagionalità e provenienza.

La frequenza di raccolta non elevata e/o un trasferimento non immediato all'impianto di trattamento, ha come conseguenza la perdita parziale della fermentescibilità iniziale. Dal momento in cui la FORSU viene raccolta in casa, fino al raggiungimento all'impianto di biogas l'acqua evapora e la sostanza organica inizia a degradare formando anidride carbonica e AGV

(acidi grassi) [2]. La gestione del sistema di raccolta della FORSU può influire sulla quantità di energia rinnovabile prodotta.

Pertanto, la determinazione della resa specifica di metano permette di calcolare il rendimento energetico reale per unità di peso tal quale, parametro necessario per il dimensionamento di un impianto di digestione anaerobica che opera su rifiuti organici [3].

Il presente lavoro riporta i risultati della caratterizzazione chimica e la misura del potenziale metanigeno (mediante test BMP) di oltre 60 campioni di FORSU e spremuta di FORSU, provenienti da diverse località nazionali.

## 2. Materiali e metodi

I campioni di FORSU analizzati, presso il laboratorio CRPA, provengono da diverse provincie della regione Emilia Romagna e, in minima parte, anche da altre località nazionali, campionati sia nel periodo estivo che invernale.

È stata valutata la qualità per la loro trasformazione energetica, attraverso la caratterizzazione chimica con la determinazione della sostanza secca e della sostanza organica e in alcuni casi il contenuto di azoto. È stata condotta la misura del potenziale biochimico metanigeno (BMP) tramite il sistema di misura presente presso CRPA Lab, costituito da mini reattori di digestione anaerobica di 1,35 L di volume utile; i test sono stati condotti in mesofilia a 38°C, in conformità con la norma UNI EN ISO 11734:2004. [4].

## 3. Risultati e discussione

La **Tab. 1** riporta i risultati dei parametri chimici analizzati e il dato di BMP ottenuto in reattori batch di campioni di FORSU analizzati in laboratorio. In **Tab. 2** gli stessi risultati per campioni di spremuta di FORSU, ovvero ottenuti dopo un pretrattamento che prevede l'operazione di spremitura della stessa e avvio al digestore del solo colaticcio (denominato spremuta di FORSU) e dei percolati, per ridurre la quota di materiale inerte da inviare all'impianto di digestione anaerobica.

	ST [g/kg]	SV [g/kg]	SV [%ST]	NTK <sup>1)</sup> [mg/kg]	NTK <sup>1)</sup> [%ST]	BMP <sup>2)</sup> [Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV]	BMP <sup>2)</sup> [Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t tq]	CH <sub>4</sub> nel biogas [%]	Degradabi- lità SV <sup>3)</sup> [%]
<b>Media</b>	329,5	275,4	83,6	5642	2,05	328,6	85,3	59,3	67,4
<b>Dev.st</b>	92,0	82,0	89,1	1060	0,44	114,6	26,2	3,2	21,3
<b>C.V.</b>	28%	30%	9%	19%	21%	35%	31%	5,4	31,7
<b>Min.</b>	143,1	111,1	77,7	3624	1,29	109,9	30,5	53	26,1
<b>Max.</b>	629,4	580,1	92,2	8086	2,92	754,4	168,8	66,7	137,3

<sup>1)</sup> Valore medio di 25 campioni;

<sup>2)</sup> il test **BMP** misura la produzione massima di metano ottenibile per degradazione anaerobica della sostanza organica contenuta nelle biomasse ed espressa in Nm<sup>3</sup> per kg solidi volatili. I test sono stati svolti ad una temperatura di processo di 38°C e per una durata di 27 giorni;

<sup>3)</sup> degradabilità massima dei solidi volatili del substrato sottoposto a test (al lordo delle moli di H<sub>2</sub>O per l'idrolisi dei solidi volatili).

**Tab. 1** – Risultati delle analisi chimiche e della misura del potenziale metanigeno (BMP) di 67 campioni di FORSU (ST= solidi totali; SV=solidi volatili, NTK= azoto totale Kjeldahl, C.V.= coefficiente di variazione).

	ST [g/kg]	SV [g/kg]	SV [%ST]	NTK <sup>4)</sup> [mg/kg]	NTK <sup>4)</sup> [%ST]	BMP [Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV]	BMP [Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t tq]	CH <sub>4</sub> nel biogas [%]	Degrada- bilità SV [%]
<b>Media</b>	158,8	121,1	76,3	4510	4,0	418,8	47,0	64,4	75,3
<b>Dev.st</b>	136,8	104,5	2,4	-	-	66,6	34,4	4,4	3,2
<b>C.V.</b>	86%	86%	2%	-	-	16%	73%	6,9	4,3
<b>Min.</b>	60,8	44,4	72,9	4470	2,7	350,1	24,0	58,3	71,5
<b>Max.</b>	428,0	326,4	76,2	4551	5,2	542,2	114,3	71,8	81,2

<sup>4)</sup> Valore medio di 2 campioni.

**Tab. 2** – Risultati delle analisi chimiche e della misura del potenziale metanigeno (BMP) di 6 campioni di spremuta di FORSU (ST= solidi totali; SV=solidi volatili, NTK= azoto totale Kjeldahl), C.V.= coefficiente di variazione).

In termini di caratteristiche dei prodotti analizzati è emerso che:

- la FORSU ha un contenuto di sostanza secca medio del 33% con l'84% di sostanza organica, un tenore di azoto del 2% dei ST (5,6 kg NTK/t) e un BMP di 329 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tSV, corrispondente a 85 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t tq e una conversione della sostanza organica in biogas del 67% medio;
- la spremuta di FORSU ha un contenuto di sostanza secca medio del 16% con il 76% di sostanza organica, un tenore di azoto del 4% dei ST (4,5 kg NTK/t) e un BMP di 419 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tSV, corrispondente a 47 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t tq e una conversione della sostanza organica in biogas del 75% medio;

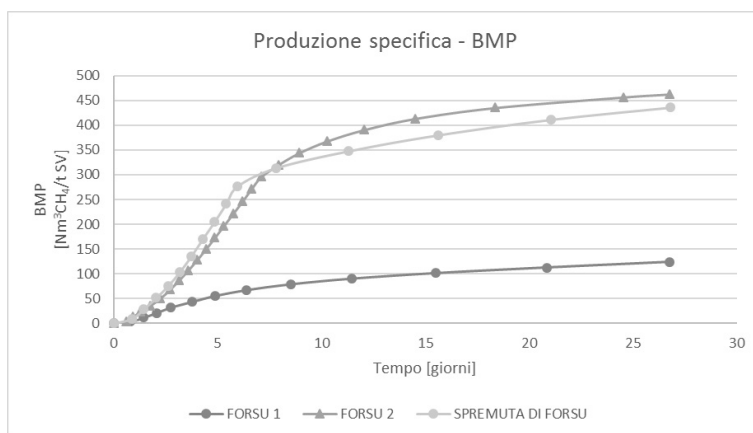
La notevole variabilità nei risultati che si osserva nei valori del C.V. è dovuta principalmente alla diversa composizione e natura della materia prima.

Nel grafico di **Fig. 1** e **Fig. 2** si riporta il confronto tra l'andamento della produzione specifica di metano e la velocità di produzione di 3 differenti campioni:

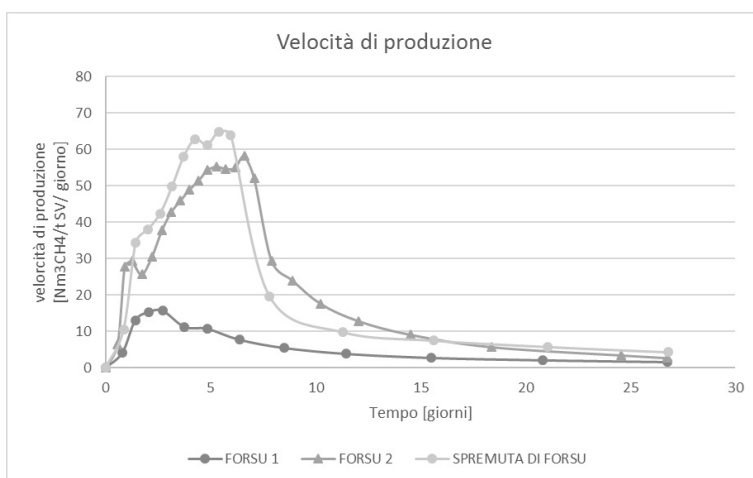
- FORSU 1: campione con alto contenuto di sfalci e potature, pari al 62% del tal quale e un contenuto di solidi totali del 42%. Il valore di BMP misurato è di 124 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tSV;
- FORSU 2: campione con basso contenuto di inerti (plastica, vetro, metalli pari al 2,5%) del tal quale e un contenuto di solidi totali del 24%. Il valore di BMP misurato è di 462 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tSV;
- SPREMUTA DI FORSU: campione con contenuto di solidi totali del 8,5% di cui il 75% sono solidi volatili. Il valore di BMP misurato è di 436 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tSV.

Dal confronto degli andamenti e dal derivante potenziale metanigeno dei campioni analizzati si osserva: la FORSU 1 nonostante la buona dotazione di materia organica (solidi volatili pari all'82% dei solidi totali) ha una conversione in biometano bassa, imputabile soprattutto ad una significativa presenza di frazioni fibrose e di lignina difficilmente degradabili. Per il suo utilizzo si potrebbe valutare l'applicazione di un pretrattamento per ottenere un maggior beneficio in termini di produzione di biogas.

La FORSU 2 e la SPREMUTA DI FORSU hanno un comportamento durante il test BMP simile anche in termini di risultato del potenziale metanigeno. Quindi un rifiuto organico ottenuto da una buona raccolta differenziata, con basso contenuto di inerti ha una resa energetica simile a quella di un campione che ha subito un pretrattamento.



**Fig. 1** – Produzione specifica di metano (espressa in Nm³/t SV) di 3 campioni analizzati tramite test BMP.



**Fig. 2** – Velocità di produzione di metano, (Nm³/t SV/giorno) di 3 campioni analizzati tramite test BMP.

#### 4. Conclusioni

I risultati ottenuti hanno dimostrato che gli scarti organici della raccolta differenziata (FOR-SU), caratterizzati da un elevato contenuto di carboidrati e di proteine, rappresentano un'ottima fonte di approvvigionamento per gli impianti di produzione di biogas/biometano. L'Italia è il quarto Paese al mondo per la produzione di biogas; nel 2018, risultavano attivi 52 impianti integrati di digestione anaerobica e compostaggio, realizzati con una capacità totale di trattamento di circa 3,3 milioni di tonnellate di rifiuti organici [1]. Pertanto la conoscenza della reale producibilità di biogas e biometano di rifiuti organici di varia natura è particolarmente importante per ottimizzarne la gestione e la pianificazione e per la progettazione di impianti di trattamento mirati [5].

L'attività è stata condotta nell'ambito del progetto LIFE+ BioMethER, [www.biometer.it](http://www.biometer.it)



## **Bibliografia**

- [1] Rapporto CIC 2018 – Recupero e riciclo del rifiuto organico: un esempio concreto di economia circolare.
- [2] R. Kigozi, A. Aboyade and E. Muzenda (2014) - Biogas Production Using the Organic Fraction of Municipal Solid Waste as Feedstock. Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engg. (IJRCMCE) Vol. 1, Issue 1
- [3] Rossi L., Soldano M., Fabbri C., Piccinini S. (2014) Biochemical methane potential (BMP) of organic by-products and waste. Proceeding of the 5th international symposium on energy from biomass and waste, 17-20 November 2014.
- [4] UNI (2004), UNI EN ISO 11734 Regulations:2004 - Qualità dell'acqua - Valutazione della biodegradabilità anaerobica ultima di composti organici in fanghi digeriti - Metodo per la misurazione della produzione di biogas
- [5] Rossi L., Soldano M., Fabbri C., Piccinini S., Misura del potenziale metanigeno (test BMP) di sottoprodotti e rifiuti organici – Atti di ECOMONDO 2014, pubblicato da Maggioli, 244-250

# CIRCULAR BIOECONOMY

## BIORAFFINERIE INTEGRATE NELL'AREA LOCALE: STATO DELL'ARTE E CRITICITÀ

Nell'ottobre 2018, la Commissione europea ha pubblicato un aggiornamento della sua strategia di bioeconomia: "Una bioeconomia sostenibile per l'Europa: rafforzare la connessione tra economia, società e ambiente". Secondo la strategia, le bioraffinerie multiprodotto sono elementi chiave per migliorare l'efficienza dell'utilizzo della biomassa e aumentare l'efficienza delle risorse e la prevenzione dei rifiuti, nonché il riciclo e la circolarità. Secondo alcune stime, entro il 2030 saranno necessarie circa 300 bioraffinerie in Europa per soddisfare la crescente domanda del mercato UE in questo settore. La bioindustria e la bioeconomia rappresentano settori nei quali l'UE sta investendo significativamente per stimolare la crescita nelle aree rurali e costiere, promuovendo soluzioni sostenibili e in grado di rigenerare l'ambiente. Tuttavia, il settore si trova di fronte a molte sfide, come la disponibilità limitata e discontinua di biomassa sostenibile, la necessità di investimenti significativi e rischiosi per la scala industriale, la mancanza di un quadro normativo e politico che promuova il settore, approfondisca i punti di forza, le priorità e le questioni critiche della *biobased industry*. Gli articoli che seguono presentano casi studio rappresentativi di questo ambito strategico dell'economia Italiana e Europea.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo e Cluster SPRING**

**Presidenti di sessione:**

- Christian Patermann, *Direttore della Commissione Europea*
- Cinzia Tonci, *Ministero dello Sviluppo Economico*



# Tecnologie innovative nel riutilizzo dei residui del settore lattiero caseario: fattibilità economica

*Claudio Lena [lena@eco.unicas.it](mailto:lena@eco.unicas.it), Lucia Pirollo*

*Dipartimento di Economia e Giurisprudenza, Università degli studi di Cassino e del Lazio meridionale*

## **Riassunto**

*Il settore lattiero-caseario, ed in particolare quello caseario, riveste una notevole importanza per l'economia agroalimentare italiana, sia per fatturato che per numero di addetti e di aziende, distribuite su tutto il territorio nazionale. L'industria, però, presenta un ingente quantità di residui, il cui smaltimento rappresenta spesso un problema in termini di costi e di possibilità operative. In particolare il siero e la scotta non trovano collocazione nei settori alimentare e nutraceutico perché vengono considerati un rifiuto speciale dall'attuale normativa ambientale, a causa del loro alto carico inquinante. Essi, pur essendo ricchi di costituenti di notevole interesse potenziale, in assenza di una vera e propria filiera di valorizzazione, finiscono per rappresentare un costo aziendale ed un problema ambientale, a causa dell'alto contenuto di sostanza organica. Verranno qui analizzate le possibilità, attraverso l'uso di tecnologie innovative e progetti pilota, di valorizzarli come risorsa.*

## **Summary**

*The milk industry sector, and in particular the dairy sector, is of considerable importance for the Italian agri-food economy, both in terms of revenue and the number of employees and companies, distributed in the national territory. However, the industry has a large amount of residues, whose disposal often represents a problem in terms of costs and operating possibilities. Particularly the serum and the whey are not found in the food and nutraceutical sectors because they are considered a special waste by the current environmental legislation, due to high polluting load. Although they are rich in constituents of considerable potential interest, in the absence of a true value chain, they end up representing a corporate cost and an environmental problem, due to the high content of organic substance. The possibilities, through the use of innovative technologies and pilot projects, of reusing this residue will be analyzed.*

## **1. Introduzione**

L'industria alimentare e delle bevande italiana, con il 32% delle imprese a livello europeo ed il 13,9% del PIL nazionale ricopre un ruolo socio-economico tale da essere considerato un asset strategico per l'economia del nostro Paese. Nello scenario produttivo italiano di notevole rilevanza economica e occupazionale, sia per fatturato che per numero di addetti e di aziende, è il settore lattiero caseario che conta il 27% circa delle imprese e il 12% degli occupati; nel 2016 ha pesato per l'11% circa sul valore aggiunto in valori correnti e per il 12% circa sull'occupazione (tab.1).

Le rilevanti quantità di scarti, di sottoprodotti di lavorazione e di effluenti (circa 250 milioni

di tonnellate/annue in Europa) vengono spesso gestiti come rifiuti, come definiti dalla normativa vigente, ma per le loro caratteristiche essi sono candidati a svolgere un ruolo di rilievo nell'economia circolare, in quanto fonte di sostanze organiche sia per produzioni green ad alto valore aggiunto sia per la produzione di energie rinnovabili.

## 2. La filiera produttiva del settore lattiero caseario

Il comparto lattiero caseario figura da diversi anni al primo posto del “Made in Italy” alimentare con un fatturato annuo di 15,5 miliardi di euro e rappresenta da solo l'11,8% del fatturato complessivo prodotto dall'industria alimentare [1]. La dimensione del giro d'affari del settore nella distribuzione moderna ammonta nel 2017 ad oltre 6,5 miliardi di euro. La filiera italiana del latte ha prodotto nel corso del 2016 circa 1.200.000 tonnellate di formaggi, con esportazioni di circa 400 mila tonnellate ed un valore complessivo che sfiora i 3 miliardi di euro [2].

Questo comparto produttivo è differenziato tra media e grande industria, che occupa il 30%, e caseifici cooperativi a dimensione artigianale e residue piccole unità annesse alle aziende agrarie con il 70%.

La maggior parte delle medie e grandi industrie operano nel comparto del latte alimentare e in quello della produzione dei formaggi freschi di largo consumo, mentre le imprese di piccole dimensioni e le aziende cooperative sono prevalentemente dedite alla produzione di formaggi duri o semiduri di tipici e di qualità [3].

Dai dati ISTAT risulta che l'Italia contava nel 2016 circa 2.000 caseifici, che trasformavano oltre 12 milioni di tonnellate di latte; di questi 2.400 sono utilizzate per produrre latte alimentare, le restanti 9.600 per produrre circa 1.200 mln di formaggi e burro che complessivamente costituiscono oltre il 70% dell'intera produzione casearia.

	Unità di misura	Valore
<b>Unità locali</b>	(n.)	1.961
-Caseifici e centrali del latte	(n.)	1.326
- Stabilimenti di aziende agricole	(n.)	95
-Stabilimenti di enti cooperati agricoli	(n.)	442
-Centri di raccolta	(n.)	98
<b>Produzione industriale</b>		
Latte alimentare	(000 t)	2.428
-Formaggi	(000 t)	1.232
-Burro	(000 q)	954
-Yogurt	(000 q)	3.159
<b>Fatturato industria lattiero casearia</b>	(mln euro)	15.576
-Valore della produzione nazionale di latte	(mln euro)	4.589
-Importazioni latte	(mln euro)	3.217
-Esportazioni latte	(mln euro)	2.711
-Peso sul fatturato industria agroalimentare	(% v)	11,5
<b>Produzione di siero e scotta</b>	(000 t)	8.600
-Siero	(000 t)	7.700
-Scotta	(000 t)	0,72

Fonte: ISTAT, ISMEA, CLAL

**Tab. 1** – Principali indicatori del comparto lattiero caseario in Italia, anno 2016

### 2.1. I reflui dell'industria lattiero casearia

L'attività casearia origina notevoli quantità di reflui: si stima che per ogni 10 kg di latte impiegato vengano prodotti mediamente 2 kg di formaggio ed 8 kg di reflui, di cui circa l'80% è rappresentato dal siero e dalla scotta, che non possono essere smaltiti direttamente nell'ambiente in quanto, a causa del loro alto carico inquinante, la vigente normativa ambientale (DM 125/06) li considera come rifiuti speciali.

La produzione annua mondiale è stimata intorno ai 150 milioni di tonnellate/anno; l'Italia, da sola, ne produce circa 8 milioni (7,74 Mt di siero e di 0,72 Mt di scotta).

Per le sue caratteristiche chimiche si tratta di un prodotto ad alto valore aggiunto (tab.2), contenendo sostanze di grande interesse alimentare e farmaceutico: proteine e derivati proteici, zuccheri con proprietà potenzialmente prebiotiche, sali minerali e vitamine, che in molti paesi trovano impiego nei settori alimentare e nutraceutico (gelati, biscotti, yogurt, bevande), nei prodotti per l'infanzia (latte in polvere o liquido), nel settore farmaceutico, nella nutrizione sportiva (bevande e barrette proteiche).

Componente	U.m.	Siero dolce	Siero acido	Scotta
Solidi totali	%	6,4	6,2	5,67
Lattosio	%	4,6	4,2	4,7
Proteine	%	0,8	0,75	0,39
Grassi	%	0,5	0,04	0,07
Ceneri	%	0,5	0,8	0,53
Acidi organici	%	0,05	0,4	0,1
Vitamine	mg/l	12	12	
pH		5,8-6	0,15	5,6-6,2
COD	mg/l	50.000	50.000	25.000

Fonte: [4]

**Tab. 2 – Componenti principali di siero e scotta**

In Italia è ampiamente utilizzato come alimento per gli allevamenti suini, ma anche usato per ricavare la polvere di siero, proteine e lattosio destinate all'uso alimentare e zootecnico: secondo l'ISTAT degli 8 milioni annui, 2 vengono destinati alla produzione di lattosio e siero in polvere, 1.700 mila alla zootecnia (prevalentemente siero dolce, ma con problemi ambientali derivanti dalle deiezioni suine), 362.000 alla produzione di ricotta, mentre la restante quota verrebbe avviata allo smaltimento.

La gestione del siero e della scotta, però, in virtù delle grandi quantità prodotte e dell'elevato carico inquinante costituiscono un ulteriore costo ed un punto di criticità per le aziende in termini ambientali ed economici: l'onere dello smaltimento di questi reflui grava attualmente solo sui caseifici ed è stimato fra 5 e 20 € per m<sup>3</sup> per il siero e fra 5 e 10 Euro per m<sup>3</sup> per la scotta prodotta, legati soprattutto al trasporto del refluo.

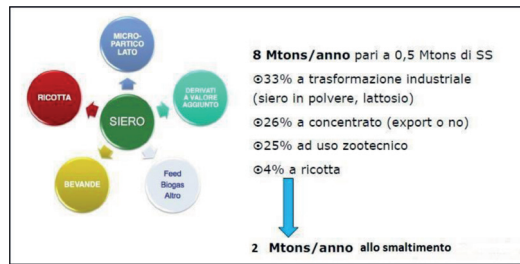


Fig. 1 – Destino del siero

### 3. Valorizzazione del siero e nuove tecnologie di recupero

Da anni si svolgono diverse ricerche sulle tecniche di valorizzazione del siero, le modalità teoricamente possibili sono molteplici e riguardano vari campi inerenti al settore zootecnico, al settore farmaceutico ed alla valorizzazione energetica: compostaggio, recupero di sostanze di pregio, produzione di acido lattico, digestione anaerobica e integratore dell'alimentazione del bestiame, ma nella pratica industriale, sostanzialmente, i processi di trattamento consistono in essiccamento termico, utilizzo di membrane, depurazione biologica appunto per recuperare i microelementi di maggiore valore nutrizionale.

Le tecniche che hanno costituito e costituiscono l'innovazione tecnologica chiave finalizzate a massimizzare il recupero delle componenti chimiche del siero e alla contemporanea riduzione dell'impatto ambientale si basano sull'impiego in sequenza di 4 tecnologie di membrane gradualmente più selettive verso i soluti [5]: a) la microfiltrazione, che sfrutta la pastorizzazione a freddo per evitare la denaturazione della matrice proteica e glucidica recuperabile; b) l'ultrafiltrazione, capace di recuperare fino al 70% del ritentato (WPC) ad elevata concentrazione e purezza; c) la nanofiltrazione, che permette il recupero del lattosio e la demineralizzazione dell'effluente concentrato; d) l'osmosi inversa, che consente di produrre un'acqua ultrapura (permeato) con particolari caratteristiche chimico-fisiche, ricca di sali monovalenti che può essere impiegata, previa integrazione salina, per la salatura dei formaggi.

#### 3.1 La produzione di biocombustibili

I metodi attuali di recupero non coprono l'intera produzione di siero, infatti il 40% non trova applicazione (soprattutto il siero di latte acidulo) ed è trattato come rifiuto speciale, con conseguenti costi elevati di trattamento. Negli ultimi anni sta prendendo piede anche in Italia la digestione anaerobica con la produzione di biogas. Le tecnologie allo studio che potrebbero dare rendimenti più elevati sono indirizzate verso l'ottimizzazione di una filiera combinata di recupero di risorse e di energia, con la contemporanea produzione di energia rinnovabile e la valorizzazione della componente nobile del siero [6, 7]. I progetti prevedono la messa a punto di impianti prototipali che integrano il recupero, mediante ultrafiltrazione, delle sieroproteine, e la produzione di biocombustibili. La fermentazione anaerobica avviene all'interno di digestori di ultima generazione appartenenti a due tipologie: reattori nonostadio e reattori a due stadi. Nel primo caso le fasi di idrolisi, acidogenesi, acetogenesi, metanogenesi avvengono contemporaneamente in un unico reattore con produzione di biogas.

Nei reattori a due stadi, invece, i digestori sono costituiti da due strutture in serie: nel primo reattore dalla digestione anaerobica del lattosio presente nel permeato, attraverso la Dark Fermentation viene prodotto bioidrogeno e nel secondo, in cui confluisce l'effluente del primo stadio, ricco di acido acetico e VFA si produce, attraverso metanogenesi acetofila, biometano.



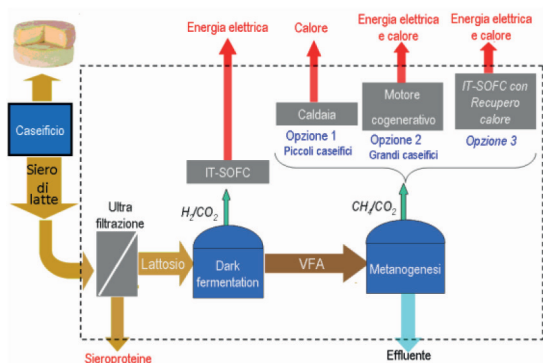


Fig. 2 – Filiera di valorizzazione del siero di latte

### 3.2 Analisi di fattibilità economica

I risultati sperimentali hanno dimostrato la concreta possibilità di produrre bioidrogeno e biometano in quantità apprezzabili: per ogni tonnellata di siero tal quale si può arrivare a produrre circa 30-34 Nm<sup>3</sup> di gas<sup>1</sup> (10% di bioidrogeno, 45% di biometano e 45% di anidride carbonica), e per ogni tonnellata di scotta diluita circa 25-27 Nm<sup>3</sup> insieme al recupero totale delle sieroproteine. La resa risulta quasi tripla rispetto alla digestione in un reattore a fase singola. Se fosse possibile trasformare tutto il siero prodotto si potrebbe ottenere energia termica ed energia elettrica non solo per il fabbisogno interno ma come surplus destinato alla vendita. Dal punto di vista tecnico i digestori a due stadi necessitano di minore impiego di materia prima (10- 15% in meno), volumi inferiori degli impianti, ridotti costi di realizzazione e, al contempo, esiste la possibilità di utilizzare biomasse a pH acido, poco congeniali ai digestori convenzionali, c'è una maggiore produzione di energia e una migliore qualità di quest'ultima. La più veloce degradazione della biomassa, poi, determina un aumento della produzione di idrogeno nel primo stadio del processo e della produzione continua di biometano nel secondo reattore.

Dalla valutazione economica svolta sull'ipotesi di un impianto di trasformazione di 100 tonnellate di siero al giorno, considerando i costi di gestione generali, i costi di manutenzione del cogeneratore, lo smaltimento dei fanghi, gli oneri finanziari, i ricavi dovuti alla vendita di energia a terzi, l'energia termica recuperata, i mancati costi di smaltimento dei reflui ed i benefici correlati al bilancio energetico (tariffa incentivante o omnicomprensiva (D.M. 2.07.2012) e premialità per ogni kWh di elettricità netta prodotta da impianti a biogas e immessi nella rete elettrica, consumi e ricavi) si è stimato che, a fronte di costi di gestione pari a 200.000 euro circa all'anno, i ricavi netti ammontano a circa 435.000 euro.

	valore	€/anno
<b>Costi gestione e manutenzione</b>		
Energia acquistata	0,15 €/kWh	25.200
Smaltimento fanghi	40 €/tonn	16.040
Prodotti chimici	105 €/d	38.325
Manutenzione cogeneratore	6,4 €/h	53.760
Manodopera per conduzione impianto	25 €/h	54.000

Segue

<sup>1</sup> Nei reattori monostadio il rendimento del biogas è pari a 10,9 Nm<sup>3</sup> di metano

	valore	€/anno
Manutenzione impianto	70 €/g	25.200
Totale costi		212.525
<b>Ricavi</b>		
Incentivo energia elettrica netta prodotta	0,236 €/kWh	529.301
Energia elettrica venduta senza incentivo	0,07 €/kWh	4.116
Premio per cogenerazione alto rendimento	0,01 €/kWh	13.350
Premio per abbattimento azoto	0,015 €/kWh	33.642
Energia termica recuperata	0,036 €/kWh <sub>term</sub>	67.080
Totale ricavi		647.489
<b>Ricavi netti</b>		<b>434.964</b>

**Tab. 3** – *Fattibilità economica impianto di trattamento siero*

#### 4. Conclusioni

Per le aziende casearie la possibilità di smaltire autonomamente i reflui prodotti, attraverso il recupero di sostanze ad alto valore economico e la produzione di biocombustibili (bioidrogeno e biometano), permetterebbe di ottenere due voci di ricavo economico: i costi per lo smaltimento e la produzione di energia convertibile in quasi tutte le forme utili; il biogas prodotto potrebbe alimentare un cogeneratore aziendale, ma anche essere utilizzato direttamente nella caldaia, si aprirebbe inoltre la strada alla possibilità di riutilizzare l'effluente dalla digestione anaerobica come acqua di servizio. L'utilizzo completo di residui al fine di estrarre sia bioenergia che bioprodotto, valorizzando l'intera biomassa, consentirebbe di sviluppare un nuovo criterio di sostenibilità nell'ottica dell'economia circolare, completa e differenziata valorizzazione del principale residuo della caseificazione insieme alla quasi totale eliminazione del carico inquinante ad esso associato con una produttività che andrebbe a migliorare le prestazioni ambientali ed economiche. Attraverso la conversione degli scarti in valore aggiunto verrebbero evitati lo smaltimento in discarica e l'utilizzo di energia supplementare; gli oneri economici e ambientali sarebbero ridotti, massimizzando il valore economico della biomassa utilizzata, riducendo i flussi di rifiuti prodotti e rendendo il beneficio della linea di bioraffineria ancora più grande. Allo stato attuale sono molto pochi i casi di digestori trattanti il siero e la scotta anche al solo scopo di produrre metano. Le ragioni sono in parte da attribuire alle problematiche legate al substrato (elevato carico organico, tendenza ad acidificare, bassa alcalinità, produzione di metaboliti inibenti), in parte alle varie possibilità di sfruttamento alternativo del siero. Tuttavia gli studi sono rivolti verso la possibilità che il siero venga preso in considerazione anche come substrato per il recupero di energia da riutilizzare nel ciclo produttivo stesso con cogenerazione elettrica/termica.

I pochi digestori operanti sono non solo monostadio, ma anche di grossa taglia; tuttavia, in una nazione come l'Italia, caratterizzata da un elevato numero di piccole aziende casearie sparse su un ampio territorio, avrebbe senso il ricorso a sistemi di volumetria relativamente ridotta da gestire soprattutto in un'ottica di consumo interno.

#### Bibliografia

- [1] <http://www.ismeamercati.it/analisi-e-studio-filiere-agroalimentari>
- [2] CREA Annuario dell'Agricoltura Italiana 2016, volume LXX, Roma 2018
- [3] [antares.crea.gov.it:8080/documents/10179/56536/Capitolo\\_26.pdf](http://antares.crea.gov.it:8080/documents/10179/56536/Capitolo_26.pdf)
- [4] Marshall R. "Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products" Sci. 81:597-608, 1998

- [5] **Pizzichini M., Comendador F.J., et al.** “Recupero di sostanze organiche e acqua dal frazionamento selettivo del siero di latte con tecnologie di membrana” ENEA, 2014
- [6] **Aliboni A., Corsaro N. et al.** “Processi di digestione anaerobica di matrici non convenzionali e clean up biologico del biogas”, ENEA, Report settembre 2014
- [7] [http://www.fabbricabioenergia.polimi.it/images/conferenze/cnr\\_5ott/poster%20ecosi](http://www.fabbricabioenergia.polimi.it/images/conferenze/cnr_5ott/poster%20ecosi)
- [8] <http://www.lattenews.it/latteria-soligo-investe-nella-sostenibilita/>
- [9] **Pizzichini M, Iasonna A. et al.** “Analisi tecnico economica di processi a membrana per il trattamento selettivo del siero di latte” ENEA, 2017
- [10] **Teli A., Grilli C., Vismara R., Malpei F.** “Trattamento anaerobico a due stadi (DF + DA) di siero ultrafiltrato: prestazioni del bioreattore anaerobico a membrana”. SIDISA 2016 X International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering, Rome 19-23 June 2016. Book of Abstract ISBN 978-88-496-391-1, 477-478.



# CIRCULAR BIOECONOMY

## REGIONI COME ATTORI CHIAVE PER GUIDARE LO SVILUPPO DELLA BIOECONOMIA A LIVELLO LOCALE

Secondo il Manifesto lanciato a Bratislava nel 2016, “la bioeconomia europea dovrebbe basarsi sullo sviluppo sostenibile e circolare a livello regionale e locale (bio-regioni e bio-comunità) considerando vari elementi: ecologia, resilienza, biodiversità, gestione delle risorse idriche ed il patrimonio culturale”. Anche il *Bioeconomy Stakeholders Panel* teorizza un modello di “regioni sostenibili”, basato sull’effetto leva delle Regioni, con una particolare attenzione alla qualità dei territori ed alle economie locali, a sostegno della creazione di filiere virtuose interregionali. A livello Europeo le “bioeconomie regionali”, sono sempre più riconosciute come elemento chiave per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile e l’azione per il clima delle Nazioni Unite; in particolare, le regioni italiane hanno già dimostrato di essere ampiamente motivate nel mantenere in vita le economie rurali, mettendo in atto cicli economici regionali e sostenendo progetti locali agro-industriali con l’idea strategica di utilizzare bio-risorse in modo più innovativo ed efficiente. In questo contesto, gli articoli che seguono illustrano: i) il ruolo che le Regioni possono giocare da un punto di vista educativo e culturale per diffondere la conoscenza in un settore multidisciplinare come quello della bioeconomia; ii) gli strumenti per attuare le strategie regionali di bioeconomia, potenziare lo sviluppo del settore bio-based e per sostenere la cooperazione interregionale; iii) l’esperienza del Tavolo di lavoro tra il Cluster SPRING e le Regioni.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo e Cluster Italiano Chimica Verde SPRING**

**Presidente di sessione:**

- Mario Bonaccorso, *Cluster SPRING, Assobiotec*



# La bioeconomia come occasione per un nuovo rinascimento industriale del Mezzogiorno

Luca Bianchi,<sup>1</sup> Amedeo Lepore,<sup>2</sup> Stefano Palermo,<sup>3</sup> [stefanopalermo@hotmail.com](mailto:stefanopalermo@hotmail.com), Stefano Prezioso<sup>1</sup> e Gerardo Cringoli<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Svimez; <sup>2</sup> Università della Campania Luigi Vanvitelli e Luiss Guido Carli; <sup>3</sup> Università Telematica Pegaso; <sup>4</sup> Università degli Studi di Napoli Federico II.

## Riassunto

*Parlare di bioeconomia significa analizzare la dinamica di un fenomeno in continua trasformazione per sua stessa definizione trasversale ai diversi settori produttivi tradizionali, capace di valorizzare l'incontro tra domanda e offerta di innovazione nelle diverse fasi del ciclo produttivo. A questo livello, la bioeconomia incrocia altri elementi essenziali delle trasformazioni oggi presenti nei mercati come l'economia circolare, l'economia sostenibile e la stessa industria 4.0. Questa rivoluzione produttiva può giovare di alcune precondizioni favorevoli presenti in tutto il Paese e, questione inedita rispetto al passato più recente, anche nel Mezzogiorno dove negli ultimi anni si sono sviluppati settori, imprese, modelli legati all'economia circolare e alla bioeconomia. Da qui la possibilità esplorata in questo contributo che la bioeconomia e l'economia circolare possano rappresentare per il Meridione, se adeguatamente sostenute, una nuova occasione di sviluppo favorendo l'aggancio del Sud al resto del Paese, e insieme alle economie più avanzate della competizione internazionale.*

## Summary

*Talking about bioeconomy means analyzing the dynamics of a world phenomenon, in continuous transformation and transversal to the different traditional productive sectors. Bioeconomy is able to enhance the meeting between demand and supply of innovation in the different phases of the business cycle. This productive revolution can benefit from some favorable preconditions present in Italy and, here the difference with the recent past, mostly in the Mezzogiorno where in the last ten years firms, sectors and companies linked to the circular and the bioeconomy have developed. This paper analyzes how, bioeconomy, if adequately supported, may represent a new opportunity for the development of the South of Italy in the next years favoring the catching up to the rest of the Country and to the most advanced economies in the international competition.*

## 1. Introduzione

La crisi del 2007-2008 ha segnato strutturalmente l'industria meridionale, determinando nell'ultimo decennio un processo di selezione e riorganizzazione di una parte significativa del tessuto produttivo. La breve ripresa economica del Mezzogiorno degli anni 2015-2017 è stata possibile anche grazie alla tenuta delle aziende più innovative e in grado di intercettare meglio i mutamenti in atto nella domanda globale. Tra queste, particolare rilievo hanno assunto le imprese impegnate nei settori della bioeconomia e dell'economia circolare. Si tratta



di ambiti in grande espansione, in grado di assumere e valorizzare le più importanti innovazioni tecnologiche e produttive oggi in corso. Se è vero che questo fenomeno interessa tutto il Paese, a differenza di altre fasi storiche più recenti, la compresenza tra le precondizioni sistemiche presenti nel Mezzogiorno utili allo sviluppo di questi settori e la capacità di diffusione dei processi innovativi nelle medie imprese del Sud rendono la bioeconomia, se adeguatamente sostenuta, un possibile strumento di rinascita industriale del meridione, in grado di avvicinare la società e l'industria del Mezzogiorno alle aree più avanzate del Paese e dell'economia internazionale.

## 2. Relazione

### 2.1 Prima e dopo la grande crisi: il tessuto produttivo italiana nella nuova competizione globale

Con l'avvio della crisi finanziaria scoppiata a fine 2008, l'industria meridionale è stata caratterizzata da due fasi distinte e di segno nettamente opposto: l'inusuale caduta di prodotto registrata fino al 2014; la ripresa, per certi versi inaspettata, osservata nel triennio successivo (ma non in grado di recuperare i livelli pre-crisi). Per dare un'idea della gravità che ha rappresentato la "lunga crisi" rispetto all'usuale svolgimento del ciclo economico, si tenga presente che nella letteratura anglosassone questo evento, iniziato e finito un anno prima (2007-2013), è individuato con l'acronimo GFC, *Global Financial Crisis*, come per le guerre mondiali.

Sotto questo profilo, il versante estero permette di enucleare con maggiore chiarezza i profondi cambiamenti intervenuti. Tale dimensione, infatti, non solo è stato il canale tramite cui si è propagata la "lunga crisi" di origine esterna, almeno all'inizio, ma è anche la sfera di attività che già prima del 2008 era stata colpita da due *shock* esterni che molto hanno inciso sull'assetto attuale del mondo produttivo: (i) la crescente integrazione internazionale avviatasi dalla seconda metà degli anni '90; (ii) l'introduzione dell'euro. La propensione all'export dell'industria centrosettentrionale è superiore, attualmente, al 27 per cento, circa cinque punti percentuali in più del dato registrato nel 2005. Il medesimo indicatore riferito al Sud è pari, oggi, a poco meno del 9 per cento, circa un punto percentuale maggiore del valore sempre registrato nel 2005. La sempre maggiore integrazione sperimentata negli ultimi vent'anni tra le varie economie, trainata proprio dallo scambio di merci, ha determinato una crescente frammentazione della produzione a scala internazionale.

Con la nuova fase di integrazione dell'economia mondiale avviatasi all'inizio degli anni '90 i limiti impliciti nel modello dell'industria italiana sono divenuti più stringenti. L'industria del Centro-Nord, anche in considerazione del suo maggior grado di apertura internazionale, ha risentito maggiormente, specie dopo l'avvio dell'euro, della progressiva sovrapposizione tra il proprio modello di specializzazione e quello adottato da molti paesi emergenti. Nelle regioni centro- settentrionali sono emersi, comunque, alcuni segnali di discontinuità con il modello precedente, passaggio agevolato dal vasto bacino di "imprenditorialità diffusa" ivi accumulatosi nel corso del tempo. È divenuta più stretta l'integrazione tra industria e servizi – la c.d. "terziarizzazione" del manifatturiero - che rappresenta attualmente il principale vantaggio competitivo. Sotto il profilo industriale, le imprese che hanno intrapreso processi di differenziazione segmentale (entrata in segmenti diversi dello stesso mercato) o di diversificazione correlata (entrata in nuovi settori che presentano sinergie tecnologiche o commerciali con quelli iniziali) hanno sperimentato processi di crescita più intensi. Nel loro insieme, i mutamenti sinteticamente riportati indicano che, accanto a fenomeni di aggiustamento intra-settoriale, non nuovi essendo la storia di larga parte dell'industria nazionale fatta di un continuo *upgrading* qualitativo, vi sono stati mutamenti di natura strutturale e, in misura inferiore, inter-settoriale. L'industria meridionale ha seguito un percorso differente. La strategia qui prevalentemente adottata per fronteggiare la pressione competitiva post-euro è stata quella accrescere la fles-

sibilità operativa conseguita tramite una struttura - sotto il profilo dimensionale - “ridotta all’osso”, ed essenzialmente concentrata sul *manufacturing* a scapito delle funzioni aziendali “a monte” e “a valle” del processo produttivo vero e proprio. Sono queste le fasi, all’interno della catena del valore, oggi maggiormente redditizie, in quanto meno aggredibili dai nuovi *competitors* stranieri e, soprattutto, è in questa direzione che, come visto, si è mossa una parte del sistema industriale del Centro-Nord. La progressiva frammentazione, che ha interessato in media l’industria meridionale, costituisce la controprova più evidente di ciò. Tra il 2001 e il 2011 la media entropica - che fornisce un’indicazione più accurata della dimensione caratteristica di un’attività produttiva rispetto alla semplice media aritmetica - delle unità locali manifatturiere è diminuita di quasi l’11% (da 27,8 addetti per unità locale a 24,8); nello stesso periodo nel Centro-Nord il medesimo indicatore è lievemente aumentato (da 36,1 a 37,0).

## 2.2 Il “risveglio del Mezzogiorno” punti di forza e criticità di un processo di riorganizzazione del sistema industriale in corso

Tra il 2015 e il 2018, l’industria in senso stretto del Sud ha fatto registrare una netta inversione ciclica, già manifestatasi nel Centro-Nord dal 2014. Limitatamente al triennio in oggetto, l’output (misurato dal valore aggiunto) meridionale è aumentato del 6,8%, un punto percentuale in meno del Centro-Nord. Tale risultato non era di per sé scontato. In primo luogo, esso si commisura a una perdita di produzione, durante la “lunga crisi” (2008-2014) che nel Sud ha quasi toccato i 30 punti percentuali, rispetto ai quasi 11 del Centro-Nord. In secondo luogo, l’inversione ciclica dell’industria meridionale fa seguito al ritardo accumulato dalla stessa nella capacità di assorbire i cambiamenti necessari per competere nel nuovo contesto competitivo. Sebbene ad uno stato ancora preliminare, appare corroborata l’ipotesi che l’industria meridionale sia stata interessata in questa fase da un processo di selezione comparativamente più intenso. Le unità produttive che hanno resistito alla “lunga crisi” sono riuscite ad approfittare del ripristino di condizioni di domanda interna ed esterna *congiuntamente* favorevoli. Poiché il processo di selezione si è prevalentemente rivolto a unità di piccola o piccolissima dimensione, al risultato di prodotto conseguito dall’industria in senso stretto meridionale nel triennio 2015-2018 appare non essere estraneo l’accresciuto peso di unità produttive di medio-grandi dimensioni; in particolare con riferimento all’export dell’area.

La riduzione di base produttiva si è accompagnata ad un miglioramento di importanti indicatori economico-finanziari. L’analisi dei bilanci delle PMI meridionali, cui le sole aziende industriali non si discostano, riportata nel Rapporto Confindustria-Cerved[1] relativo al 2017 evidenzia nel Sud un effetto selettivo di un certo rilievo, sebbene i principali indicatori aziendali non abbiano raggiunto i livelli riscontrabili nel resto del paese. Una conferma viene dalla distribuzione percentuale delle PMI in tre livelli decrescenti di rischiosità (nell’ordine: solvibilità, vulnerabilità, e rischio concreto di *default*) applicata in diversi anni: il 2007 (l’ultimo anno pre-crisi), il 2013, e il 2014. Si può osservare come il processo di selezione operato dalla crisi, causando la fuoriuscita dal mercato delle imprese a più elevato grado di rischio economico-finanziario, abbia ridotto la presenza di imprese più rischiose al Sud: il loro peso relativo è calato dal 27,5% al 20,4% tra il 2007 e il 2014. Sono aumentate, viceversa, le PMI con un bilancio solvibile: dal 31,4% del 2007 al 40,4% del 2014 (ma inferiore al 46,9% medio nazionale). Miglioramenti apprezzabili si registrano anche in riferimento alla redditività operativa. Anche sotto il profilo finanziario, da sempre nota dolente delle imprese meridionali, si segnalano progressi apprezzabili soprattutto per quanto attiene la sostenibilità del debito delle PMI meridionali. Per effetto congiunto del rallentamento del credito e del rafforzamento della capitalizzazione, i debiti finanziari delle PMI meridionali diventano più sostenibili, passando, in rapporto al patrimonio, dal 126,7% del 2007 al 95,2% nel 2015. Limitatamente alle sole imprese industriali, nel 2016 si osserva una riduzione della quota di PMI con un

*Cerved Group Score* (un indicatore del rischio di insolvenza delle imprese) classificato come rischioso [1], pur rimanendo al di sopra del dato medio nazionale, cui corrisponde un aumento delle imprese in condizioni di solvibilità e sicurezza. Per completezza, va aggiunto che la distribuzione del *Cerved Group Score* delle PMI meridionali resta ancora sbilanciata verso le classi più rischiose, con il 15,5% delle società con un *rating* nell'area di sicurezza, contro una media nazionale superiore al 35%.

Appare evidente, quindi, come il sistema produttivo meridionale sia stato interessato da un ampio processo di selezione intervenuto nei confronti degli operatori più deboli accrescendo di converso il peso di quelle unità produttive caratterizzate, già all'inizio della "lunga crisi", da indicatori economico-finanziari migliori. Nel contempo, le imprese sopravvissute possono attingere da un bacino di "imprenditorialità diffusa", in termini di competenze e funzioni, molto limitato, diversamente da quanto osservato nelle regioni settentrionali. In media, il processo dinamico di *upgrading* è risultato, nel Sud, meno pervasivo.

Relativamente a ciò, anche nella fase post-2015 permangono due rilevanti debolezze nel sistema produttivo meridionale. La distribuzione settoriale dell'*export* del Sud è fortemente concentrata in pochi comparti: nei settori dei "mezzi di trasporto", nella "chimica farmaceutica", nell'ICT e nei "prodotti alimentari e bevande" [2]. Il settore dei mezzi di trasporto, e in particolare gli autoveicoli, è l'attività di vantaggio comparato più intenso della ripartizione. L'industria alimentare, in cui la specializzazione del Mezzogiorno si è leggermente intensificata durante la crisi, è l'unico settore di vantaggio comparato basato su sistemi locali di piccola impresa. I settori della chimico-farmaceutica e dell'ICT, dominati da grandi imprese a controllo esterno, hanno visto indebolire vistosamente i propri vantaggi comparati durante la crisi. Permane, quindi, il vincolo di una non soddisfacente diversificazione dell'*export* meridionale, ancora caratterizzato da una bassa propensione media. Dal *Regional Innovation Scoreboard* relativo al 2017 (considerando tra 0 e 1 i valori minimi e massimi della distribuzione) è, inoltre, possibile verificare come il tessuto produttivo del sud, in confronto alle sole regioni deboli dell'Unione con cui questa parte del Paese è più direttamente in concorrenza, registra una minore incidenza della spesa in R&S (0,146 contro 0,203), e una minore incidenza dell'occupazione nei settori manifatturieri più avanzati (0,397 contro 0,437). Infine, a conferma della rilevanza che assumono i vincoli strutturali cui è sottoposto l'*export* meridionale ai quali si faceva cenno in precedenza, è interessante notare con il *gap* più rilevante si registri proprio per l'indicatore "Esportazioni dell'industria manifatturiera ad alta e medio/alta tecnologia" (0,475 contro una media di 0,555 per le regioni convergenza dell'UE a 28 e addirittura 0,612 per quelle competitività). Il Mezzogiorno, dunque, appare in ritardo nella creazione di presupposti adeguati alla formazione di duraturi vantaggi comparati.

In via conclusiva, i riscontri presentati indicano con chiarezza alcuni punti e altri maggiormente problematici. Per quanto attiene i primi, il valore aggiunto per abitante può essere ritenuto una buona approssimazione della capacità produttiva di un'area [3]. È indubbio che nel Sud le dimensioni assolute del sistema industriale si siano ridotte in maniera drammatica; apparato che anche prima era insufficiente a sostenere un duraturo processo di sviluppo. Tuttavia, l'esperienza recente indica che l'economia meridionale è reattiva a stimoli della domanda e è in grado di tenere il passo con le aree più sviluppate del paese. Ma l'insufficiente processo di *upgrading* pone dei problemi di competitività, o più esattamente: "The trouble seems to be not that [...] countries are unable to grow, but that their growth spurts eventually fizzle out" [4]. Sotto questo profilo appare di fondamentale importanza rafforzare quelle produzioni che riescono a sottrarsi alla concorrenza essenzialmente di prezzo operata dai paesi *new comers*, e per le quali il capitale umano, largamente disponibile nel Sud quando non fugge verso altri paesi per mancanza di opportunità lavorative, costituisce un importante vantaggio

competitivo. È questa la strada per sfuggire alla c.d. “*Middle-Income Trap*” nel quale pare essersi bloccato il nostro Meridione [5].

### 2.3. *La Bioeconomia come occasione di rinascita industriale del Mezzogiorno*

Se dunque il Mezzogiorno deve assumere la centralità della sfida dell’innovazione per tornare a competere nella nuova economia globale, la Bioeconomia e l’economia circolare – due modelli di nuova economia tra loro strettamente collegati – rappresentano una nuova opportunità dai risvolti e potenziali inediti rispetto al recente passato.

Questo, non soltanto per il valore economico prodotto da questi comparti, ampiamente ricostruito nel rapporto Spring, quanto perché, come già ricordato nello stesso rapporto, parlare di bioeconomia significa analizzare la dinamica di un fenomeno in continua trasformazione – anche in virtù dei continui e accelerati mutamenti tecnologici - e per sua stessa definizione trasversale ai diversi settori produttivi tradizionali, oltre che capace di valorizzare l’incontro tra domanda e offerta di innovazione nelle diverse fasi del ciclo produttivo, dalla produzione, alla trasformazione sino al consumo. A questo livello, infatti, la bioeconomia incrocia altri elementi essenziali delle trasformazioni oggi presenti nei mercati come l’economia circolare, l’economia sostenibile e la stessa industria 4.0. Modelli e fattori che stanno contribuendo alla ripresa di una parte rilevante delle economie internazionali dopo la grande recessione e che, sotto molti aspetti, definiscono i confini della nuova rivoluzione industriale in corso.

In questo quadro, si tratta di una sfida che supera i confini del meridione: la capacità dell’Italia di individuare un proprio ruolo nella competizione internazionale passerà, infatti, anche da come il suo tessuto economico e in genere l’insieme del sistema-Paese riusciranno a valorizzare le potenzialità di questi nuovi modelli produttivi e tecnologici, coniugandoli con le tante potenzialità, ricchezze e competenze di cui il territorio già dispone. Dopo avere sfuggito l’aggancio alla ripresa del ciclo internazionale della fine degli anni Novanta, il Paese non può mancare le occasioni ora offerte da questa nuova rivoluzione produttiva. Se la prima fase della globalizzazione, compresa tra la fine degli anni Ottanta e i primi anni Duemila, era giocata soprattutto sulla capacità dei paesi tradizionalmente più avanzati di sfruttare le occasioni offerte dall’apertura dei mercati e della rivoluzione delle ICT, a partire dall’ultimo decennio la concomitanza tra l’ascesa dei nuovi protagonisti dell’economia globale e l’ulteriore evoluzione della rivoluzione tecnologica verso lo sviluppo dell’industria 4.0 e dell’economia digitale richiedono la necessità – soprattutto per i Paesi come l’Italia – di rimettere in discussione strutturalmente le proprie forme di organizzazione economica e produttiva. Oltretutto, come ricordati sopra, a seguito della grande recessione degli anni 2007-2014 si sono registrate nuove differenze tra le imprese e le aree territoriali maggiormente in grado di raccogliere la doppia sfida dell’innovazione e dell’internazionalizzazione rispetto a quelle ancora legate a modelli più tradizionali.

Questa rivoluzione produttiva, seppure come detto è stata particolarmente sostenuta dalle regioni centro settentrionali, può giovare tuttavia di alcune precondizioni favorevoli presenti, questione inedita rispetto al passato più recente, proprio nel Mezzogiorno dove, come ricordato nello stesso rapporto Spring, negli ultimi anni si sono sviluppati settori, imprese, modelli ad alto valore aggiunto, legati all’economia circolare e alla bioeconomia. Da qui deriva la possibilità che questi nuovi modelli possano rappresentare per il Meridione una nuova occasione di sviluppo favorendo, come avvenne negli anni della grande trasformazione del boom economico, l’aggancio dell’economia non solo al resto del Paese, ma alle economie più avanzate della attuale competizione internazionale. Questo perché presuppongono la capacità di adottare e favorire un impulso innovativo in grado di interessare le diverse fasi della produzione, della distribuzione e del consumo, coinvolgendo così la progettazione, l’organizzazione

della fabbrica, i metodi di trasformazione dei prodotti (e dei rifiuti), i modelli di consumo diffusi. Una trasformazione basata dunque, oltre che sul concetto di circolarità, anche su quello di interdipendenza delle diverse fasi produttive. La forza della bioeconomia risiede, infatti, anche nell'assumere e diffondere tecnologie utili alla produzione sostenibile di risorse biologiche rinnovabili e alla conversione di tali risorse e dei flussi di rifiuti/scarti in prodotti industriali a valore aggiunto. Si calcola che per ogni euro investito in ricerca e innovazione nella bioeconomia la ricaduta in valore aggiunto nei settori del comparto sarà pari a dieci euro entro il 2025. Sono cifre e previsioni orientative che si basano però sull'assunto, segnalato già dall'Ocse nel 2009, di come la bioeconomia possa rappresentare una spinta verso una nuova rivoluzione industriale, in grado di favorire l'innovazione nei settori maturi come quelli delle materie prime, della produzione di energia e intermedi, garantendo al contempo una sostenibilità ambientale, economica e sociale [6].

Come ricordato, l'Italia mostra un più alto livello di diversificazione produttiva nella bioeconomia rispetto a diverse parti del resto d'Europa. Secondo la Conferenza Stato Regioni [7], la crescita della bioeconomia su scala nazionale e regionale è favorita dalla diffusione su tutto il territorio – e nel Mezzogiorno in particolare – della ricchezza e delle risorse funzionali allo sviluppo dei suoi comparti produttivi. Tra le tante, è utile ricordare: il già eccellente posizionamento del Paese nell'agroalimentare e nella chimica verde; la forte attrattività del *Made in Italy*, legata anche a diversi settori della bioeconomia; la facilità con cui le trasformazioni di alcuni comparti possono aderire ai processi produttivi locali; lo stretto rapporto tra il settore agricolo per la produzione di alimenti e quello per la l'industria della chimica, per la farmaceutica, la cosmetica e l'energia da biomasse; le potenzialità della filiera del cibo e dell'enogastronomia (dalla produzione primaria, alla trasformazione, alla distribuzione e al consumo) ad elevato contenuto di conoscenze e competenze; il dinamismo dell'industria chimica da fonti rinnovabili; le potenzialità della *blue economy* e della bioeconomia del mare; la presenza di progetti e Cluster tecnologici in grado di favorire lo sviluppo di alcuni settori legati alla bioeconomia; lo sviluppo di nuovi modelli produttivi e di filiere nel settore del legno, della carta e del packaging collegato al comparto alimentare.

In questo contesto si inseriscono le analisi ricordate in questo rapporto e nei diversi documenti già prodotti dalla Svimez che evidenziano come nel Mezzogiorno, alcuni settori legati alla crescita della bioeconomia assumano una valenza superiore alla media nazionale. Solo per citare alcuni numeri, nel 2015 il valore aggiunto di agricoltura, silvicoltura e pesca prodotto nel Meridione risulta pari a circa 14 miliardi di euro, il 41% sul dato nazionale, con un ruolo di primo piano di Sicilia e Puglia. Anche in termini relativi, il Sud mostra un tasso di incidenza del valore aggiunto generato dal settore sul totale del prodotto a livello regionale pari al 4,1%, a fronte del 2,5% del Nord-Est, dell'1,7% del centro e dell'1,2% del Nord-Ovest. Sotto il profilo dei modelli produttivi, tra il 2010 e il 2016, sono cresciute la dimensione media e la superficie media delle imprese agricole, in un processo di graduale ma comunque rilevante avvicinamento tra i modelli aziendali del nord e del sud del Paese. Particolarmente significativo, inoltre, è il ruolo dell'industria alimentare e la sua incidenza sul totale del manifatturiero meridionale, segno di come la vocazione agricola di queste regioni è accompagnato dallo sviluppo dell'industria di trasformazione; è anche per questo che il valore aggiunto generato nel Mezzogiorno del settore dell'alimentare, delle bevande e del tabacco nel 2014 è stato pari a 5,3 miliardi di euro, circa un quinto del valore complessivamente prodotto da questo territorio. Ancora, si pensi al ruolo preminente assunto dal Mezzogiorno nella crescita delle nuove fonti energetiche rinnovabili (fotovoltaico, eolico, bioenergie): è qui, infatti, che nel 2013 si concentrava il 52,7% della potenza installata, con un peso particolarmente significativo di Puglia, Sicilia e Campania (pari, rispettivamente, al 16,7%, al 10% e al 7% del totale nazionale [8]). La dinamica della crescita di questi settori della bioeconomia incrocia, non casualmente,



quelli più generali della ripresa dell'economia del Mezzogiorno dopo la grande recessione degli anni 2007-2014, sopra ricordata.

### 3. Conclusione

Economia circolare e bioeconomia rappresentano, dunque, due nuovi paradigmi del sistema produttivo internazionale in grado di definire confini e criteri dello sviluppo economico e sociale dei prossimi anni, la sua qualità e durata nel tempo. Sotto diversi aspetti, la nuova rivoluzione industriale che stiamo attraversando è trainata dalle risorse biologiche e dalle biotecnologie industriali ed è probabilmente destinata a ridefinire i tradizionali confini tra i settori primario, secondario e terziario, verso una ricomposizione in nuovi ambiti basati su una sempre più stretta compenetrazione e integrazione, verticale e orizzontale dei diversi comparti produttivi. Non solo, le conseguenze di questa rivoluzione tecnologica sono potenzialmente vastissime e interessano oltre alla dinamica della produzione anche quella della redistribuzione e, non meno importante, delle diseguaglianze sociali e territoriali, sempre più legate al tema della qualità ambientale e della sostenibilità dello sviluppo. L'attuale configurazione della bioeconomia su scala nazionale vede un buon posizionamento del nostro Paese e il Mezzogiorno presenta in questo contesto alcuni elementi di forza che possono fare sperare non solo a una loro diffusione e implementazione nei prossimi anni, ma anche allo sviluppo di un novo modello produttivo in linea con quelli delle economie più avanzate. Questo è possibile data la presenza di alcune precondizioni sistemiche che rendono il Sud un luogo favorevole all'innovazione bioeconomica, come: i) la persistenza di spazi e territori dove potere investire e intervenire con nuovi modelli produttivi; ii) una vasta rete di imprese, spesso collegate a nuovi grandi poli produttivi e che, grazie agli investimenti in questi settori, sono state in grado di superare la crisi e di accompagnare la ripresa degli anni 2015-2017; iii) la diffusione di talenti e competenze legate ai diversi comparti della bioeconomia, agroalimentare in primis; iv) una consapevolezza diffusa, sia tra gli operatori, che nelle istituzioni della centralità di queste tematiche per il futuro del meridione (come dimostrato ad esempio dalle norme inserite a favore di questi settori dalla Regione Campania con la Legge Regionale n. 23 del 2017 sulla semplificazione). Dopo molti anni, il Mezzogiorno sembra così avere le condizioni per poter affrontare la sfida dell'innovazione e della competizione globale con le altre realtà economiche nazionali e internazionali; l'adesione ai modelli dell'economia circolare e della bioeconomia possono quindi potenzialmente accompagnare il Sud verso un nuovo *catching up* con le economie più avanzate. L'obiettivo e la sfida devono essere dunque quello di valorizzare le potenzialità e le migliori esperienze imprenditoriali del Mezzogiorno, affinché siano elemento di traino e supporto alla trasformazione di tutto il tessuto produttivo. Per farlo, è necessario muovere dal riconoscimento degli elementi di forza e delle criticità e contraddizioni che pure permangono e che possono rallentare o bloccare questo percorso. Tra i primi, certamente le competenze e le ricchezze, espresse sia in termini di capacità imprenditoriale che di trasferimento tecnologico, dimostrato dalle numerose aziende attive nella filiera agroalimentare, della bioenergia, della chimica verde e farmaceutica, della carta e della biotecnologia. Tra le seconde, la bassa intensità di investimenti in ricerca e sviluppo e trasferimento tecnologico; la presenza di un capitale umano composto ancora da pochi laureati e specializzati in discipline scientifiche e, quando qualificato, troppo spesso spinto a spostarsi in altre zone del Paese o all'estero; infine, ma non meno importante, il contesto sociale, segnato dalla presenza di distorsioni nella policy pubblica e dalla criminalità organizzata che possono drenare risorse originariamente destinate a incentivare questi settori in espansione.

In linea generale appare necessario in primo luogo assumere le indicazioni contenute nella strategia europea, basta su tre pilastri principali: investimenti in ricerca, innovazione, competenze; una maggiore interazione tra le politiche pubbliche; il rafforzamento dei mercati

e della qualità dei settori protagonisti della bioeconomia. A livello nazionale e territoriale, invece sarà necessario attuare un intervento basato da un lato su precise policy pubbliche e dall'altro sugli incentivi e il sostegno agli investimenti privati per una riorganizzazione del modello produttivo. Sotto il profilo istituzionale, sarà dirimente la capacità dei diversi livelli di governo di individuare un equilibrio e una complementarietà tra le varie politiche per sostenere lo sviluppo di questi settori nel meridione. Muovendo dalle indicazioni contenute nella *Strategia nazionale per la Bioeconomia*, sarà necessario attivare un programma di interventi nazionali e regionali finalizzato a investimenti materiali e immateriali e basato anche sul sostegno fiscale alla crescita dell'industria meridionale, a incentivi alla nascita di reti e filiere, alla diffusione di una nuova cultura di impresa, alla valorizzazione dei Cluster e i *Competence Center*; tutto questo adottando misure che siano incentivanti e non sostitutive del capitale privato, stimolando una nuova cultura di impresa ed educazione alla tecnologia, all'innovazione e alla crescita sostenibile nella società e nelle nuove generazioni, favorendo la diffusione di un ecosistema imprenditoriale dell'innovazione, utile a agevolare la nascita di startup, di diffondere esperienze di trasferimento tecnologico tramite misure per il pre-seed e le nuove infrastrutture della ricerca. Sotto il profilo direttamente imprenditoriale, la sfida per un nuovo *catching up* potrà essere vinta solo con un rinnovato patto per lo sviluppo del Mezzogiorno da siglare tra le imprese e il mondo del lavoro che assuma, al suo interno tra i temi prevalenti, proprio quello della diffusione dell'economia circolare e della bioeconomia. Un patto da applicare concretamente favorendo e incoraggiando le imprese ad attuare politiche di investimento tecnologico e digitalizzazione, aumento della dimensione di impresa, la costituzione di reti e filiere, assumendo la doppia sfida dell'innovazione e dell'internazionalizzazione quale paradigma di riferimento in grado di trainare la ripresa del Meridione.

## Bibliografia

- [1] Confindustria-Cerved, *Rapporto PMI Mezzogiorno 2017*, Roma, Editori Sipi, 2017.
- [2] P.L. Iapadre, S. Prezioso, *Com'è cambiata la posizione sull'estero del Mezzogiorno durante la "lunga crisi"*, in «Rivista Economica del Mezzogiorno», n. 4, 2016, pp. 745-777.
- [3] S. De Nardis *Le imprese industriali nella competizione internazionale e nella lunga recessione: modalità di aggiustamento e prospettive*, Intervento al XXXVIII Convegno di Economia e Politica Industriale, *Tornare a crescere: il fattore organizzativo-imprenditoriale*, Ancona, 26-27 settembre 2014.
- [4] D. Rodrick, *Goodbye Washington Consensus, Hello Washington Confusion? A Review of the World Bank's Economic Growth in the 1990s: Learning from a Decade of Reform*, in «Journal of Economic Literature», XLIV, 2006.
- [5] S. Prezioso, S. Rosignoli, G. Testa, *Le regioni convergenza dei paesi "dualistici" europei: un caso di Middle-Income Trap?*, in «Economia e Lavoro», n. 1, 2014, pp. 151-176.
- [6] Ocse, *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda*, aprile 2009.
- [7] *Documento delle Regioni e delle Province Autonome di posizionamento sulla bioeconomia in attuazione della Strategia nazionale di specializzazione intelligente*, novembre 2016.
- [8] Svimez, *Rapporto sull'economia del Mezzogiorno 2016*, Bologna, il Mulino, 2016.

# SUSTAINABLE REMEDIATION AND SITE REQUALIFICATION

## LUCI E OMBRE NELLA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI A 20 ANNI DALL'ENTRATA IN VIGORE DEL D.M. 471/99

Trascorsi 20 anni dalla entrata in vigore della prima normativa organica per la bonifica dei siti contaminati e dopo 13 anni dalla introduzione della successiva 152 del 2006, è forse il momento per discutere criticamente delle limitazioni che non hanno consentito la riqualificazione della gran parte dei Siti di Interesse Nazionale e di molti siti locali. L'esperienza accumulata in questi anni può consentire di evidenziare le maggiori criticità per suggerire miglioramenti che, apportati alla normativa attuale, consentirebbero di velocizzare e concludere gli interventi di bonifica. D'altra parte, diversi esempi "virtuosi", soprattutto a livello locale, possono dimostrare come la corretta interpretazione delle norme, la costruttiva collaborazione tra responsabile della contaminazione e Enti di Controllo e la selezione delle strategie/tecnologie di bonifica più appropriate potrebbero favorire la conclusione dei procedimenti e la riqualificazione delle aree contaminate anche a normativa vigente. Da questo punto di vista, l'enorme miglioramento tecnologico di questi ultimi due decenni (certamente ancora non recepito dalla normativa vigente), offre attualmente un ampio spettro di soluzioni che ridurrebbero gli ostacoli al raggiungimento degli obiettivi di bonifica. La sessione presenta casi studio rappresentativi di opportunità e limitazioni offerte dalla normativa vigente.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo**

**Presidenti di sessione:**

- Alessandro Bratti, *Direttore Generale ISPRA*
- Donatella Giacometti, *Unione Petrolifera*
- Marco Petrangeli Papini, *Università di Roma "La Sapienza"*





# L'applicazione del Soil Washing per la bonifica della matrice suolo in uno stabilimento metallurgico in attività: il caso della Portovesme s.r.l.

*Giacomo Cattarossi [giacomo.cattarossi@hpc.ag](mailto:giacomo.cattarossi@hpc.ag), Pier Paolo Manca,  
Pietro Caredda, Raffaele Pellegatta,  
HPC ITALIA S.r.l., Milano*

## **Riassunto**

*All'interno dello stabilimento metallurgico della Portovesme s.r.l. (Sardegna sud-occidentale), tuttora operativo, è in atto un intervento di bonifica ambientale che interessa le matrici suolo e falda. Dopo la bonifica di alcune aree particolarmente inquinate con sistemi di escavazione – sostituzione e capping del terreno, si pone oggi l'alternativa di estendere gli interventi a volumi molto maggiori applicando la tecnica del Soil Washing, con impianto di trattamento interno allo stabilimento. La memoria dimostra che tale soluzione è ambientalmente più razionale ed economicamente più conveniente attraverso un confronto tra la tecnica già applicata e le due alternative Soil Washing e Soil Flushing, entrambe basate sulla lisciviabilità degli inquinanti presenti.*

## **Summary**

*Inside the metallurgical plant of Portovesme s.r.l. (South-Western Sardinia), still in operation, an environmental reclamation activity is underway that involves the soil and groundwater matrices. After the reclamation of some particularly polluted areas with excavation systems - soil replacement and capping, the alternative is now to extend the interventions to much greater volumes by applying the Soil Washing technique, with an inside plant. The paper shows that this solution is environmentally more rational and economically more convenient through a comparison between the technique already applied and the two alternatives Soil Washing and Soil Flushing, both based on the leachability of the pollutants present.*

## **1. Introduzione**

Una tecnologia di bonifica dei terreni tradizionalmente applicata è quella basata sull'asportazione, conferimento in discarica e sostituzione dei volumi inquinati. Oggi tuttavia, esigenze ambientali tendono a ridurre il ricorso allo smaltimento dei terreni ed alla preservazione della risorsa suolo, e sollecitano quindi il ricorso a tecnologie che favoriscono recupero e riutilizzo della matrice originaria. Tra queste, per l'inquinamento da metalli pesanti, si dimostrano interessanti le tecnologie di Soil Washing (SW) e di Soil Flushing (SF), che quindi sono messe a confronto nel caso specifico di uno stabilimento metallurgico in attività. Questa circostanza determina la favorevole opportunità da un punto di vista economico del graduale sviluppo dei processi di bonifica durante la fase di esercizio.

Il SW è definibile come un processo impiantistico che utilizza lavaggi additivati per rimuovere i contaminanti dal suolo, separa le fasi liquide e solide, tratta e ricicla le soluzioni, reindirizza i suoli trattati [1][2]. La tecnica SF è una procedura di estrazione degli inquinanti presenti nel suolo, che non viene rimosso, applicata attraverso iniezione – estrazione – trattamento di una soluzione liscivante [3]. Al suo utilizzo è associata la messa in opera preventiva di un sistema di confinamento della falda, preferibilmente di tipo idraulico e per una porzione più ampia di quella direttamente interessata, con lo scopo di evitare i rischi d'inquinamento diffuso.

## **2. Relazione**

### *2.1 Il Sito*

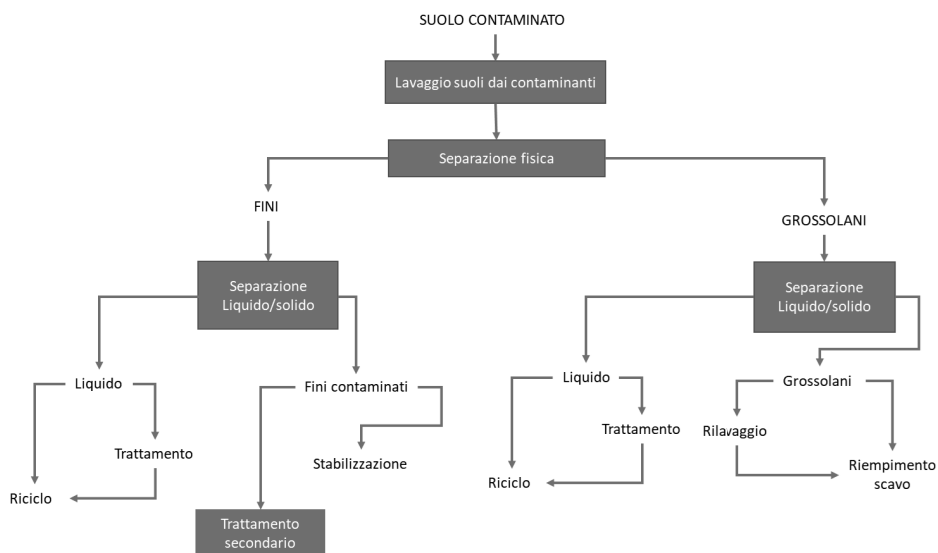
Lo Stabilimento Portovesme Srl è ubicato all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) Sulcis Iglesiente Guspinese (Sardegna Sud-Occidentale), ha un'estensione di circa 70 ha ed è parte integrante del Polo Industriale di Portoscuso. Il sito è caratterizzato da una contaminazione da metalli pesanti nei terreni insaturi fino ad una profondità di circa 6 m (concentrata entro i primi 3 m), in uno stabilimento attualmente attivo nel trattamento di solfuri e ossidi misti per la produzione di Piombo, Zinco, Acido Solforico, Ossidi Waelz e Cementi Rame.

Le attività di bonifica si differenziano tra quelle attuabili nella fase di esercizio dell'impianto e quelle applicabili dopo la cessazione dell'attività produttiva; si differenziano per azione sulle matrici acque sotterranee (falda) e suoli. Il volume totale dei terreni da bonificare è pari a circa 1,1 Mm<sup>3</sup>.

Il Progetto Operativo di Bonifica (POB) dei terreni del sito in esame è stato approvato con Decreto MATTM n°55 del 20/02/2018 relativamente alle Fasi 1A (di scavo e smaltimento) e Fase 1 B (di impermeabilizzazione/capping) per le aree non pavimentate a maggiore criticità.

### *2.2 La tecnica del Soil Washing*

La tecnica del SW si basa sui processi fisico-chimici che si sviluppano tra le particelle solide del suolo e la soluzione in cui sono disperse [3]. In generale, si sfrutta il principio secondo cui i contaminanti aderiscono ai terreni a grana fine, che, a loro volta, aderiscono ai terreni a grana grossa attraverso adesione e compattazione. Il lavaggio con acqua e idonei additivi consente ai terreni a grana grossa di separarsi dalla porzione contaminate. Diversi processi fisico-chimici come desorbimento, complessazione, dissoluzione/solubilizzazione e riduzione dell'ossidazione sono coinvolti nel lavaggio del suolo [3][4].



**Fig. 1** – Fasi principali del processo di trattamento Soil Washing

Il desorbimento si verifica nel lavaggio del suolo quando l'acqua di lavaggio (e gli additivi associati) viene miscelata con il suolo. Durante questa fase, i contaminanti vengono desorbiti dalla superficie delle particelle di terreno. La dissoluzione o la solubilizzazione dei contaminanti possono verificarsi a causa di variazioni del pH risultanti da reazioni acido-base dell'acqua di lavaggio.

Lo schema più semplice con cui si rappresenta il processo del SW è quello riportato nello schema di Figura 1 che evidenzia la separazione dimensionale e la maggiore complessità del trattamento della frazione fine (generalmente intesa come il -75 µm).

Il processo, semplice nella sua struttura di base, può essere più o meno complesso in ragione delle caratteristiche del trattamento secondario dei materiali più fini e loro stabilizzazione e dei processi di trattamento delle acque (o soluzioni) di lavaggio. Il materiale più grossolano viene recuperato allo scopo di un suo riutilizzo per il riempimento degli scavi di bonifica, mentre i materiali fini (ritrattati o stabilizzati) possono essere smaltiti o riutilizzati. Il trattamento secondario può prevedere trattamenti fisici, chimici o chimico-fisici, inclusa la flottazione; può restituire un materiale inerte (riciclabile) o un declassato non pericoloso (da smaltire in discarica).

### 2.3 Analisi tra le tecniche alternative considerate

#### 2.3.1 Valutazioni tecnico - operative

Le due tecniche di bonifica dei suoli definite Soil Washing e Soil Flushing sono basate entrambe sulla lisciviabilità dei contaminanti presenti nella matrice suolo, tuttavia presentano differenze tecniche sostanziali e diversità anche nelle modalità di applicazione, nei risultati ottenibili e nei costi, tali da presentare campi di applicabilità molto differenti.

Il confronto sviluppato esamina alcuni aspetti caratterizzanti, ma non può essere considerato esaustivo per la complessità di situazioni reali e processi messi a confronto. La Tabella 1 riporta le principali caratteristiche operative delle tre tecnologie, distinguendo tra: necessità di strutture impiantistiche, attività preliminari (scavo e trasporto ex situ), tipologia dei tratta-

menti impiantistici richiesti, tipologia di smaltimenti richiesti, eventuali sostituzioni di suolo e riempimento di scavi. Nel caso Portovesme si ipotizza un impianto SW sul sito e quindi senza trasporto ex situ del materiale scavato.

Nel caso di un suolo inquinamento da metalli pesanti il processo SW è sostanzialmente un impianto di trattamento mineralurgico.

L'applicazione delle due tecniche SW e SF richiede caratterizzazioni e studi preliminari che comprendono, comuni alle due tecniche: analisi dimensionale e composizionale dei suoli, prove di lisciviabilità in laboratorio e prove pilota. Il SF richiede inoltre caratterizzazioni del suolo in situ, in particolare la misura della permeabilità che deve essere maggiore a  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ . Inoltre, la complicata gestione della circolazione di una soluzione liscivante nel mezzo poroso suolo, in molti casi disomogeneo con scarse possibilità di controllo, richiede un'analisi modellistica 3D, complessa per i dati di input richiesti e i software necessari. Le scarse applicazioni reali di quest'ultima tecnica testimoniano le notevoli difficoltà che la pratica presenta perché vi possa essere diffusione di una procedura d'intervento che offre, tuttavia, il non trascurabile vantaggio di poter raggiungere una sorgente d'inquinamento profonda in aree la cui superficie è occupata da manufatti o impianti.

La tecnica del SW consente di operare su volumi di suolo ben definiti i cui effetti possono essere facilmente validati dagli Enti di controllo, non crea interferenze sulla eventuale falda sottostante, al contrario di quanto avviene nel SF. La tecnica SW agisce sul materiale rimosso e segue un processo impiantistico ben definito nelle procedure e nei tempi; il SF agisce direttamente sul materiale che viene raggiunto dalla soluzione immessa nel terreno e sottopone il materiale a un processo poco controllabile per intensità ed estensione volumetrica e con esiti meno verificabili, per contaminanti rimossi e per tempi richiesti.

	Scavo, smaltimento, riempimento	Metodologia di bonifica	
		Soil washing	Soil flushing
Impianti richiesti	Nessun impianto	Trattamento suoli	Preparazione soluzione liscivante
		Trattamento acque	Reti di immissione, emungimento, controllo Trattamento acque
Attività preliminari	Scavo	Scavo	
	Trasporto	Trasporto	
Processi impiantistici	Nessun processo	Separazione grossi-fini	Iniezione - emungimento della soluzione liscivante
		Trattamento fini	
Smaltimenti	Totalità terreno scavato	Trattamento acque	Trattamento acque
Sostituzioni		Fanghi trattamento acque	Fanghi trattamento acque
Riempimenti	Totalità del terreno scavato	Fini non trattati e smaltiti Grossolani inerti e fini declassati	

**Tab. 1** – Caratteristiche tecniche operative delle tre tecnologie di bonifica oggetto di studio

SW seleziona le frazioni granulometriche in ragione del grado e del tipo di inquinamento e consente l'intervento fino al raggiungimento di livelli di contaminazione voluti; SF non opera distinzioni né per tipologie né per entità.

### 2.3.2 Considerazioni sui costi

La tecnica di scavo e smaltimento in discarica non richiede investimenti iniziali, se si esclude la creazione di aree di deposito temporaneo, mentre ha costi elevati di applicazione legati sostanzialmente agli oneri di conferimento in discarica. I costi non risentono dell'effetto scala e la sua applicazione appare conveniente per interventi su limitate volumetrie e nel caso in cui sia disponibile una idonea discarica a breve distanza. Le altre due tecniche richiedono significativi investimenti iniziali per la realizzazione delle parti impiantistiche; mentre presentano costi di esercizio minori rispetto alla tecnica precedente. L'effetto scala può ridurre i costi unitari anche oltre il 50% [5]. Occorre far notare, tuttavia, che sussiste per entrambe le due tecniche l'esigenza di smaltire i fanghi derivanti dal trattamento delle acque, che sono proporzionalmente più rilevanti nel caso del SF perché l'azione lisciviante è meno calibrata sia in riferimento ai volumi interessati sia in riferimento agli analiti rimossi.

### 2.4 Indagini di laboratorio

Il suolo in esame può essere definito come una sabbia silicea fine con una piccola componente limo – argillosa (il 15%  $<75\mu\text{m}$ ); l'inquinamento, diffuso in modo disuniforme per una profondità raramente superiore a 4 m, è legato principalmente agli analiti As, Cd, Hg, Pb, Se e Zn. Le indagini di laboratorio [6] hanno dimostrato che, per i sei analiti citati, le condizioni di lisciviabilità possono essere riassunte come segue:

- Mediante l'utilizzo di acido acetico
- In condizioni di  $\text{pH} \leq 4$ : buona estrazione di Cd e Zn
- In condizioni di  $\text{pH} \leq 2.5$ : buona lisciviabilità del Pb
- In condizioni di  $\text{pH} \leq 1.6$ : buona lisciviabilità di Se e As
- Mediante l'utilizzo combinato di Ioduro di potassio e acido acetico a  $\text{pH} = 2.0$
- Quasi completa lisciviabilità del Hg
- Buona lisciviabilità di As, Cd, Se e Zn.

### 2.5 Analisi delle soluzioni

Premettendo che il SW si differenzia dal SF principalmente perché consente di applicare sul terreno un processo differenziato e calibrato sulle diverse frazioni granulometriche, la necessità di rimuovere il terreno pone dei problemi nel caso di inquinamento localizzato in profondità, raggiungibile invece da sondaggi con i quali si possono attivare immissione ed emungimenti di soluzioni liscivanti (SF). In casi di questo tipo, si potrebbe addirittura stabilire come elemento discriminante per definire la convenienza tra le due tecnologie un *rapporto di copertura limite* tra volume inquinato e volume da rimuovere.

Volendo procedere ad un confronto più ampio, sempre operando in termini generali e non numerici, si può proporre un'analisi che tenga conto di una molteplicità di condizioni indicando per ciascuna delle tre tecnologie considerate l'opzione più favorevole, se esiste. Dal confronto tra il caso di Portovesme in esame e le condizioni indicate in Tabella si evince quale tecnologia e per quali ragioni è nel nostro caso preferibile. In riferimento ai metalli pesanti, le migliori condizioni di applicabilità delle tre tecnologie sono riportate in Tabella 2:

		Metodologia di bonifica		
		Scavo e smaltimento	Soil Washing	Soil Flushing
Condizione esaminata	Posizione del volume inquinato	Superficiale in zona insatura	Superficiale in zona insatura	Profondo in zona insatura
	Volume totale da trattare	< 100'000 m <sup>3</sup>	> 100'000 m <sup>3</sup>	> 100'000 m <sup>3</sup>
	Complessità dell'inquinamento	Indifferente	Affinità tra gli analiti	Affinità tra gli analiti
	Permeabilità del suolo	Indifferente	indifferente	>1· 10 <sup>-5</sup> m s <sup>-1</sup>
	Granulometria	Indifferente	-75µm <50%	indifferente
	Possibile riutilizzo della frazione grossolana	indifferente	+75µm tal quale	indifferente
Possibile riutilizzo della frazione fine	indifferente	-75µm trattato	indifferente	

**Tab. 2** – Condizioni favorevoli all'applicabilità

In riferimento alla tecnica del SF i contaminanti presenti nel suolo oggetto della bonifica hanno: concentrazioni, limiti normativi, lisciviabilità e cinetiche di reazione differenti. Inoltre, le acque nelle quali le concentrazioni rimosse si riversano presentano concentrazioni limiti di riferimento più restrittive di quelle dei suoli, al punto che si può provocare nel suolo una lisciviazione non necessaria di un certo analita (perché sotto il limite normativo) che però in soluzione determina una concentrazione che supera il limite stabilito per le acque. I processi di lisciviazione, diluizione e recupero operano sulla massa del suolo e sul volume d'acqua indistintamente, a meno che non si operi con processi di lisciviazione differenziata (scarsamente indagati sperimentalmente).

Nel caso del SF [6] la lisciviazione non si arresta sul suolo quando un particolare analita ha raggiunto il suo obiettivo di bonifica, ma prosegue se si continua nella circolazione della soluzione lisciviante. Così come la diluizione e il recupero dell'acqua inquinata non vengono arrestati quando un solo analita ha raggiunto la sua CSR, ma proseguono finché tale condizione non è stata raggiunta da tutti i contaminanti immessi in soluzione.

### 3. Conclusioni

Il confronto sviluppato, benché basato su elementi di carattere generale, consente di individuare la tecnica del SW con impianto in situ come quella più adatta per le seguenti ragioni:

- Volumetrie da trattare superficiali (entro i 4-6m), superiori ai 100000 m<sup>3</sup> e necessità di ripristinare il terreno rimosso.
- Alti costi di conferimento in discarica, anche ricorrendo a siti in altre regioni italiane.
- Composizione granulometrica dei suoli favorevoli all'applicazione della tecnologia.
- Buona lisciviabilità degli inquinanti.
- Facilità di certificazione dei risultati ottenuti.

La tecnica SF presenta, invece, i seguenti limiti:

- Complessità delle reti di immissione – emungimento e controllo dei flussi.
- Incertezza operative meno controllabili e pH bassi per la lisciviazione di As, Hg e Se.
- Processo lento e non selettivo.

Dai risultati emersi, dunque, è possibile ritenere l'implementazione della bonifica tramite SW una valida alternativa per il risanamento dei terreni contaminati, giustificata dalla presenza di condizioni più sostenibili negli ambiti tecnico-ambientale, economico e sociale.

L'analisi svolta sarà quindi punto di partenza e parte integrante nella redazione di uno Studio tecnico – economico sull'applicabilità del SW ai terreni inquinati nell'area dell'impianto



metallurgico della Portovesme s.r.l.. Lo studio includerà ulteriori prove di laboratorio e test d'impianto. I risultati consentiranno un confronto numerico e l'acquisizione di elementi fondamentali per la progettazione degli impianti di trattamento solidi e acque.

### **Bibliografia**

- [1] **USEPA**. (1993, November). *Innovative Site Remediation Technology: Soil Washing/Soil Flushing*. EPA 542-B-93-012.
- [2] **USEPA** (2010, September). *Superfund Remedy Report*. 13. EPA-542-R-10-004.
- [3] **Sharma, Hari D., and Krishna R. Reddy** (2004). *Soil Remediation Technologies. Geo Environmental Engineering: Site Remediation, Waste Containment, and Emerging Waste Management Technologies*. Wiley, Hoboken, NJ, 413-421.
- [4] **Griffiths, Richard A.** (1995). *Soil-washing technology and practice*. Journal of Hazardous Materials. 40. 175-189.
- [5] **Federal Remediation Technologies Roundtable (FDTR)**. (2006). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide: 4.19 Soil Washing*. Mar. 16, 2013.
- [6] **Manca, P.P., Caredda, P. & Orrù, G.** *The applicability of soil flushing technology in a metallurgical plant*. Int J Coal Sci Technol (2018) 5: 70.

# Riqualificazione sostenibile di un ex contesto produttivo milanese a verde pubblico

*Daniele Vezzoli [daniele.vezzoli@hpc.ag](mailto:daniele.vezzoli@hpc.ag) Raffaele Pellegatta, Eleonora Cerva  
HPC ITALIA S.r.l., Milano*

## **Riassunto**

*In un ex sito produttivo ubicato nel milanese è stata riscontrata una contaminazione di IPA, C>12 e metalli pesanti principalmente nei suoli superficiali. Il sito, che in passato ospitava attività industriali, è inserito all'interno di una zona fortemente urbanizzata. L'obiettivo principale degli interventi di bonifica condotti, è stato risanare in tempi rapidi un'area degradata e consentire la restituzione alla comunità di un territorio con un valore aggiunto (realizzazione di parco pubblico a valle degli interventi di bonifica). Attraverso l'escavazione del suolo contaminato, che è stato poi conferito ad impianti di recupero di rifiuti, in un'ottica di economia circolare, è stato possibile rimuovere in maniera efficace la contaminazione eterogenea dei suoli presente. L'iter di bonifica, di durata pari a circa 2 anni, ha permesso la trasformazione di un'area dismessa a parco pubblico a beneficio della comunità.*

## **Summary**

*A decommissioned site in Milan is characterized by surface soil contaminated by PAH, heavy hydrocarbons and heavy metals. Today the site is situated in an urban setting, but during the past industrial activities were carried on. The principal goal of the remediation activities has been to redevelop a decommissioned area and to give back a value-added site to the local community in a short time. The contaminated soil was excavated and sent to treatment plants, to respect the principles of the circular economy. This remediation technology allowed to remove the soil contaminated in a heterogenous way. At the end of the remediation process, that lasted about 2 years, a green park available for all the community, has been realized.*

## **1. Introduzione**

Il sito, di estensione pari a circa 20.000 m<sup>2</sup>, si inserisce all'interno di un'ex contesto produttivo milanese, dismesso da oltre 20 anni. I terreni dell'area risultavano contaminati da C>12, IPA e metalli pesanti, principalmente concentrati nel suolo superficiale, con alcune estensioni nel suolo profondo. Le attività di bonifica sono state condotte in un'ottica di valorizzazione dell'area tramite la riqualificazione del sito a verde pubblico. L'obiettivo principale è stato quello di riconvertire il più velocemente possibile e in maniera sostenibile una zona degradata inserita in un contesto fortemente urbanizzato, per restituire alla comunità un territorio con un valore aggiunto e di pubblica utilità. A seguito della caratterizzazione ambientale, è stato redatto il documento progettuale di bonifica comprensivo di Analisi di Rischio (AdR). L'AdR è stata pensata con lo scopo di definire dei livelli di accettabilità dei rischi compatibili con il futuro parco pubblico, minimizzando i volumi da trattare nei suoli profondi, la cui asportazione avrebbe comportato un dispendio di risorse non giustificato dal reale beneficio ambientale.

Lo studio eseguito ha consentito di mantenere in sito circa 7.500 m<sup>3</sup> di terreno. Dopo una valutazione delle possibili tecnologie di bonifica, è stato selezionato lo scavo dei terreni contaminati con conferimento del materiale escavato presso impianto di recupero, al fine di risolvere in maniera efficace un problema di contaminazione eterogenea in tempi estremamente rapidi, privilegiando allo stesso tempo gli impianti di recupero di modo da poter disporre, a seguito del trattamento, di prodotti da immettere nuovamente nel mercato.

L'iter di bonifica è stato chiuso in circa 2 anni, compresa la caratterizzazione ambientale, la bonifica e il ripristino degli scavi. A seguito degli interventi di risanamento è stato realizzato il parco pubblico fruibile da parte di tutta la comunità.

## 2. Relazione

Il sito oggetto dell'iter di bonifica si inseriva all'interno di un noto complesso industriale milanese. In passato una porzione dell'area era adibita ad autorimessa e manutenzione mezzi. Era presente un'officina di manutenzione locomotori in cui venivano utilizzate materie prime quali olii minerali e carburanti; erano presenti inoltre cabine adibite ad attività di verniciatura di componenti industriali. Le materie prime che venivano utilizzate nei processi produttivi dell'area erano in sintesi vernici a base solvente, olii e solventi in generale. A partire dalla fine degli anni '80 sono iniziate le prime demolizioni del complesso industriale, la cui completa dismissione è avvenuta nei successivi anni '90. L'iter di bonifica del sito, finalizzato alla conversione dell'area a parco pubblico, ha avuto inizio nella seconda metà del 2014 con la presentazione del Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. per l'area in oggetto. L'iter di bonifica è stato intrapreso con lo scopo di restituire nel più breve tempo possibile l'area alla comunità, rimuovendo la contaminazione presente e consentendo di conseguenza la realizzazione di un parco pubblico all'interno di un'area densamente urbanizzata.

### 2.1 Caratterizzazione ambientale del sito

La caratterizzazione ambientale è stata realizzata nei primi mesi del 2015. Gli obiettivi delle indagini sono stati: valutare lo stato della potenziale contaminazione nei terreni superficiali e profondi, valutare lo stato della qualità delle acque di falda e acquisire i parametri sito-specifici ai fini dell'AdR sito-specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.. Le indagini sono consistite nella realizzazione di più di 40 punti di indagine, tra trincee esplorative e sondaggi geognostici, e nell'installazione di alcuni piezometri per il prelievo di campioni di acque di falda. Le indagini hanno evidenziato una potenziale contaminazione principalmente ubicata nel terreno superficiale e correlata al terreno di riporto presente. Nel suolo profondo sono state riscontrate solo limitate porzioni non conformi. Sono stati rilevati superamenti delle CSC (Colonna A) per i seguenti parametri:

- *Suoli superficiali*: Cu, Pb, IPA e idrocarburi pesanti
- *Suoli profondi*: Cu, Zn, Pb, IPA e idrocarburi pesanti.

Per la matrice acque di falda sono stati riscontrati superamenti delle CSC per alcuni clorurati con concentrazioni confrontabili tra monte e valle idrogeologica del sito, riconducibili verosimilmente al fondo antropico di tali inquinanti nella falda milanese. Durante le indagini è stata realizzata anche la caratterizzazione del materiale di riporto presente in sito, secondo quanto previsto dalla normativa vigente al momento delle indagini. Il test di cessione ha evidenziato la presenza di terreno di riporto con eluato non conforme alle CSC delle acque di falda per Ni e Pb. Il terreno di riporto è risultato principalmente ubicato nel suolo superficiale con alcuni approfondimenti nel suolo profondo (profondità massima: 2,5 m da p.c.).

In occasione delle attività di caratterizzazione ambientale sono stati infine riscontrati rifiuti interrati (con particolare riferimento a materiali da costruzione contenenti amianto) frammisti

ai terreni del sito. Al fine di gestire rapidamente la criticità riscontrata, è stato presentato subito dopo la caratterizzazione, un Piano di Gestione dei rifiuti interrati agli Enti di Controllo, e successivamente, sempre nel 2015, sono state completate le attività previste dal Piano, ovvero la rimozione dei rifiuti riscontrati.



**Fig. 1** – Stato del sito prima degli interventi di bonifica.

## *2.2 Analisi di Rischio e Progetto di Bonifica*

Al fine di velocizzare i tempi amministrativi dell'iter di bonifica, è stato prodotto un unico documento progettuale contenente l'Analisi di Rischio (AdR) e il Progetto Operativo di Bonifica (POB) previsti dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i.. Tale progetto è stato presentato a metà del 2015 e successivamente approvato nell'autunno dello stesso anno.

Particolare attenzione è stata posta nei confronti dell'AdR per i suoli profondi, considerata la quota della potenziale contaminazione riscontrata, anche sino a circa 6-7 m da p.c., la cui gestione operativa avrebbe potuto risultare complicata e poco sostenibile da un punto di vista ambientale, anche nell'ottica di contenere i tempi dell'intervento.

Lo scopo dell'AdR è stato di definire, in accordo al futuro risvolto del sito:

- I terreni effettivamente contaminati in accordo a quanto previsto dal D.Lgs. 152/06 e prevedere per tale matrice la progettazione di un intervento di bonifica sito-specifico adottando le CSR calcolate;
- I terreni non conformi alle CSC ma conformi alle CSR, per i quali non prevedere invece interventi in quanto caratterizzati da uno stato qualitativo accettabile sia da un punto di vista sanitario che ambientale.

Le acque di falda non sono state considerate come sorgente secondaria di contaminazione: il loro stato qualitativo è risultato riconducibile alla nota situazione di contaminazione diffusa a carico degli idrocarburi clorurati nella falda milanese. In via cautelativa sono stati calcolati i rischi sanitari associati alle concentrazioni di inquinanti registrate in falda: i rischi calcolati sono risultati ampiamente accettabili. I contaminanti indice selezionati per la matrice terreno sono stati scelti in base ai risultati della caratterizzazione ambientale. Per quanto riguarda il parametro idrocarburi pesanti, si specifica che è stata eseguita la speciazione MADEP sia per alcuni campioni provenienti dai terreni superficiali che dai profondi, in modo da disporre di una caratterizzazione completa della miscela idrocarbureica impat-

tante i suoli del sito. Analogamente è stata condotta per i metalli risultati non conformi la determinazione dei coefficienti di ripartizione suolo/acqua (Kd). Sono stati individuati 2 punti di conformità a valle idrogeologica entro i confini del sito presso i quali imporre il rispetto delle CSC per la matrice acque di falda. I recettori sono stati scelti considerando la futura destinazione d'uso del sito a parco, ovvero: i futuri fruitori del parco (recettore ricreativo adulto e bambino on-site), i residenti delle palazzine adiacenti (recettore adulto e bambino off-site), i fruitori del parcheggio interrato posto in prossimità dell'area (recettore commerciale adulto e bambino off-site), i possibili lavoratori dei locali pompe dell'acquedotto (recettore adulto industriale off-site) posti nelle vicinanze del sito e le acque di falda (recettore ambientale). I percorsi di esposizione/migrazione potenzialmente attivi individuati, suddivisi per matrice ambientale, sono stati i seguenti:

– *Suolo superficiale*: contatto dermico e ingestione di terreno, inalazione vapori e polveri outdoor, inalazione vapori e polveri indoor, lisciviazione e trasporto verso il POC della potenziale contaminazione dei terreni.

– *Suolo profondo*: inalazione vapori outdoor, inalazione vapori indoor, lisciviazione e trasporto verso il POC della potenziale contaminazione dei terreni.

Dopo aver definito i parametri sito-specifici e geometrici necessari, sono stati definiti i livelli di accettabilità dei rischi compatibili con il futuro parco pubblico. Attraverso l'utilizzo di software di calcolo sono state elaborate le CSR sito-specifiche per le aree sorgenti dei suoli superficiali e profondi per i percorsi di esposizione e recettori considerati. I risultati dell'AdR hanno mostrato che:

– I terreni superficiali sono risultati contaminati in quanto non conformi alle CSR sito-specifiche.

– I terreni profondi sono risultati non contaminati in quanto conformi alle CSR sito-specifiche.

Al fine di dare maggiore sito-specificità all'AdR realizzata sono stati calcolati inoltre i tempi di arrivo della potenziale contaminazione in falda a partire dalla lisciviazione dei terreni, definendo un tempo di monitoraggio post-operam della bonifica secondo principi scientifici e di cautela nei confronti del recettore ambientale acque di falda. Sulla base di valutazioni di carattere modellistico è stato previsto di effettuare il monitoraggio delle acque di falda post-operam per una durata di 11 anni.

Le matrici interessate dagli interventi di bonifica sono state, a seguito dell'applicazione dell'AdR, il terreno superficiale e i terreni di riporto non conformi (riscontrato sino a un massimo di 2,5 m da p.c.). La tecnologia designata è stato lo scavo e conferimento dei terreni in impianti di gestione rifiuti per i seguenti motivi:

– Presenza di contaminazione eterogenea in sito nel primo metro di terreno che difficilmente potrebbe venire trattata nel suo complesso da un'unica tecnologia di bonifica, alternativa all'asportazione e conferimento ex situ dei terreni contaminati.

– La necessità di risanare contemporaneamente le passività ambientali riscontrate nei suoli superficiali e nei materiali di riporto, ove la non conformità dei riporti è stata riscontrata a profondità superiori a 1 m da p.c..

– Completare in tempi breve la bonifica al fine di poter riconsegnare alla comunità, il più velocemente possibile, un luogo valorizzato.

Il risultato ottenuto tramite l'AdR per i suoli profondi ha consentito di non procedere con la rimozione dei terreni profondi (anche sino a 6-7 m da p.c.), che avrebbe comportato:

– L'installazione di opere di sostegno per la rimozione dei suoli, con il conseguente allungamento dei lavori di bonifica e il relativo ritardo nella consegna dell'area alla comunità.

– La movimentazione di ulteriori 7.500 m<sup>3</sup> di terreno (corrispondente al volume di terreno



delle aree sorgenti dei suoli profondi) con il conseguente incremento di traffico veicolare destinato al trasporto del terreno presso gli impianti di gestione rifiuti.

– La fornitura di ulteriore terreno naturale di cava per riempire gli scavi di bonifica nei suoli profondi.

In conclusione, la gestione del suolo profondo tramite AdR ha reso possibile minimizzare i volumi da trattare riducendo il dispendio di risorse non giustificato dal reale beneficio ambientale.

### *2.3 Descrizione degli interventi di bonifica svolti*

L'intervento di bonifica è iniziato nel 2016 e si è concluso lo stesso anno. Sono stati scavati più di 33.000 m<sup>3</sup> di terreno contaminato. Per incentivare la sostenibilità dell'intervento è stato deciso di conferire il terreno asportato ad impianti di recupero, per poter ottenere, in seguito al trattamento, un nuovo materiale da immettere ancora sul mercato, nel rispetto del principio di economia circolare. Complessivamente sono stati inviati ad impianto di recupero circa 50.000 ton di terreno. Successivamente alle attività di scavo è stata verificata la conformità agli obiettivi di bonifica.



**Fig. 2** – Esecuzione degli scavi di bonifica.

A seguito dei collaudi, è stato effettuato il ripristino degli scavi di bonifica con terreno certificato, colmando gli scavi di bonifica sino alla quota di partenza. Il terreno utilizzato è stato terreno naturale di cava. Complessivamente sono stati ritombati in sito 74.267,31 ton di terreno naturale certificato.



**Fig. 3** – Vista del sito a seguito delle attività di ritombamento.

Al termine degli interventi di bonifica è stato dato avvio al procedimento per la realizzazione del parco.



**Fig. 4** – Vista del parco pubblico realizzato a seguito della bonifica.

### **3. Conclusioni**

Il sito in oggetto, prima degli interventi di bonifica, costituiva un'area degradata, situata nel nord del comune di Milano. Questo ex sito produttivo presentava una contaminazione del suolo superficiale molto eterogenea, caratterizzata dalla presenza di IPA, idrocarburi C>12 e metalli pesanti. L'intervento di bonifica progettato, che ha previsto l'asportazione dei suoli contaminati, ha permesso di riqualificare la zona in un tempo molto brevi, limitando gli interventi secondo un approccio sostenibile di applicazione dell'Analisi di Rischio. Una volta rimossa la contaminazione è stato possibile riconvertire l'area in un parco destinato alla comunità. Il suolo rimosso è stato inviato ad impianti di recupero esterni per essere trattato e quindi re-immesso successivamente sul mercato come nuovo materiale.

L'intervento progettato ed eseguito ha permesso in conclusione di:

- Rimuovere la contaminazione eterogenea che caratterizzava i suoli in modo efficace.
- Risolvere il problema di contaminazione in tempi brevi.
- Riconvertire un'area degradata in un'area con un valore aggiunto.
- Ridurre la quantità di suolo da gestire attraverso l'esecuzione di un'Analisi di Rischio.
- Recuperare il terreno rimosso in impianti di recupero esterno per permetterne il successivo riutilizzo.





# MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA

## INQUINAMENTO ATMOSFERICO: LO STATO DELLE CONOSCENZE ALLA LUCE DELLE ESPERIENZE MATURATE, LE POLITICHE DI CONTROLLO E PREVENZIONE

La sessione tratta le conoscenze acquisite in questi anni sulle diverse tematiche dell'inquinamento atmosferico, dai piani di qualità dell'aria, ai progetti europei, al ruolo delle diverse sorgenti civili, industriali, compresa l'agricoltura, agli interventi di limitazione, alle attività di controllo, alle tecniche di monitoraggio, ai risultati forniti dalle reti di monitoraggio, cercando di fornire un quadro delle esperienze, mettendo in evidenza i risultati ottenuti e i punti critici emersi.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo e Istituto Superiore di Sanità**

**Presidenti di sessione:**

- Gaetano Settimo *Istituto Superiore di Sanità*



# PULSE: fostering sustainable environments using geodata with a participatory approach

*Francesca Sapio*<sup>(a)</sup> [f.sapio@genegis.net](mailto:f.sapio@genegis.net), *Andrea Pogliaghi*<sup>(a)</sup>, *Nevio Prada*<sup>(a)</sup>, *Vittorio Casella*<sup>(b)</sup>  
(<sup>a</sup>) GeneGIS GI Srl, Milano - (<sup>b</sup>) Università degli Studi di Pavia

## Riassunto

*Il progetto PULSE-Participatory Urban Living for Sustainable Environments mira a sviluppare modelli e tecnologie per prevedere e gestire i problemi di salute pubblica nelle città con un approccio partecipativo in cui i dati raccolti coi dispositivi personali dei cittadini vanno ad integrare informazioni provenienti da fonti eterogenee: open data, sistemi sanitari, sensori urbani e satelliti. Il progetto affronta vari problemi riguardanti la qualità dell'aria, lo stile di vita e il comportamento personale, con un focus clinico su asma e diabete di tipo 2, studiando le correlazioni tra l'esposizione agli inquinanti atmosferici, i comportamenti e la salute dei cittadini. La relazione descrive gli aspetti geo-spaziali della piattaforma, implementati utilizzando software FOSS (Free e Open Source), analizzando i componenti più rilevanti, come l'elaborazione dei dati satellitari, la distribuzione dei sensori, la gestione dei dati spaziali acquisiti, gli strumenti WebGIS e Dashboard per fornire visualizzazione e analisi spazio-temporali, l'integrazione dei modelli.*

## Summary

*PULSE project has the goal of building a set of extensible models and technologies to predict, mitigate and manage health problems in cities and promote population health. PULSE will harvest open city data as well as data from health systems, urban and remote sensors, personal devices promoting a participate approach for the citizens. The project aims at investigating the correlations between atmospheric pollution, social and behavioral aspects of individuals and the onset of respiratory and metabolic diseases, with a clinical focus on asthma and Type 2 Diabetes. The relation describes in detail the geo-spatial aspects of the web-platform, developed with FOSS (Free and Open Source) software, focusing on key aspects such as satellite data processing, urban sensor distribution, management of the acquired spatial data, WebGIS and Dashboard tools to provide visualization and space-time analysis, model integration.*

## 1. Introduction

The PULSE project (Participatory Urban Living for Sustainable Environments) will pioneer the development and testing of dynamic spatio-temporal health impact assessments using geolocated population-based data in a perspective of prevention focused on the citizens' life-style.

The project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme; the project consortium consists in a group of universities, research institutions, local authorities and IT business enterprises located both in the EU and the in US (more details at <http://www.project-pulse.eu/about/partners/>), having Universidad Politécnica de Madrid (UPM), the largest Spanish technological university, as the project coordinator.

The project aims to develop a platform for the analysis and dissemination of information on public health collected through participative mechanisms and deals with various issues concerning air quality, lifestyle and behavior of citizens aiming at highlight the correlations between exposure to pollutants and the health of citizens themselves.

Large quantity of Data on public health coming from different sources are being collected in 5 smart cities all around the world (Barcelona, Paris, Birmingham, New York City and Singapore): urban sensors, remote sensing data, devices of private citizens and IoT devices (Internet of Things), free access data coming from health systems and many others ( [1] Bettencourt, 2014).

In addition to the main test beds, the city of Pavia was selected as a special pilot site hosting an experimentation of low-cost air quality sensors to enhance urban air quality monitoring.

## **2. Relation**

PULSE is developing an integrated web-platform aimed at the analysis of large quantity of Data coming from information sources characterized by heterogeneous space-time scales harvested from multiple sources: open data, clinical data, satellite and urban sensor systems data as well as data from personal and wearable devices. The system web-platform is organized according to the complex logical architecture detailed in Figure 1, having as key factors:

- the design and implementation of an App (PulsAir) for Smartphone devices for the collection of individual citizens' data on lifestyle, health and personal well-being. It offers relevant information on health risks (about asthma, type 2 diabetes and cardiovascular risks); user motivation methods based on gaming and social participation are used to induce changes in the lifestyles of citizens;

- the design and construction of infrastructures dedicated to the acquisition of open data available in the various smart cities (satellite images, administrative maps, etc.) and of citizens' data collected by the App and by wearable devices (Backend services).

- the design and implementation of an infrastructure to manage the collected data and the related analysis tools to stratify the health risks of citizens (big data analytics and expert DSS systems to help manage the different models of government and mitigation of the risk, called Pulse models);

- the design and construction of an infrastructure for the representation of personal data acquired (health data, behavioral data, data on well-being), consisting of a Monitoring and Analytics dashboard and a WebGIS platform in order to have a simple and user-friendly user interface that also manages the “geographical” component of the data.

The platform includes as actors the citizens who will use the App and public health organizations that will monitor the health status of the citizens and the air quality of the city. To these is added the data manager that supervises the operation of the platform during the execution of the study.

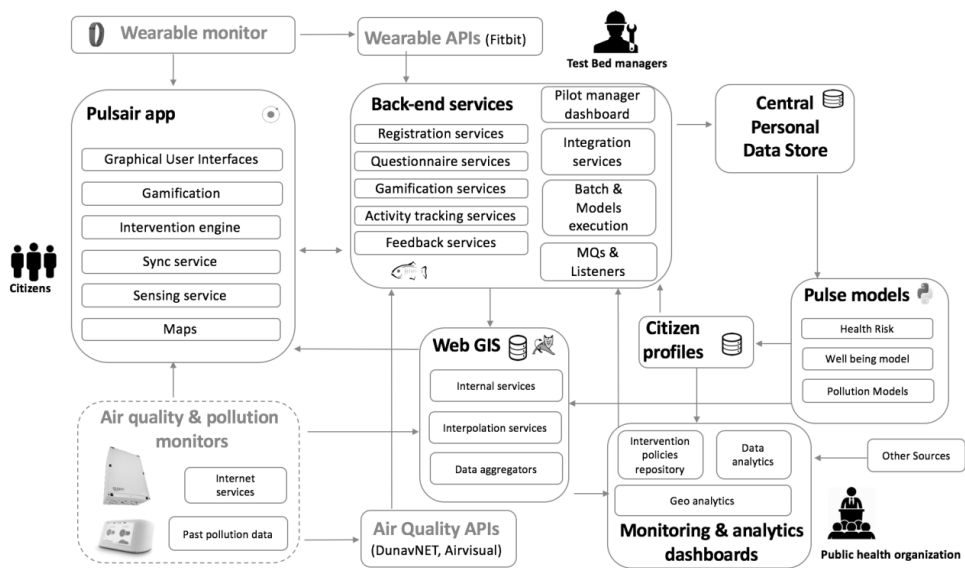


Fig. 1 – Logical architecture foreseen in PULSE with App / sensor integration, DSS analysis system, data analytics and WebGIS platform

Two Italian partners of PULSE are focused on the WebGIS module and on the Air quality & pollution monitor: Università degli Studi di Pavia is coordinating the definition of the models and technical specifications, while GeneGIS GI srl is realizing the actual implementation and maintenance of the spatial information framework.

### 2.1 PulsAir App

The App developed is meant to foster the user’s awareness of the air quality and of the individual wellbeing: it collects personal participatory data, returning feedbacks to induce behavior changes, applying the participatory approach schematized in Figure 2. PulsAir can collect GPS data and biometric sensor data (FitBIT) as well as questionnaires about green behavior, lifestyle and health status. In return, it provides feedbacks that can promote habits to improve health and wellbeing:

- show mobility patterns of the user (to assess physical activity & mobility)
- show the impact of the pollution on the health status to the citizens (personal exposure)
- provide estimation of personal health risks (generated with PULSE’s health risk models)
- induce behavior change through motivation methods (gamification, tips, etc.)

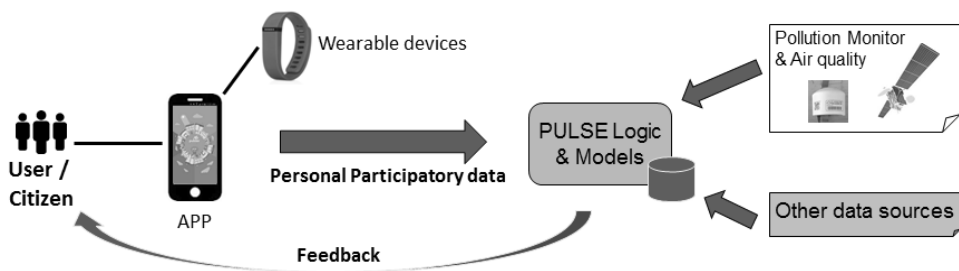


Fig. 2 – Participatory approach: PulsAir App to collect personal data and return feedback

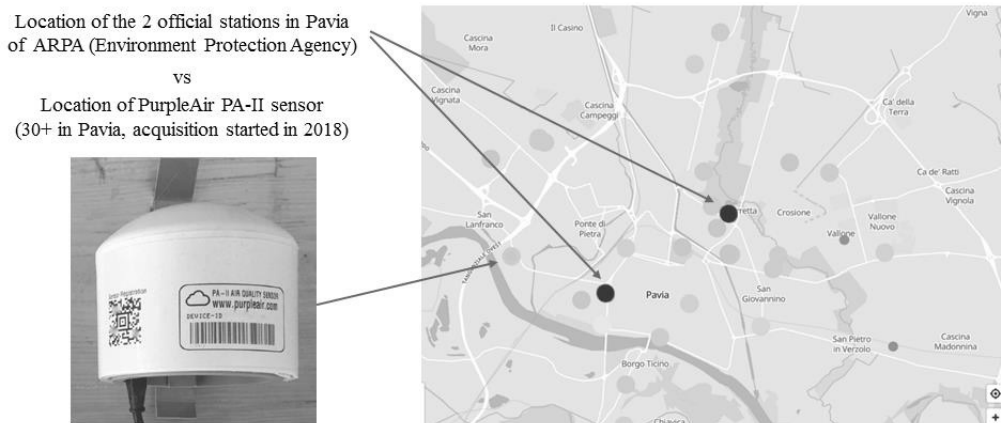
## 2.2 Air quality models and data

In Pulse we collect data from satellite and data from urban monitoring stations, using the network of official stations as a basis PULSE Models are then applied to generate various environmental quality and air quality maps, used to estimate the citizens' personal exposure to pollutants.

Air Quality Maps, Environmental Maps & LST (Land Surface Temperature) maps were produced using MODIS, Landsat8 and Sentinel satellite data: as satellite data have a rather coarse spatial and temporal resolution, in PULSE we also acquired data from urban monitoring networks, experimenting a dense air quality monitoring network built upon low-cost air quality sensors.

### 2.2.1 Deployment of a dense urban network of Air quality sensors: the Pavia case

In the Pavia test bed two ARPA's monitoring stations were originally active; starting in 2018 a network of more than 30 other stations were deployed as depicted in the Pavia city map in Figure 3. Figure 3 also shows PurpleAir PA-II, the sensor selected for the experimentation in Pavia test bed (an evaluation of the sensor can be found at <http://www.aqmd.gov/aq-spec/home>).



**Fig. 3** – Map of Pavia with official ARPA's stations and new deployed stations

### 2.2.2 Personal exposure

Personal exposure is a concept used by epidemiologists to quantify the amount of pollution that each individual is exposed to, as a consequence of where he lives, the habits he has, etc. Dense networks of low-cost sensors are very promising for addressing this topic as they allow high measurement frequency (1 every minute) and are Economically affordable (200 €/sensor). If such a network is deployed in a city, than Personal exposure for all the population at all times can be estimated without any special equipment: only a mobile phone and an App are needed.

In PULSE, personal exposure is estimated through a procedure that:

- acquires data by quality stations and interpolate them in space at fixed time intervals
- acquires personal data from PulsAir App to generate a “path” representing the user's movement
- estimate the total inhaled pollutant considering the path of the person coupled with the set of interpolated surfaces modeling the selected air quality parameter (e.g.  $PM_{10}$ ) in space and time.



### 2.3 PULSE WebGIS module

The PULSE WebGIS is a web-based geospatial data platform where users can view, find and share maps, geo-spatial data as well as information about air quality, public health, meteorological data.

The data collected are geo-referenced and then transformed into maps: detailed public health maps and air pollution maps are prepared using geo-statistics and multi-spectral satellite images analysis

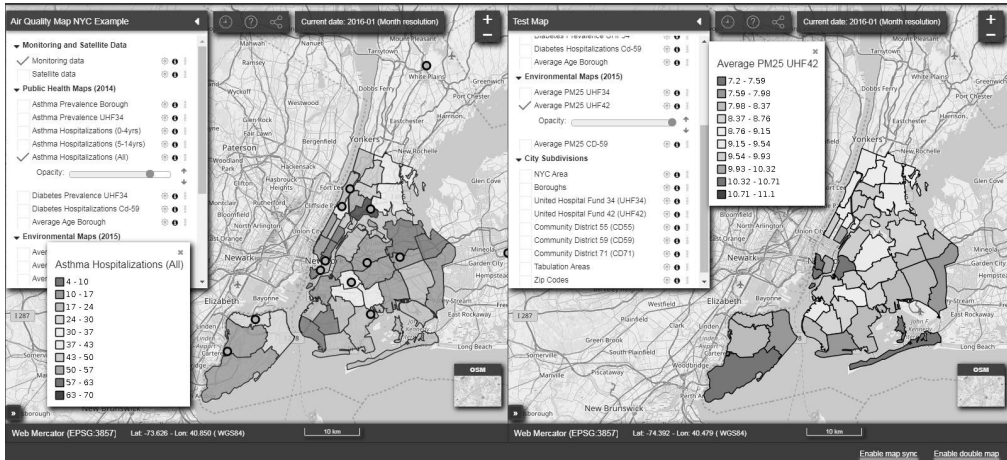
in order to allow a better understanding of the various phenomena, showing patterns and trends linked to territorial factors that otherwise would remain hidden.

In order to allow maximum flexibility and adaptability to stakeholder's needs, the WebGIS was realized using technologies based on Open Source software (Java and Tomcat for the back end, JS and OpenLayers for the front end, Geoserver mapping server, DBMS PostgreSQL / PostGIS, etc.).

#### 2.3.1 Side-by-side multi-map navigation & Temporal navigation

The system developed implements some innovative features that allow the user to navigate data in time and space, allowing also non-professional to easily modify any visualization configuration:

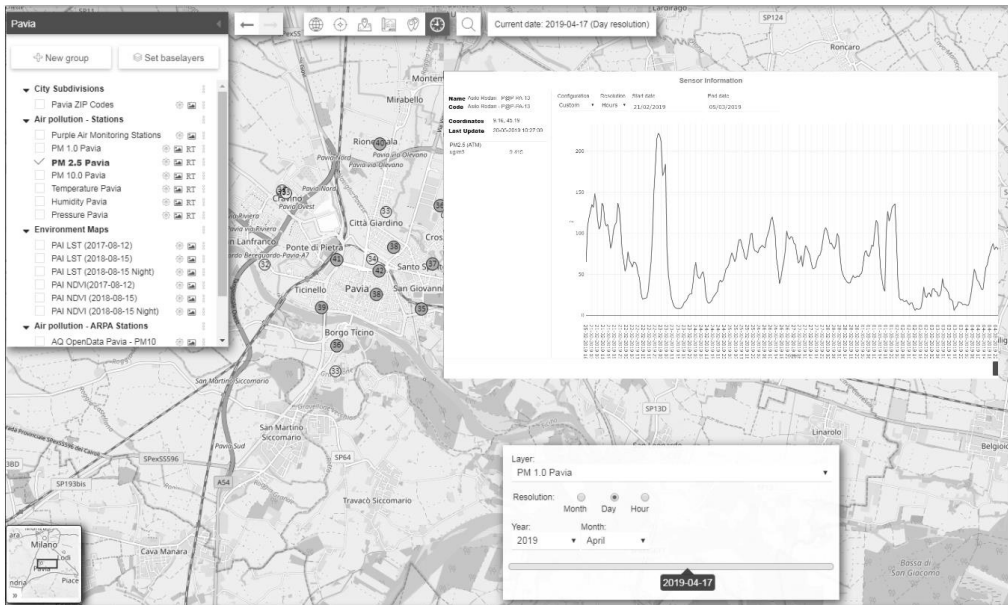
- in addition to the plain tabular format, it is also possible to display data in charts and diagrams;
- a Thematization Widget allows to apply user defined styling rules;
- a Time Manager Widget allows to navigate Time-series data simply by moving a cursor on a bar;
- a Double-Map functionality allows to simultaneously display, side-by-side, two different maps



**Fig. 4 – Multi-map navigation with two maps side by side, showing number of patients admitted for asthmatic problems (left window) compared to satellite air quality data (right window)**

The simultaneous use of Time Manager Widget and multi-map navigation allows the user to navigate data in time and space in the two side-by-side maps, thus providing the possibility to intuitively investigate possible correlation and/or cause-effect relationships characterized by a time delay (since the time navigation can be synchronous or asynchronous as per user's choice).

Figure 4 shows Double-map navigation with two maps side by side that shows synchronous data at monthly resolution (number of patients admitted for asthmatic problems in New York City's districts compared to satellite air quality data). Figure 5 shows a graph representing  $PM_{10}$ 's concentration for a single sensor in Pavia, with the Time-Manager widget active on screen.



**Fig. 5** – Visualization of a graph of  $PM_{10}$ 's concentration acquired in Pavia. The Time manager widget to navigate data time series is set to represent daily values acquired in April 2019

### 2.3.2 Configurator & Data loading module

The WebGIS Viewer not only provides visualization access to the geospatial data, but it also provides the necessary authoring tools to modify existing maps and change their configuration.

The Configurator is the actual tool, meant to be used also by non-professionals, that allows to define and customize the WebGIS and to define how it gets displayed by the Viewer.

It is composed of different modules (some of which available to system administrator only), that allow to create and/or configure, in an highly customizable way, the various parts of the WebGIS: data, maps, layers and data-sources.

In particular, it is possible to customize the WebGIS of a pilot city, by removing existing layer from the Table of Content, or selecting the new ones to add from the Layer Catalog list (i.e. the list containing all the layers loaded in the system). It is also possible to define the layer organization in groups and relative ordering within the Table of Content (TOC, i.e. the map legend that allows adjusting the layer visualized in the map).

The Data Loading Module is a component of the WebGIS that allows the user to add new vector data into the system in a quick and simplified way, automating some steps that otherwise the user would have to perform manually. The current format that Pulse WebGIS supports for automatic loading is the shapefile, since it is a very popular geospatial vector format for GIS software.

The Viewer module also allows the user to dynamically load new data in the WebGIS from a CSV file, which can be associated to existing geometries through a matching attribute.

This operation is performed on-the-fly in the client-side and the resulting layer is treated as if it were loaded from the server, meaning that the other existing functionalities dealing with attributes are supported as well (e.g. charts, query info, etc.).

### 2.3.3 WebGIS integration with other PULSE components

The Pulse WebGIS has been designed to be used both as a standalone application and also as an integrable component that can be included or embedded in external applications.

The main role of WebGIS in the Pulse architecture is to provide access and visualization to geo-data, but it also provides geospatial services to the other components of the system.

To be able to support the various request types from heterogeneous applications, different communication interfaces and protocols have been implemented. The WebGIS supports the standard OGC protocols, and also uses various custom Web-services to communicate with the Pulse components. Moreover, a Javascript API was designed and implemented to be used when the Viewer needs to be embedded in an external Web Application; the API allows this external application to interact directly with some of the functionalities of the Viewer.

The API has been designed to be used primarily by the PULSE Dashboard, but, being generic, it allows the WebGIS Viewer to be integrated in any other external application, provided that the Viewer is included in an iframe (e.g. a standard HTML component).

## 3. Conclusions

The project is now reaching its end, showing how the processing of satellite images, applications on smart devices and GIS tools can turn out to be powerful assets at the service of a sustainable city.

The research team of Università degli Studi di Pavia, amongst other PULSE activities:

- implemented interpolation services needed for the experimental activities in the Pavia test bed regarding personal exposure estimations. This activity was coupled with the actual deployment of urban sensors in Pavia and with the associated modeling activities.

- in addition to the spatial analysis allowed by the visual correlation tools provided by the WebGIS, the data collected within the project timeframe are also being analyzed using geospatial statistics techniques ([2] Waller, Gotway, 2004), thus allowing to reveal the existence of more “hidden” spatial correlation between parameters.

With regard to the PULSE WebGIS part, implemented by GeneGIS GI Srl, this last year of activities allowed:

- to consolidate the features developed for the first prototype;
- to load additional data sets to the system, integrating what was already present for each test site (for example new and up-to-date time series);
- an improvement in the graphic aspect of the user interface, to increase the usability for the user of the features made available (in particular for the visualization of time navigation);
- an improvement in the logic for configuring WebGIS, in order to make the creation of new WebGISs and the addition of new layers simpler and more efficient, achieved through the development of the Configurator module;
- a closer integration between WebGIS and other system components (the Dashboard in particular), that was realized through the Javascript API specifically designed and implemented.

## Bibliography

[1] Bettencourt L.M.A., “*The Uses of Big Data in Cities*”, Big Data, 2: 12-22 (2014);

[2] Waller L.A., Gotway C.A., “*Applied Spatial Statistics for Public Health Data*”, John Wiley & Sons, New York (2014)



# MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA

## APPROCCIO GLOBALE ALLA QUALITÀ DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI CHIUSI: LE FONTI, IL RUOLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E LA CORRETTA GESTIONE DEGLI EDIFICI

La sessione si occupa della qualità dell'aria negli ambienti chiusi e ha come obiettivo quello di presentare alcuni dei diversi aspetti tecnici relativi alle procedure più affidabili nel controllo, al ruolo degli interventi di efficienza energetica, agli aspetti innovativi, alla formazione e ai servizi.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico di Ecomondo e Istituto Superiore di Sanità**

**Presidenti di sessione:**

- Gaetano Settimo *Istituto Superiore di Sanità*
- Gianluigi De Gennaro *Università di Bari*



# Qualità dell'aria indoor ed efficientamento energetico degli edifici: benefici e rischi per la salute

*Silvia Brini [silvia.brini@isprambiente.it](mailto:silvia.brini@isprambiente.it), Roberto Caselli, Francesca De Maio, Giuliana Giardi, Arianna Lepore - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma*

## **Riassunto**

*L'efficientamento energetico nell'edilizia residenziale può avere benefici per la salute riducendo l'infiltrazione degli inquinanti atmosferici esterni e migliorando le condizioni microclimatiche e di comfort indoor, ma, se non associato ad un adeguato ricambio d'aria, può concentrare gli inquinanti indoor con un conseguente peggioramento della qualità dell'aria. Ne consegue che l'efficienza energetica residenziale e i sistemi di ventilazione possono influenzare la qualità dell'aria indoor e la salute degli occupanti, ma l'impatto di queste misure varia anche in relazione alle attività degli occupanti. Inoltre, tali misure, risultano associate sia ad una riduzione della povertà energetica che a benefici psico-sociali conseguenti al miglioramento della qualità dell'ambiente abitativo. L'efficientamento energetico dovrebbe, quindi, sempre essere integrato da interventi sulla ventilazione e da una corretta informazione degli occupanti riguardo i comportamenti consapevoli inerenti alla qualità dell'ambiente indoor.*

## **Summary**

*Energy efficiency in residential buildings could have health benefits by reducing the infiltration of external air pollutants and improving indoor comfort and microclimate conditions, but, if not associated with adequate air exchange, it could concentrate indoor pollutants with a consequent deterioration in air quality. As a result, residential energy efficiency and ventilation systems may affect indoor air quality and occupant health, but the impact of these measures is also related to occupant activities. Moreover, these measures are associated both with a reduction in fuel poverty and with psycho-social benefits resulting from the improvement of the quality of the living environment. Energy efficiency should, therefore, always be complemented by interventions on ventilation and correct information of occupants about the conscious behavior inherent in the quality of the indoor environment.*

## **1. Introduzione**

Il miglioramento delle condizioni abitative può ridurre la mortalità e le malattie, migliorare il benessere e la qualità della vita, ridurre la povertà, contribuire a ridurre le emissioni di gas-serra e contribuire al raggiungimento di una serie di obiettivi di sviluppo sostenibile, compresi quelli relativi alla salute (SDG 3) e alle città sostenibili (SDG 11) [1]. La problematica della qualità dell'edilizia abitativa è di particolare rilievo e interesse nelle aree urbane: si prevede che la popolazione urbana mondiale raddoppierà entro il 2050 [2] e, con essa, la domanda di alloggi. È quindi di fondamentale importanza migliorare le condizioni abitative e ridurre i rischi per la salute della popolazione. In aggiunta, la popolazione mondiale di età superiore ai 60 anni, che tende a trascorrere più tempo in casa, raddoppierà entro il 2050 [3].



Alloggi freddi in inverno possono causare problemi delle vie respiratorie e cardiovascolari, mentre temperature interne elevate in estate possono causare malattie legate al calore e aumentare la mortalità cardiovascolare. Ma per ottenere delle buone condizioni abitative non si può prescindere dal perseguire una buona qualità dell'aria *indoor*: l'inquinamento dell'aria *indoor*, infatti, potrebbe essere responsabile di malattie non trasmissibili quali malattie respiratorie, cardiovascolari e allergiche, come l'asma, soprattutto in virtù delle lunghe esposizioni a cui sono sottoposti tutti gli abitanti e in particolare quelle appartenenti alle categorie più suscettibili.

## 2. Relazione

### 2.1 Aspetti normativi

La lotta contro i cambiamenti climatici spinge verso un uso sempre più consapevole dell'energia prodotta e verso l'utilizzo di fonti rinnovabili. In questo contesto il patrimonio immobiliare riveste un ruolo fondamentale in quanto rappresenta circa il 40% dei consumi energetici totali [4]. L'importanza di un ambiente abitativo salubre è ormai entrata di diritto nelle politiche europee al punto che l'UE, nell'ultima direttiva 2018/844/UE che modifica le direttive 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la 2012/27/UE sull'efficienza energetica [5], e nella raccomandazione UE 2019/786 [4], fornisce indicazioni sull'efficientamento energetico e su quali strategie utilizzare per la ristrutturazione a lungo termine degli edifici, introducendo tra gli obiettivi un forte riferimento alla povertà energetica e nuovi riferimenti alla salute, sicurezza e qualità dell'aria *indoor* e *outdoor*. La direttiva UE 2018/844, entrata in vigore il 9 luglio 2018, integra le precedenti direttive "Prestazione energetica nell'edilizia" (direttiva 2010/31/UE) ed "Efficienza energetica" (direttiva 2012/27/UE). Essa pone l'obbligo in capo agli Stati membri di stabilire strategie a lungo termine per mobilitare investimenti e agevolare la ristrutturazione del parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, sia per quanto riguarda le nuove costruzioni che gli interventi di efficientamento energetico di quelle esistenti. La nuova direttiva introduce un elenco non esaustivo dei tipi di benefici in senso lato che devono essere valutati dalle strategie di ristrutturazione a lungo termine. Talune misure possono inoltre contribuire alla salubrità degli ambienti *indoor*, promuovere livelli più elevati di comfort e benessere degli occupanti, ad esempio, garantendo un isolamento completo e omogeneo, associato all'installazione e all'adeguamento di appropriati sistemi tecnici (in particolare il riscaldamento e il condizionamento dell'aria, la ventilazione, l'automazione e il controllo dell'edificio). La Raccomandazione UE 2019/786, nel fornire linee guida sul recepimento della direttiva 2018/844/UE, presenta un quadro di riferimento per la definizione di indicatori, suggerendo l'utilizzo anche di indici sanitari, di comfort termico e di qualità dell'aria *indoor*.

### 2.2 Benefici e rischi per la salute

A seguito della normativa relativa all'efficientamento energetico, nella comunità scientifica internazionale è nato l'interesse di studiare gli impatti di tali interventi sulla salute degli occupanti. Una revisione della letteratura dell'ultimo decennio sugli effetti sanitari e sociali degli interventi di riqualificazione energetica ha mostrato risultati non univoci a seconda dei vari fattori (tipologia e ubicazione dell'edificio, tipologia dell'intervento, comportamenti degli inquilini, tipologia di ventilazione, ecc.) che insieme concorrono alla qualità dell'ambiente di vita confinato. La maggior parte degli studi è stata condotta in nord Europa dove l'interesse è concentrato sul miglioramento della salute conseguente all'aumento della temperatura interna e al risparmio economico delle famiglie per le spese di riscaldamento (povertà energetica<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup> La povertà energetica (*fuel poverty*) è il risultato di una combinazione di basso reddito, spese elevate per l'energia e scarsa efficienza energetica delle abitazioni.

Alcuni studi hanno esaminato alcuni esiti sanitari conseguenti agli interventi di efficientamento su edilizia sociale. Per esempio, Poortinga [6] ha mostrato una relazione tra il numero di misure messe in atto ai fini dell'efficientamento energetico e l'importo totale investito da un lato e gli esiti sociali (percezioni di adeguatezza, soddisfazione e qualità dell'alloggio, miglioramento del comfort termico e maggiore risparmio economico) e sanitari (migliore salute mentale, minori disturbi respiratori e migliore salute generale) dall'altro. La maggioranza degli interventi era associata a un miglioramento della salute (minori sintomi respiratori e stato di salute generale). In alcuni casi in cui l'isolamento delle pareti non era affiancato da ventilazione forzata sono stati riscontrati esiti sanitari sfavorevoli, probabilmente per la maggiore umidità e minore ricambio d'aria, fattori notoriamente correlati a disturbi respiratori. In un'analisi successiva [7], l'autore ha analizzato *outcome* sanitari più specifici come i ricoveri per patologie cardiovascolari o respiratorie, funzione respiratoria e salute mentale a breve termine<sup>2</sup>, ma non ha riscontrato associazioni significative. La correlazione tra mortalità e interventi di efficientamento energetico è stata esaminata da Armstrong [8]: nonostante il modesto impatto sulle temperature indoor (+0,09 °C), lo studio ha evidenziato una significativa riduzione della mortalità correlata al freddo. Gli effetti positivi sulla salute sono stati riscontrati quando gli interventi di efficientamento erano associati a ventilazione aggiuntiva; l'assenza di quest'ultima comportava un maggior risparmio energetico, ma anche una maggiore concentrazione di inquinanti *indoor*, stimati tramite modellistica (CONTAM)<sup>3</sup>, relativamente a 5 contaminanti (STS<sup>4</sup>, PM<sub>2,5</sub> indoor; PM<sub>2,5</sub> outdoor, radon e muffe). Le caratteristiche della ventilazione sono risultate, pertanto, più importanti rispetto al solo incremento della temperatura interna. In particolare, l'installazione della ventilazione forzata con una efficace filtrazione è da ritenersi uno dei maggiori interventi a scala di edificio per ridurre l'esposizione *indoor* all'inquinamento da materiale particolato *outdoor* [9, 10]. Inoltre, è stato dimostrato che una riduzione dei tassi di ricambio d'aria in assenza di altre misure può portare a concentrazioni maggiori di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e di materiale particolato fine (PM<sub>2,5</sub>) provenienti da fonti *indoor* [10]. Queste evidenze erano state già messe in risalto da Millner [11], che aveva analizzato i benefici delle misure di efficientamento energetico di edifici privati nell'UK, per valutare l'impatto sulla salute della riduzione dell'esposizione *indoor* a PM<sub>2,5</sub>. Egli, attraverso l'utilizzo di un modello multistrato applicato per 4 strategie ipotetiche di riduzione di gas serra (miglioramento strutturale dell'edificio, ottimizzazione della ventilazione, tipologia di combustibile, modifiche nel comportamento degli occupanti) ha stimato una riduzione media di 3 µg/m<sup>3</sup> di PM<sub>2,5</sub>, a sua volta associata ad una diminuzione di mortalità e morbilità per asma, cardiopatia coronarica e cancro ai polmoni, con un aumento dell'aspettativa di vita da due a tre mesi. Un altro studio sulla correlazione tra interventi di efficienza energetica sugli edifici, la ventilazione e salute è stato condotto da Hamilton [12] che, ha stimato l'impatto di interventi di ristrutturazione per l'efficientamento energetico applicato a tre scenari: 1) con ventilazione forzata per garantire un'adeguata qualità dell'aria *indoor* in linea con la normativa anglosassone; 2) con ventilazione aggiuntiva solo per le abitazioni che presentano problemi di muffa o ventilazione inadeguata; 3) nessuna ventilazione aggiuntiva. Solo il primo dei tre scenari era associato, secondo le stime, a un miglior esito sanitario, gli altri due scenari erano associati ad esiti sanitari negativi poiché non garantivano una buona qualità dell'aria *indoor* (nel secondo vi era una riduzione dell'inquinamento da fonti interne ma un aumento dell'ingresso di inquinanti esterni, nel terzo scenario le concentrazioni di inquinanti indoor risultavano ancora più elevate).

<sup>2</sup> Misurata con *Mental Health Composite Scale Scores*.

<sup>3</sup> CONTAM versione 2.4c (National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, Gaithersburg, MA, USA), strumento di simulazione del flusso d'aria e trasporto di sostanze inquinanti.

<sup>4</sup> STS: *Second-hand tobacco smoke* (fumo di seconda mano).

L'importanza della ventilazione correlata all'ubicazione dell'edificio e alle sue caratteristiche strutturali è stata confermata anche da Carlton [13] in uno studio condotto in Colorado su abitazioni di famiglie non fumatrici a basso reddito. I ricambi d'aria sono risultati minori per le abitazioni ecosostenibili, efficienti dal punto di vista energetico, e maggiori nelle abitazioni non climatizzate. I risultati hanno mostrato che un maggior ricambio di aria era associato a una maggior frequenza di sintomi respiratori (tosse cronica, asma e sintomi simili all'asma) ma non a manifestazioni allergiche. Inoltre, l'associazione tra ricambi d'aria e sintomatologia respiratoria era più frequente per le famiglie situate in aree con elevati livelli di traffico e maggiore esposizione ad inquinanti atmosferici. Lo studio suggerisce che famiglie a basso reddito possono avere impatti negativi sulla salute respiratoria se le abitazioni in cui risiedono hanno alti tassi di ricambio d'aria, probabilmente a causa dell'infiltrazione di inquinanti atmosferici *outdoor*. Quando si effettuano interventi di efficientamento energetico è necessario considerare anche le possibili conseguenze sulla proliferazione di inquinanti biologici indoor come ad esempio le muffe, notoriamente associate a disturbi allergici. Tale problematica è stata affrontata da Sharpe [14] che ha analizzato la relazione tra interventi di efficienza energetica e crisi asmatiche in soggetti residenti in edifici popolari. Anche questo studio ha confermato la complessità della relazione tra l'efficienza energetica e la ventilazione e quindi la possibile sintomatologia allergica riscontrando un aumento del 2% di crisi di asma per ogni unità di SAP<sup>5</sup>, con il rischio più elevato per valori superiori a 71 SAP. Bone [15] aveva già rilevato che l'isolamento termico degli edifici comporta sì una riduzione dell'umidità relativa interna con potenziale diminuzione della crescita di muffe, ma una riduzione eccessiva dell'umidità può d'altra parte determinare un peggioramento delle condizioni respiratorie. Ma sottolinea anche che se gli interventi di efficientamento non contemplano un'adeguata ventilazione, possono determinare un aumento di umidità relativa che favorisce la proliferazione di muffe e di acari della polvere domestica, nonché l'incremento delle concentrazioni di composti organici volatili (COV), fattori di rischio noti per chi soffre di asma. L'effetto del miglioramento dell'efficienza energetica si riscontra anche sulla salute mentale e sociale delle famiglie, anche se questo risultato non è dovuto necessariamente al solo risparmio energetico, ma piuttosto a un arricchimento del valore della casa dove il fattore determinante per una migliore salute fisiologica, psicologica e sociale sembra essere stata la predisposizione di una casa confortevole da un punto di vista termico, evidenziando quindi come nei programmi dell'efficientamento energetico residenziale dovrebbe essere sempre garantita (da parte del proprietario dell'immobile) un'adeguata ventilazione per affrontare in modo ottimale l'estate e le condizioni invernali [16]. Ricerche condotte in Finlandia e Lituania [17] hanno restituito una maggiore soddisfazione dell'abitante degli immobili in cui venivano effettuati interventi per efficientare e riqualificare: vivere in condizioni di *fuel poverty* e in case fredde contribuisce ad una cattiva salute fisica e mentale. Un altro aspetto psicosociale osservato è la riduzione dello stress finanziario dovuto al contenimento dei costi nella gestione delle utenze energetiche.

### 2.3 Limiti degli studi

Il principale limite degli studi analizzati è dovuto al fatto che riguardano soprattutto il Nord Europa che ha particolari condizioni meteo climatiche e quindi sono relativi alla riduzione della dispersione del calore per mantenere appropriate temperature interne nella stagione invernale e non per valutare l'efficacia degli interventi ai fini della mitigazione delle alte temperature in estate, problematica prevalente nell'Europa meridionale. Un secondo limite

---

<sup>5</sup> SAP, *Standard Assessment Procedure*: calcola i costi energetici tipici annuali per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua e per l'illuminazione. Stima anche le emissioni di CO<sub>2</sub>. I valori vanno da 1 a 100+.

è ascrivibile alla tipologia di edificio (edilizia sociale) su cui sono stati effettuati gli interventi. Per queste due ragioni i risultati analizzati non sono generalizzabili.

Infine, le valutazioni degli studi presi in esame inerenti alla qualità dell'aria indoor sono stimate tramite modellistica e non sono disponibili studi che riferiscono risultati di campagne di monitoraggio idonee.

Sarebbero pertanto necessari ulteriori studi per approfondire tali problematiche.

### 3. Conclusioni

Gli ambienti *indoor* hanno un grande impatto sulla salute e sul benessere psico-sociale dell'individuo, per cui per renderli sani e sostenibili è opportuno comprendere come i molteplici fattori interagiscono tra loro. Gli studi sulle interazioni tra fattori e rischi socio-sanitari potenziali, andrebbero considerati mediante un approccio olistico e multidisciplinare, valutando i diversi ambiti quali gli aspetti bio-psico-sociali di salute, l'interazione tra occupanti, edificio, cambiamenti climatici, misure di efficienza energetica [18].

Dalla rassegna di letteratura effettuata si evince che l'efficientamento energetico può avere impatti duplici sulla salute e il benessere degli occupanti. L'equilibrio degli effetti negativi e positivi dipende da molteplici fattori quali: le caratteristiche strutturali dell'edificio e della ventilazione, la posizione in cui è ubicato l'immobile, e, non ultimi, i comportamenti degli occupanti. È, pertanto, sempre più urgente aumentare la consapevolezza dei residenti sulle buone pratiche di comportamento ai fini di garantire una buona qualità dell'aria *indoor*. Le politiche di efficientamento energetico, soprattutto in caso di interventi che coinvolgono il patrimonio edilizio pubblico (uffici, scuole, ospedali, ecc.), dovrebbero essere accompagnate da risorse dedicate a una corretta formazione/informazione, oltre che degli addetti ai lavori, degli occupanti sui comportamenti virtuosi da mettere in atto per evitare l'aumento delle concentrazioni di inquinanti chimici e biologici dell'aria *indoor*.

### Bibliografia

- [1] **ONU**. Risoluzione adottata dall'Assemblea Generale il 25 settembre 2015: Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Organizzazione delle Nazioni Unite; 2015.
- [2] **UN**. Habitat III. Revised zero draft of the New Urban Agenda. Quito: United Nations; 2016.
- [3] **World Health Organization**. World report on ageing and health. Geneva; 2015.
- [4] **RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/786 DELLA COMMISSIONE** dell'8 maggio 2019 sulla ristrutturazione degli edifici.
- [5] **DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO** del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.
- [6] **Poortinga W, Jones N., Lannon S. and Jenkins H.** Social and health outcomes following upgrades to a national housing standard: a multilevel analysis of a five-wave repeated cross-sectional survey *BMC Public Health* (2017) 17:927.
- [7] **Poortinga W., Rodgers S. E, Lyons R. A, Anderson P, Tweed C., Grey C., Jiang S., Johnson R, Watkins A. and Winfield T. G.** The health impacts of energy performance investments in low-income areas: a mixed-methods approach. *PUBLIC HEALTH RESEARCH VOLUME 6 ISSUE 5 MARCH 2018* ISSN 2050-4381.
- [8] **Armstrong B, Bonnington O., Chalabi Z., Davies M., Doyle Y., Goodwin J., Green J., Hajat S., Hamilton I., Hutchinson E., Mavrogianni A., Milner J., Milojevic A., Picetti R., Rehill N., Sarran C., Shrubsole C., Symonds P., Taylor J., Wilkinson P.** The impact of home energy efficiency interventions and winter fuel payments on winter- and cold-related mortality and morbidity in England: a natural equipment mixed-methods study. *PUBLIC HEALTH RESEARCH 2018 VOL. 6 NO. 11*.
- [9] **MacNaughton P., Cao X, Buonocore J., Cedeno-Laurent J., Spengler J., Bernstein A., Allen J.** *Energy savings, emission reductions, and health co-benefits of the green building movement.*, *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2018 Jun;28(4):307-318.

- [10] **Underhill LJ, Fabian MP, Vermeer K, Sandel M, Adamkiewicz G, Leibler JH, Levy JI.** *Modeling the resiliency of energy-efficient retrofits in low-income multifamily housing.* Indoor Air. 2018 May;28(3):459-468.
- [11] **Milner J., Chalabi Z., Vardoulakis S., Wilkinson P.** Housing interventions and health: quantifying the impact of indoor particles on mortality and morbidity with disease recovery. Environ Int. 2015 Aug;81:73-9.
- [12] **Hamilton I, Milner J, Chalabi Z, Das P, Jones B, Shrubsole C, Davies M, Wilkinson P,** Health effects of home energy efficiency interventions in England: a modelling study. BMJ Open. 2015 Apr 27;5(4):e007298.
- [13] **Carlton E. J., Barton K., Shrestha PM., Humphrey J., Newman LS., Adgate JL., Root E., Miller S.** Relationships between home ventilation rates and respiratory health in the Colorado Home Energy Efficiency and Respiratory Health (CHEER) study. Environmental Research 169 (2019) 297–307.
- [14] **Sharpe R.A., Thornton CR., Nikolaou V., Osborne NJ.** Higher energy efficient homes are associated with increased risk of doctor diagnosed asthma in a UK subpopulation. Environment International 75 (2015) 234–244.
- [15] **Bone A. Murray V., Myers I., Dengel A., Crump D.** Will drivers for home energy efficiency harm occupant health. Public Health, v130,n5 2010:233-238.
- [16] **Fabbri K.** Urban Fuel Poverty. Academic Press 2019 pag 247. ISBN-13: 978-0128169520.
- [17] **Haverinen-Shaughnessy U., Pekkonen M., Leivo V., Prasauskas T., Turunen M., Kiviste M., Aaltonen A., Martuzevicius D.** Occupant satisfaction with indoor environmental quality and health after energy retrofits of multi-family buildings: Results from INSULAtE-project. Int J Hyg Environ Health. 2018 Jul;221(6):921-928.
- [18] **Wierzbicka A., Pedersen E., Persson R, Nordquist B., Stålné K., Gao C., Harderup L. E., Borell J., Caltenco H., Ness B., Stroh E., Li Y., Dahlblom M., Lundgren-Kownacki K., Isaxon C., Gudmundsson A. and Wargocki P.** Healthy Indoor Environments: The Need for a Holistic Approach. Int J Environ Res Public Health. 2018 Aug 30;15(9). pii: E1874.

# MONITORING & CONTROL IN THE CIRCULAR ECONOMY ERA

## EMISSIONI DI ODORI: DALLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO ALLE NUOVE STRATEGIE DI CONTROLLO

La conferenza Ecomondo Emissioni Odori (alla sua nona edizione) è un evento di punta per la comunità dei più importanti attori industriali e accademici. I ricercatori, l'industria, la pubblica amministrazione e le agenzie ambientali scambiano le loro diverse esperienze su un argomento che sta diventando di grande rilevanza nella pianificazione ambientale. Questa sessione presenta i risultati di comitati tecnici nazionali e internazionali sulle normative sugli odori, gli interventi dei principali enti pubblici di ricerca che operano in questo settore, i casi studio e buone pratiche da parte di pubbliche amministrazioni, agenzie di controllo e aziende che sviluppano tecnologie attinenti.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, ISPRA, Società Chimica Italiana, Divisione di Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali**

**Presidenti di sessione:**

- Lucia Muto, *ISPRA*
- Alfredo Pini, *ISPRA*
- Gaetano Settimo *Istituto Superiore di Sanità*





# Odori da impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti liquidi: Migliori Tecniche Disponibili a confronto

*Raffaella Martini [raffaella.martini@cittametropolitana.torino.it](mailto:raffaella.martini@cittametropolitana.torino.it), Giuseppe D'Agostino, Ugo Cognazzo, Roberto Picca Garin,  
Dipartimento Ambiente e Vigilanza Ambientale Città Metropolitana di Torino*

## **Riassunto**

*Nel corso dell'ultimo decennio la gestione delle emissioni odorogene derivanti da impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti industriali presenti sul territorio della Città Metropolitana di Torino ha assunto un'importanza rilevante. Il trattamento end of pipe più impiegato è il lavaggio chimico seguito da uno stadio di filtrazione a carboni attivi. Tale soluzione si è dimostrata non del tutto idonea ad abbattere gli odori sia per la natura delle sostanze chimiche coinvolte, sia per la variabilità delle loro concentrazioni. L'ossidazione termica, abbinata ad appropriati interventi di ottimizzazione delle reti di aspirazione, si è rivelata un'alternativa tecnologica efficace ed ambientalmente ed economicamente sostenibile per la risoluzione delle problematiche di emissioni odorogene.*

## **Summary**

*During the last ten years, odour emissions coming from liquid waste treatment plants became a very remarkable problem for Turin Metropolitan City. The most common end of pipe system adopted to treat odour emissions is chemical scrubbing combined with activated carbon filtration. This technical solution can't be the most suitable one, since its efficiency may be influenced by the chemical characteristics of the odorous substances and by the variability of their concentration. Thermal oxydation, combined with appropriated interventions to optimize the suction systems, revealed to be an interesting technical solution for odour emissions and a sustainable option both from an environmental and economical point of view.*

## **1. Introduzione**

Il territorio della Città Metropolitana di Torino ospita alcuni impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti liquidi. Sebbene tali impianti siano collocati in aree industriali, nel corso dell'ultimo decennio sono stati oggetto di attenzione in quanto causa di problematiche di emissione di odori lamentate dalla popolazione residente nelle aree residenziali limitrofe e non. La Città Metropolitana di Torino che, su delega della Regione Piemonte, ha la competenza per il rilascio delle autorizzazioni alla realizzazione e all'esercizio degli impianti di gestione rifiuti, in collaborazione con ARPA e con i gestori, ha orientato la propria attività verso l'individuazione di una soluzione tecnologica sostenibile sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista ambientale, per risolvere le problematiche occorse. Il presente lavoro, attraverso il confronto tra le prestazioni del trattamento termico ed il tradizionale sistema di lavaggio ad umido seguito da filtrazione su carboni, illustra le valutazioni che hanno portato ad individuare nell'utilizzo del RTO (*Regenerative Thermal Oxydiser*) un'opzione interessante

per la gestione degli odori provenienti da impianti di trattamento chimico fisico biologico di rifiuti liquidi.

## 2. Relazione

### 2.1 Tecniche di abbattimento: *wet scrubbing*

La tecnica del trattamento ad umido (*wet scrubbing*) prevede il passaggio in controcorrente degli effluenti inquinati attraverso un flusso di acqua eventualmente addizionata con reagenti per migliorarne l'efficienza: in questo modo gli inquinanti contenuti negli aeriformi vengono trasferiti nel liquido di lavaggio e gli effluenti depurati emessi in atmosfera. Semplificando i complessi meccanismi che regolano il trasferimento di fase di un inquinante, si possono individuare due *step*: il primo che consiste nel passaggio delle molecole gassose in fase liquida, regolato principalmente dalla sua solubilità nei confronti del liquido di lavaggio (solitamente acqua), il secondo che consiste nell'interazione delle molecole con i *chemicals* regolato dalla reattività dei singoli composti. Il comportamento di un componente poco solubile può essere paragonato a quello di una reazione molto lenta in cui prevalgono gli effetti del trasporto di massa rispetto a quelli associati alla reazione chimica: quindi, anche se l'inquinante è potenzialmente in grado di reagire con i *chemicals*, l'efficacia del processo è fortemente condizionata dalla scarsa affinità del singolo composto con l'acqua. Conseguentemente, il tempo di contatto generalmente adottato per la progettazione degli *scrubber* (2 secondi) può non essere sufficiente a garantire l'abbattimento dell'inquinante considerato. Nel caso di composti insolubili, invece, il processo non è efficace e l'inquinante viene emesso tal quale in atmosfera. L'introduzione di uno stadio di adsorbimento su carbone attivo, a valle del *water scrubbing*, può essere efficacemente impiegato per la rimozione dei composti quali acetati, chetoni ed alcuni composti aromatici ma è anch'esso condizionato dall'affinità specifica di ciascun composto verso il carbone ed ha costi di esercizio elevati, prevalentemente legati ai costi di smaltimento del materiale adsorbente.

### 2.2 Tecniche di abbattimento: *thermal oxidation*

La tecnica dell'ossidazione termica consiste nel trattamento di un flusso di aeriforme contenente sostanze combustibili anche odorigene utilizzando il calore. Il gas esausto viene portato ad una temperatura solitamente compresa tra i 750 °C ed 1100°C, in funzione delle concentrazioni di cloro che possono essere presenti nel flusso da trattare, in una o più camere di combustione e mantenuto al loro interno per un tempo sufficiente per il completamento delle reazioni ossidative. L'ossidazione termica non è dipendente dalle caratteristiche chimiche dei composti che sono presenti nel flusso emissivo e ciò consente di ottenere rese di abbattimento comprese tra il 98 ed il 99,9% : tale resa è significativamente più elevata di quella ottenibile con lo *wet scrubbing* la cui efficienza di abbattimento nei confronti dell'odore si assesta in un range compreso tra il 60 e l'85% [2]. Tuttavia l'applicabilità di tale tecnica può essere condizionata dalle basse concentrazioni di inquinanti presenti nell'aria da trattare che rendono necessari elevati quantitativi di metano per garantire il mantenimento della temperatura minima di ossidazione ed incidono quindi sui costi di esercizio.

### 2.3 L'individuazione della migliore tecnica disponibile: il confronto.

Per un'appropriata valutazione delle alternative tecnologiche da impiegare nell'abbattimento degli odori è stato necessario procedere alla caratterizzazione chimica delle sostanze che ne sono causa. I gestori degli impianti oggetto di indagine hanno, quindi, proceduto ad alcune campagne di monitoraggio conoscitivo, rilevando le concentrazioni delle sostanze chimiche presenti negli aeriformi. Il grafico di figura 1 mostra la composizione percentuale media in

volume delle principali famiglie di composti ritenuti significativi sotto il profilo odorigeno. Come si può notare i composti presenti in concentrazione maggiore negli aeriformi sono acetati ed alcoli seguiti da composti aromatici ed in parte minore da chetoni e alcani clorurati e non.

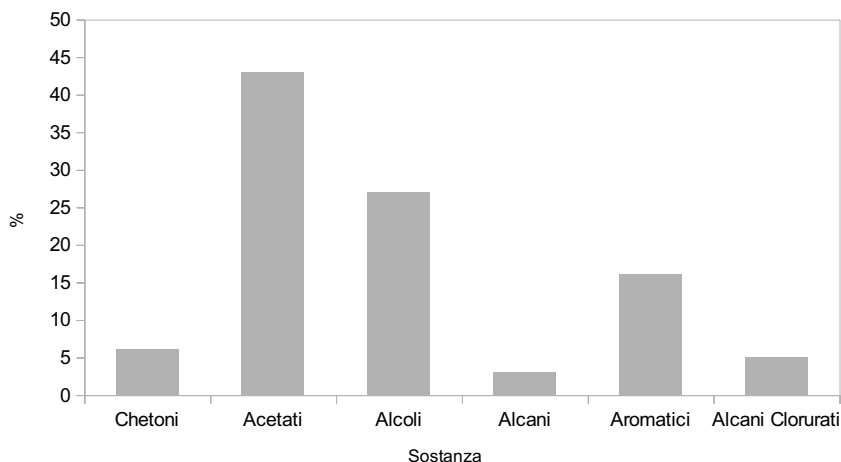


Fig. 1 – Composizione tipo del flusso emissivo da impianto CFB

La Tabella 1 riporta per ciascuno dei gruppi di composti chimici rilevati in maggiore concentrazione la tipologia di odore ad essi riconducibile, la loro soglia di rilevabilità olfattiva (*Odour Threshold*) e la loro solubilità in acqua [1]. La tipologia di odore riconducibile alla miscela delle varie sostanze rilevate coincide con quella lamentata dalla popolazione e constatata durante l'attività ispettiva e corrisponde ad una concentrazione di odore compresa tra 9.200 e 12.000  $Ou_E/Nm^3$ , valore significativo se confrontato con il BAT AEL relativo all'emissione di odore da impianti di trattamento biologico di rifiuti organici [2] compreso tra 200 e 1.000  $Ou_E/Nm^3$ .

	Sostanza	Tipo di odore	Solubilità in acqua (g/l)	Odour Threshold ( $mg/Nm^3$ )
<b>chetoni</b>	metiletichetone	dolciastro	282	0,21
	metilisobutichetone	dolciastro	18	0,14
<b>acetati</b>	etilacetato	fruttato, smalto per unghie	85,3	0,9
	isobutilacetato	dolciastro, medicinale	0,63	0,038
<b>alcoli</b>	etanolo	alcolico, vino	completa	0,17
	isobutanolo	dolciastro, muffa	80 g/l	0,033
<b>alcani</b>	n-eptano	benzina	insolubile	1,7
	n decano	solvente	insolubile	n.r.
<b>aromatici</b>	xileni	dolciastro, marcio	insolubili	0,052
	etilbenzene	oleoso, solvente	0,15	0,01
	limonene	citrico, plastica	insolubile	0,01

Tab. 1 – Odore caratteristico e solubilità di alcuni dei composti chimici rilevati

Come si può notare, ad eccezione dell'etanolo che è completamente solubile in acqua molte delle altre sostanze odorigene presentano una solubilità in acqua molto bassa o addirittura sono completamente insolubili. Gli stessi composti possiedono, inoltre, una soglia di rilevabilità olfattiva molto bassa, in alcuni casi inferiore di uno o due ordini di grandezza alle concentrazioni rilevate. Va sottolineato che confrontando le concentrazioni di TVOC (*Total Volatil Organic Compounds*) a monte e a valle dello *scrubber*, l'impianto di abbattimento mostrava un'efficienza di rimozione compresa nel range indicato nel BRef di riferimento, consentendo il rispetto del livello emissivo stabilito nell'autorizzazione. Ciò non accadeva per l'odore che si manteneva ancora a livelli significativi, nonostante la riduzione dei TVOC operata dal *wet scrubbing*, ed era ancora chiaramente percepito dalla cittadinanza. La situazione non si è risolta neppure con l'introduzione di uno stadio di adsorbimento a carboni attivi.

Si è, quindi, maturata la convinzione che la miglior soluzione per risolvere la problematica andasse ricercata in un'alternativa tecnologica indipendente dalla tipologia chimica delle sostanze contenute negli effluenti da trattare e caratterizzata da elevati livelli prestazionali in termini di efficacia di abbattimento, quale appunto l'ossidazione termica. Questa soluzione, già impiegata efficacemente come trattamento *end of pipe* di aeriformi provenienti da cicli produttivi diversi dal trattamento rifiuti, sembrava rappresentare una soluzione non sostenibile a causa degli elevati costi di investimento e di esercizio. In merito a quest'ultimo aspetto si è proceduto ad una valutazione comparata delle più importanti voci di costo di esercizio delle due tecnologie che sono sinteticamente riassunte in tabella 2.

	<b>Wet Scrubbing + filtro c.a.</b>	<b>Thermal Oxydation</b>
<b>Consumo energia elettrica</b>	250.000 euro/anno	150.000 euro/anno
<b>Consumo reagenti</b>	50.000 euro/anno	
<b>Sostituzione e smaltimento carboni</b>	100.000 euro/anno	
<b>Consumo di metano</b>		165.000 euro/anno
<b>Totale</b>	400.000 euro/anno	315.000 euro/anno

**Tab. 2** – Principali costi di esercizio riferiti ad una portata da trattare di 30.000 Nm<sup>3</sup>/h

Confrontando le varie voci di costo è emerso che quella che incide maggiormente in fase di esercizio di un impianto di abbattimento ad umido seguito da filtrazione a carbone attivo è il consumo di energia elettrica delle reti di aspirazione, seguito dallo smaltimento e dalla sostituzione dei carboni attivi e dall'acquisto di reagenti.

Per quanto riguarda invece l'ossidazione termica, la voce di costo più elevata è quella relativa al consumo di metano che può essere non trascurabile soprattutto nel caso di flussi di aria poco concentrati. Per ridurre il quantitativo di metano consumato, si è deciso di intervenire attuando una riduzione dei volumi aspirati: ciò ha ridotto di circa il 40% l'energia assorbita dai ventilatori ed ha aumentato le concentrazioni di inquinanti fornendo così un maggiore apporto entalpico all'energia necessaria per l'ossidazione termica e di conseguenza riducendo il combustibile ausiliario necessario per il mantenimento della temperatura minima di ossidazione. Un ulteriore importante riduzione dei consumi energetici in fase di esercizio si può ottenere scegliendo un RTO a tre camere, massimizzando così il recupero del calore dei fumi, con conseguente consistente diminuzione del metano ausiliario necessario. In questo modo la spesa occorrente per l'approvvigionamento di metano ausiliario è in pratica equivalente a quella impiegata per l'acquisto dei *chemicals* impiegati nel *wet scrubbing* e per lo smaltimento

dei carboni attivi esausti: il bilancio economico è quindi spostato a favore dell’RTO in termini di risparmio di energia complessiva consumata.

Dal punto di vista ambientale le valutazioni sono più complesse visti i numerosi fattori da considerare: in primo luogo occorre tenere conto la sensibile riduzione dei consumi di energia elettrica, la riduzione della produzione di rifiuti legata allo smaltimento del carbone attivo, la riduzione dei consumi di reagenti. Il consumo di metano è ovviamente significativo, nonostante gli interventi di ottimizzazione delle reti di aspirazione. La tabella 3 riporta un confronto tra il consumo annuo stimato di metano per l’alimentazione del RTO per un flusso d’aria pari a 30.000 Nm<sup>3</sup>/h ed il consumo medio annuo di metano di una famiglia del Nord Italia composta da 3 persone.

	<b>RTO</b>	<b>Consumo famiglia</b>
<b>Consumo giornaliero Nm<sup>3</sup></b>	1.507	4
<b>Consumo annuo Nm<sup>3</sup></b>	550.000	1.280
<b>Riduzione di consumo Nm<sup>3</sup></b>	42.675	
<b>Consumo annuo netto Nm<sup>3</sup></b>	507.325	

**Tab. 3 – Stima dei consumi di metano per l’alimentazione di un RTO**

Come emerge dalla tabella il consumo di metano stimato per l’alimentazione dell’RTO è pari a quello di 396 famiglie di 3 persone, circa 20 condomini da dieci piani ciascuno. Utilizzando quale indicatore il quantitativo di metano impiegato per trattare una tonnellata di rifiuto liquido, assumendo nel caso in esame una potenzialità di trattamento pari a 250.000 t/anno, si ottiene un valore pari a circa 1,7 Nm<sup>3</sup><sub>metano</sub>/t<sub>rifiuto</sub>. In altri termini il consumo annuo di metano per tonnellata di rifiuto trattato è corrispondente a circa la metà di quello consumato da una famiglia giornalmente.

### 3. Conclusioni

L’applicazione dell’RTO come trattamento *end of pipe* delle emissioni in atmosfera derivanti da impianti di trattamento chimico fisico biologico si è rivelata un’alternativa efficace ed affidabile per l’abbattimento degli odori. Sebbene i consumi energetici siano significativi, tale opzione impiantistica, praticabile utilizzando le attuali tecnologie, può costituire una valida alternativa se si adottano opportuni accorgimenti volti a renderla sostenibile sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista ambientale.

Si ringrazia la Società Ambienthesis S.p.a. per i dati forniti che hanno contribuito in modo determinante alla stesura del presente lavoro.

### Bibliografia

- [1] **American Industriale Hygiene Association AIHA** - *Odour Threshold for Chemicals with Established Health Standards 2nd edition*
- [2] **BRef JRC113018** “Waste Treatment” Ottobre 2018
- [3] **ISTAT** – Consumi energetici delle famiglie [dati.istat.it](http://dati.istat.it)



# CIRCULAR BIOECONOMY

## ECONOMIA CIRCOLARE PER LA DEFINIZIONE DI UNA STRATEGIA DI CRESCITA BLU SOSTENIBILE E INTEGRATA

L'obiettivo è rafforzare la R&I per stimolare lo sviluppo della circolarità nell'economia blu. La sessione si ispira al "Summit Les Deux Rives" (Marsiglia 24 Giugno 2019), un'iniziativa nata per rilanciare la cooperazione tra la parte settentrionale e la parte meridionale del Mediterraneo occidentale, dando voce alla società civile, concentrandosi sugli elementi che uniscono ed elaborano una proattività reale e concreta. In questo contesto, il tema affidato all'Italia è "sostenibilità e ambiente: circolarità nell'economia blu". La presenza del Cluster Tecnologico Nazionale per la Crescita Italiana Blu come centro di connessione tra il mondo della ricerca, dell'industria e del governo, e dell'Iniziativa Bluemed per la promozione dell'economia blu nel bacino del Mediterraneo attraverso la cooperazione, è essenziale per garantire un allineamento tra Politica, Ricerca e Industria.

A cura di: **Ecomondo Scientific Technical Committee, CNR, BLUEMED WG - EuroMed GSOs, BLUEMED CSA, Cluster BIG**

### **Presidenti di sessione:**

- Roberto Cimino, *ENI and President of the Technology Cluster BIG*
- Emilio Fortunato Campana, *CNR and BIG*
- Enrico Granara, *Plen Ministry for the Mediterranean sea*
- Dagmar Schmidt Tartagli, *Swiss Embassy in Italy (TBC)*
- Fabio Trincardi, *CNR e Bluemed*





# Proposta di una nuova circolare per meglio regolamentare la gestione delle biomasse vegetali spiaggiate

*Sergio Cappucci [sergio.cappucci@enea.it](mailto:sergio.cappucci@enea.it), Carla Creo*  
ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Via Anguillarese, 301 - ROMA

## Riassunto

*Il turismo balneare è fortemente influenzato dalla presenza di biomasse vegetali spiaggiate che possono ridurre la capacità di carico e la ricettività delle aree costiere. Le soluzioni per gestire gli spiaggiamenti di Posidonia sono state per anni quelle indicate dalla circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 8123 del 17.3.2006 che è ormai superata rispetto alle soluzioni tecnologiche e le sperimentazioni effettuate negli ultimi 13 anni. La recente circolare di Maggio 2019, sebbene non estenda il suo campo di applicazione anche ad altro materiale naturale presente in spiaggia, affronta la problematica in modo più esaustivo e circostanziato rispetto a quella precedente, offrendo molte più opzioni gestionali. Il presente lavoro propone pertanto un ulteriore contributo al fine di includere quante più opzioni di gestione possibili tra quelle già testate dalla comunità tecnico-scientifica.*

## Abstract

*The seaside tourism is strongly influenced by the presence of beached vegetable biomass that can reduce the carrying capacity and the receptivity of coastal area. The solutions to manage the seagrass wrack were suggested by the circular n. 8123 of 17.3.2006 of the Ministry of the Environment and the Protection of the Territory and the Sea. Such regulation is now outdated compared to the technological solutions and test carried out over the last 13 years. The recent circular of May 2019, although it does not extend its field of application to other natural matter at the beach, addresses the problem in a more exhaustive and detailed way than the previous one, offering many more management options. Therefore, the present work proposes further contribution in order to include as many management options among those already tested by the technical and scientific community.*

## 1. Introduzione

La gestione delle biomasse vegetali spiaggiate non è mai stata regolamentata in modo organico in Italia. Questa disattenzione del legislatore, ha lasciato di fatto agli enti locali la gestione della pulizia degli arenili, spesso eseguita meccanicamente ed attraverso aziende non specializzate che hanno di fatto trattato legno, frammenti di piante ed alghe come fossero Rifiuti Solidi Urbani (RSU) che erano incaricate di raccogliere e trasportare. Più di recente, l'emergente problema delle plastiche e microplastiche che si rinvencono lungo gli arenili ha esacerbato il problema del mescolamento dei rifiuti con le biomasse vegetali spiaggiate, che rifiuti non sono né per natura, né per definizione.

Già dal D.L. 22 del 1997 (Decreto Ronchi), furono classificati (art. 7), come rifiuti urbani (punto 2, lett d) *i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua*. Ma l'interpretazione autentica del testo riportato tal quale negli strumenti normativi successivi, fino al D.lgs 152/2006 tutt'ora in vigore, non definisce rifiuto tutto quello che si trova su una spiaggia [1]. Probabilmente una delle fonti di confusione si è generata a causa del fatto che il medesimo articolo del Decreto Ronchi riportava la seguente classificazione alla successiva lettera e) *i rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali*.

Nel tempo sono state associate le foglie di alghe e piante marine, come pure i frammenti di legname, ai rifiuti vegetali soggetti ad attività di smaltimento. In data 17.3.2006, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha emanato una circolare indirizzata a tutti i comuni rivieraschi, avente per oggetto la “gestione della posidonia spiaggiata” ed indicando che le possibili modalità di gestione fossero in breve sintesi:

- 1) il mantenimento in loco,
- 2) lo spostamento degli accumuli (anche stagionale) e
- 3) la rimozione permanente ed il trasferimento in discarica.

La medesima circolare riportava le seguenti considerazioni generali: *non ritiene utile fornire una regola e un modello univoco, ma è necessario adottare soluzioni flessibili, legate di volta in volta alla specificità dei luoghi e delle situazioni sociali ed economiche*.

Diversi progetti e sperimentazioni hanno dimostrato con successo che le biomasse vegetali spiaggiate, tra cui i residui di *Posidonia oceanica* (la frazione più pregiata in quanto considerata un habitat prioritario dalla Direttiva 92/43 della UE), costituiscono solo una parte del materiale vegetale spiaggiato lungo le coste. Tale materiale può trovare utilizzi sia per la produzione di compost, che nel settore della cosmesi e della produzione di *biochar*. Tra i diversi progetti portati a termine più recentemente alcuni, nel tentativo di coniugare le esigenze turistiche ed il fondamentale ruolo ecologico dell'ecosistema litorale hanno sviluppato una serie di tecniche di spostamento temporaneo dei cumuli al fine di produrre elementi di arredo costiero, modulabili, e studiati in modo da poter riposizionare le biomasse vegetali spiaggiate al termine della stagione estiva lungo gli arenili [2].

Sono passati ormai più di 13 anni da quando il Ministero dell'Ambiente emanò la circolare n. 8123, che risulta ormai superata e inadeguata rispetto ai progressi tecnologici ed ai dettati normativi. A seguire è riportata la proposta di una procedura, finita di elaborare nel mese di Marzo 2019, che fa riferimento ad anni di esperienza tecnico-scientifica sul tema, per l'implementazione della circolare stessa.

## **2. Premessa**

“Lo spiaggiamento delle biomasse vegetali spiaggiate, costituito da tronchi, cannicciate e frammenti più minuti tra cui le foglie di *Posidonia oceanica* e le alghe, è senz'altro un fenomeno naturale, che annualmente si rileva in tutti i paesi bagnati dal Mediterraneo, e che può avere una intensità differente in relazione alla distanza dalle foci dei corsi di acqua, dal regime delle maree e delle correnti, dalle estensioni delle praterie presenti in prossimità dei litorali nei confronti dell'unità di litorale (unità fisiografica) di riferimento. Gli accumuli di biomassa spiaggiata (tra cui anche le banquettes – cioè i depositi più strutturati e permanenti di foglie di posidonia spiaggiata) svolgono un ruolo importante nella protezione delle spiagge dall'erosione e danno un contributo diretto ed indiretto alla vita delle biocenosi animali e vegetali del sistema spiaggia-duna. Naturalmente sono destinate a spostarsi per effetto delle mareggiate tra il retro spiaggia ed il mare, talvolta posandosi sul fondo marino laddove nel tempo vengono meno le condizioni di galleggiamento (e vanno a formare veri e propri letti di macerazione).

Intervenire, rimuovendo le biomasse vegetali spiaggiate dalla loro sede naturale, significa accelerare l'erosione e compromettere l'integrità dell'habitat costiero, che già in molti luoghi subisce un diminuito apporto di sedimenti, costringendo le amministrazioni locali ad importanti e costosi interventi di protezione della costa e di ripascimento delle spiagge. La necessità, dal punto di vista ecologico, di mantenere in loco le biomasse spiaggiate, confligge però con l'utilizzo delle spiagge a scopo turistico, in quanto i resti della vegetazione possono dar luogo ostacoli nella circolazione, compromettere la sicurezza dei bagnanti o, in alcuni casi, essere soggetti a fenomeni putrefattivi che li rendono poco graditi ai bagnanti. Per venire incontro a queste istanze, i comuni costieri hanno adottato via via soluzioni diverse, ricorrendo anche ad onerosi interventi di raccolta e smaltimento in discarica dei materiali spiaggiati, che, è bene precisare, non sono un rifiuto né per natura, né per definizione.

Al fine di procedere ad una corretta gestione di tale biomassa vegetale spiaggiata, si ribadisce la necessità di non adottare un'unica soluzione, ma piuttosto di adottarne diverse, flessibili e/o integrate, legate di volta in volta alla specificità dei luoghi ed al contesto socio-economico.

### **3. Legname**

I tronchi, i rami e gli altri materiali lignei che si rinvencono lungo gli arenili dovrebbero prioritariamente essere utilizzati per interventi naturalistici lungo la fascia costiera, privilegiando azioni di riqualificazione, come la realizzazione di camminamenti, bordure, sentieri, attraversamenti e/o restauro morfologico delle dune, anche con la realizzazione di schermi di protezione della vegetazione costiera dal calpestio e/o la realizzazione di sistemi naturali di protezione del piede della duna o di celle di contenimento della sabbia che spinta dal vento verso l'entroterra può così depositarsi più efficacemente.

### **4. Materiali lignei di modeste dimensioni e cannicciate**

Anche i residui di canneti e materiali lignei di dimensioni più modeste dovrebbero prioritariamente essere recuperati per realizzare interventi naturalistici di cui sopra e/o altre opere accessorie anche a seguito di frantumazione, se necessaria e/o utile.

### **5. Residui di *Posidonia oceanica* e di alghe marine**

I frammenti di prateria di *Posidonia oceanica* (pianta endemica del mediterraneo) e di alghe esercitano una funzione attiva nel trattenere enormi quantità di sedimento che rimane intrappolato tra gli strati sovrapposti di foglie (si calcola che un metro cubo di *banquette* sia in grado di trattenere circa 40 kg di sedimento sciolto) e proteggere le spiagge dall'erosione.

#### **Soluzione 1: mantenimento in loco**

Laddove questa frazione della biomassa dia luogo a veri e propri abbancamenti (*banquettes*), il *Mantenimento in loco delle banquette* (sul modello delle "spiagge ecologiche" adottato in Francia in alcune aree protette marine), risulta la soluzione migliore dal punto di vista ecologico.

#### **Soluzione 2: spostamento degli accumuli**

Laddove, invece, per esigenze di balneazione e fruizione delle spiagge o in presenza di abbancamenti più effimeri (cioè non permanenti o di minore dimensione), questa frazione dovesse essere rimossa, si consiglia di operare lo *spostamento degli accumuli* seguendo una o più opzioni tra quelle di seguito elencate. Le località interessate dallo spostamento e le modalità dello stesso dovranno essere oggetto di apposito provvedimento, da adottarsi da parte degli Enti Parco o dalla Regione competente, sentiti i Comuni interessati.

#### *A) Immersione in mare*

La biomassa vegetale spiaggiata può essere posata sul fondo marino non vegetato anche me-

diante una o più strutture realizzate da materiale biocompatibile, costituito da fibra naturale. La profondità ideale è sempre quella superiore alla fascia attiva della spiaggia (cioè maggiore della profondità di chiusura che nei nostri mari sovente supera i 10 metri circa di profondità), ma in alcuni casi la biomassa potrà essere adagiata oltre il limite inferiore della prateria madre (che nel Mar Mediterraneo può superare i 40 metri) a costituire e/o alimentare i letti di macerazione. Questa soluzione, che può essere effettuata anche via mare per mezzo delle bettoline, prevede due possibilità distinte di seguito specificate.

*A1) immersione sopra il limite inferiore della prateria madre.*

Tale soluzione, per la quale è previsto l'utilizzo di imbottiture realizzate con materiale naturale, può essere utile anche per ottenere un ripristino morfologico più regolare e sub-pianeggiante o fornire un substrato sul quale favorire e/o operare un reimpianto di vegetazione in ambiente marino-costiero e lagunare. Le imbottiture potranno essere zavorrate su fondale non vegetato ed al termine dell'intervento non è previsto un recupero del materiale sommerso sul fondo marino.

*A2) immersione oltre il limite inferiore della prateria madre.*

La biomassa vegetale potrà essere affondata sul fondo e lasciata libera di essere trasportata dalle correnti fino al letto di macerazione (depocentro di accumulo solitamente presente su fondi a bassa energia che si trovano a profondità maggiori rispetto al limite inferiore della prateria madre e talvolta anche ad una distanza significativa da quest'ultima).

*B) Spostamento degli abbancamenti*

La biomassa vegetale può essere stoccata a terra all'asciutto, trasportata in zone appartate della stessa spiaggia dove si è accumulata, spostata su spiagge poco accessibili o non frequentate da bagnanti o su spiagge particolarmente esposte all'erosione. Lo spostamento può anche essere stagionale, con rimozione della posidonia in estate e suo riposizionamento in inverno sull'arenile di provenienza.

Lo spostamento deve essere preceduto da un'azione preventiva di rimozione dei rifiuti eventualmente accumulati intorno o sui cumuli. Laddove occorra, o per maggior efficacia della rimozione dei rifiuti, l'operazione può anche essere ripetuta durante lo spostamento dei cumuli per ridurre il rischio che qualche frammento resti all'interno della biomassa. Durante lo spostamento andrà anche separato il sedimento. Tale separazione, laddove i cumuli siano bagnati o molto umidi, può essere fatta sul bagnasciuga, lasciando depositare sul fondo le particelle di sabbia e recuperando la sola biomassa flottante dal bagnasciuga.

La separazione può essere effettuata anche per via meccanica o per soffiaggio, portando la biomassa lontano dalla linea di riva ad asciugare e/o ridurre il contenuto d'acqua. In questo secondo caso il sedimento recuperato dovrà essere ricollocato sulla spiaggia e/o essere riutilizzato per interventi di ripascimento (previa caratterizzazione da eseguire solo ed esclusivamente nei casi in cui sussistano oggettive evidenze o timori di potenziale contaminazione del sedimento).

In Figura 1 è riportato un diagramma di flusso che rappresenta le possibili opzioni di gestione.

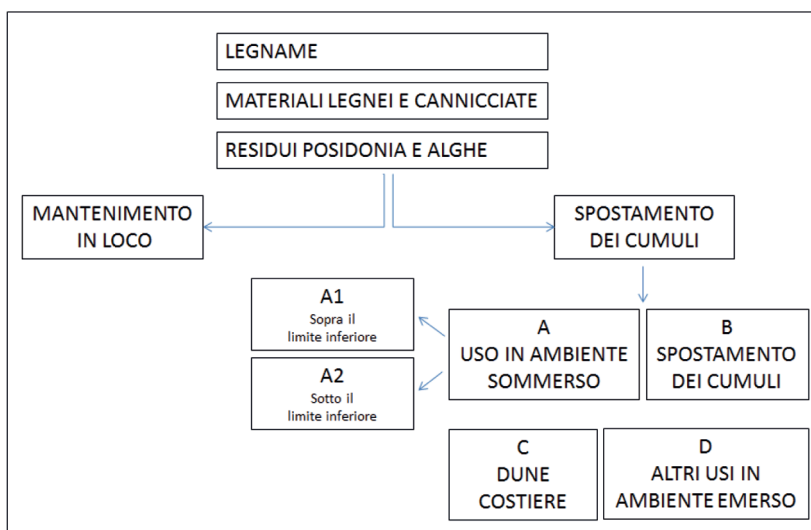


Fig. 1. – Diagramma di flusso per la proposta aggiornata di gestione delle biomasse vegetali.

#### A) Ricostruzione e riqualificazione delle dune costiere

Si rimanda alla normativa vigente che già prevede l'utilizzo delle biomasse vegetali spiaggiate per la ricostruzione e riqualificazione delle Dune costiere.

#### B) Altri utilizzi in ambiente emerso

Gli abbancamenti possono essere considerati una risorsa per realizzare strutture polifunzionali comprendenti un involucro in tela di fibre biocompatibili ed una imbottitura realizzata con biomassa raccolta dalle spiagge e non trattata con altri materiali/sostanze. Gli imbottiti possono essere utilizzati durante la stagione turistico-balneare per realizzare camminamenti, superfici balneari "prendisole", copertura di strutture antropiche ed edifici costieri mediante una o più strutture polifunzionali funzionali a favorire il turismo. Al termine della stagione balneare il materiale di riempimento dovrà essere depositato sull'arenile per proteggerlo dall'azione erosiva durante l'inverno.

Laddove tali imbottiti dovessero trovare utilizzo per la copertura di affioramenti rocciosi, sentieri, camminamenti e bordure (sempre in ambiente costiero) potranno essere lasciati in posto anche al termine della stagione estiva.

Per evitare il depauperamento della risorsa, l'utilizzo e la circolazione degli imbottiti è consentito solo ed esclusivamente nell'unità fisiografica laddove si rinvencono gli spiaggiamenti di biomasse vegetali spiaggiate.

### 6. Indicazioni generali

Si ricorda infine che il *Mantenimento in loco delle banquettes* è la soluzione auspicabile nelle aree marine protette e nelle zone A e B dei Parchi Nazionali, la cui efficacia è aumentata da campagne di informazione/sensibilizzazione dei bagnanti. In relazione agli aspetti igienico-sanitari, non risultano evidenze scientifiche per possibili meccanismi di criticità causati dalla biomassa spiaggiata nei confronti dell'uomo.

Tutti i cumuli temporaneamente lasciati nell'entroterra o che si rinvencono all'interno o a ridosso di bacini portuali o dei punti di ormeggio soggetti ad insabbiamento e per i quali si intende attuare gli interventi sopra descritti, si rende necessaria una caratterizzazione preventiva

sia delle biomasse vegetali che del sedimento, al fine di consentire l'attuazione degli interventi nell'ambiente marino costiero nel rispetto dell'ecosistema e degli habitat naturali.

Tutti i rifiuti eventualmente presenti sugli arenili che, preventivamente alle attività di spostamento delle biomasse vegetali spiaggiate dovessero essere raccolti (sia manualmente che meccanicamente), potranno essere trattati come rifiuti solidi urbani e, laddove possibile, separati nelle diverse frazioni da destinare alla raccolta differenziata (separando almeno metallo, plastica, carta e cartone, dagli altri materiali).

Tutto il sedimento che dovesse essere separato dalla biomassa durante l'asciugatura, la raccolta ed il trasporto anche verso/da i siti di accumulo, dovrà essere riutilizzato per interventi di ripascimento degli arenili.

Nei casi in cui gli interventi richiedessero l'utilizzo di mezzi meccanici per le attività di pulizia, raccolta, soffiaggio, setacciatura etc., l'accesso sull'arenile attraverso appositi varchi, dovrà avvenire:

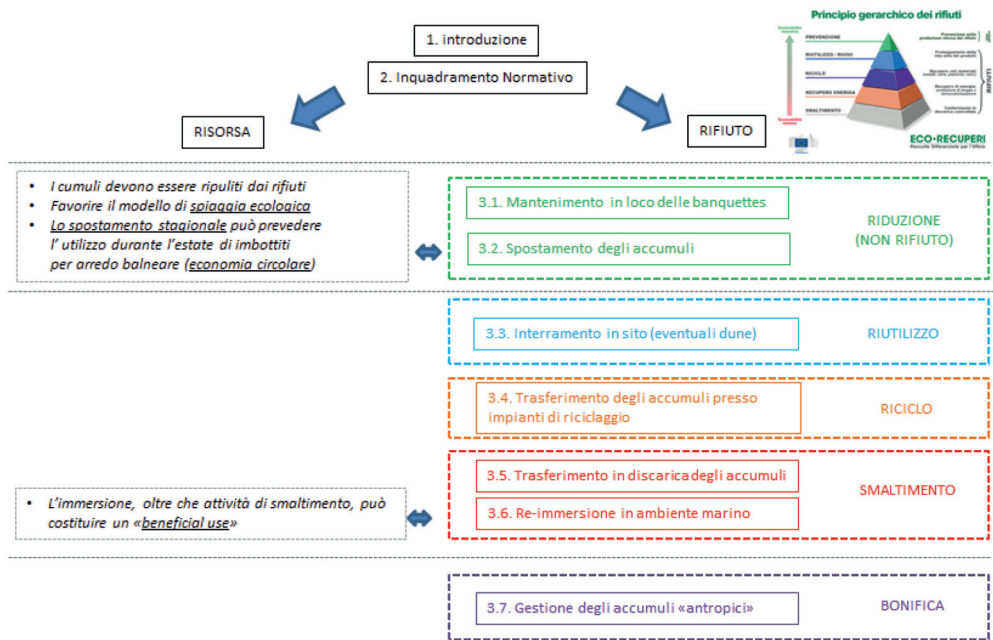
- nel rispetto delle prescrizioni del D.Lgs n. 285/1992 e s.m.i. (codice della Strada);
- senza recare danno alle infrastrutture presenti lungo il litorale (strada, pista ciclabile, marciapiede o cordoli, eventuali corrimano o frangivento);
- evitando danni all'ecosistema (ad es. schiacciamento, sradicamento della vegetazione costiera). Laddove i varchi, prima o durante la stagione estiva, dovessero presentare cumuli o lingue di sabbia trasportata dal vento che ne riducono significativamente la larghezza originaria (auspicabilmente non superiore a circa 3 metri), questa dovrà essere spostata preferenzialmente verso la spiaggia emersa antistante (che ne costituisce la zona di provenienza), o, in alternativa, lateralmente verso la "duna" (se presente). Si consiglia di effettuare sempre la rimozione preventiva di eventuali rifiuti e, successivamente, lo spostamento di sabbia accumulata nei varchi, evitando che questa operazione costituisca elemento di impatto nei confronti della vegetazione che colonizza lateralmente il varco di accesso (cioè la vegetazione che si trova oltre i 3 metri di larghezza del varco stesso).

La permanenza e lo stazionamento dei mezzi meccanici sull'arenile dovrà essere consentito per il tempo strettamente necessario, al termine del quale il mezzo dovrà essere ricondotto immediatamente su strada (avendo cura di evitare ogni forma di inquinamento derivante da perdite d'olio, rifornimento carburanti etc.).

### **Discussioni e conclusioni**

Nel Giugno 2019 è stata pubblicata in Gazzetta Ufficiale la Circolare n.8838 del 20.5.2019 del Ministero dell'Ambiente del Territorio e del Mare, che ha come oggetto non le biomasse vegetali spiaggiate, bensì i soli residui di *Posidonia oceanica*. La nuova circolare, sebbene non estenda il suo campo di applicazione al legname ed ai materiali lignei di modeste dimensioni/cannicciate, affronta la problematica in modo più esaustivo e circostanziato rispetto a quella precedente, offrendo molte più opzioni gestionali. Un diagramma semplificato della struttura della nuova circolare è riportato in Figura 2. Dopo una breve introduzione, nella quale la posidonia spiaggiata viene definita sia come rifiuto che come risorsa, segue un inquadramento normativo e sette opzioni gestionali elencate secondo il principio gerarchico di gestione dei rifiuti (riduzione, riutilizzo, riciclo, smaltimento), comprendendo anche indicazioni di "bonifica" di accumuli antropici", cioè quegli accumuli frutto di un lungo e periodico deposito di materiale in luoghi appartati individuati da alcune amministrazioni lungo la fascia costiera.





**Fig. 2. –** Diagramma di flusso della circolare n 8838 del MATTM.

Alla luce della nuova circolare la comunità scientifica, nell’ambito di diversi progetti, sta ora adeguando ed implementando una serie di procedure con le quali poter favorire le attività turistico ricreative e l’economia del mare (consentendo la pulizia degli abbancamenti dai rifiuti, la creazione di spiagge ecologiche, lo spostamento stagionale). Una delle maggiori perplessità è costituita dall’immersione in mare, per ora considerata come attività di smaltimento. Al contrario, si ritiene che la Posidonia accumulata potrebbe anche essere restituita al mare proprio in virtù del fatto che essa è composta principalmente dall’apparato fogliare della pianta marina che costituisce la prateria (definita appunto prateria madre) da cui ha origine il materiale spiaggiato (solo secondariamente costituito da fibre e da radici, detti rizomi). Numerosi sono i casi di ritrovamento di foglie morte nella colonna d’acqua litoranea o sul fondale sia a basse profondità che a profondità maggiori rispetto al limite inferiore (oltre i 40 metri) dove possono dare luogo a veri e propri letti di macerazione. Pertanto all’interno di Riserve Naturali, AMP, Parchi o altre aree dove la contaminazione è assente o contenuta, l’immersione in mare dovrebbe costituire una opzione priva di particolari criticità proprio perché finalizzata ad attuare operazioni antropiche che simulano processi naturali che si ripetono naturalmente ogni anno.

## Bibliografia

- [1] Bovina G., Cappucci S., Pallottini E., Silenzi S., Devoti S. (2006). *Le problematiche generali della gestione delle biomasse vegetali spiaggiate*. Atti del Convegno del CNR: “Monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura”: 107-114.
- [2] Cappucci S., Creo C., Cristallo V., De Simone C., Donati S., Russo M., Simoncelli I. (2015). *Multi-functional structure made with seagrass wrack: A patent of the GE.RI.N project*. Energia, Ambiente ed Innovazione, (DOI 10.12910/EAI2015-074), 4: 83-90.

[3] Cappucci, S.; Valentini, E.; Del Monte, M.; Paci, M.; Filipponi, F., and Taramelli, A. (2017). *Detection of natural and anthropic features on small islands*. In: Martinez, M.L.; Taramelli, A., and Silva, R. (eds.), *Coastal Resilience: Exploring the Many Challenges from Different Viewpoints*. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 77, pp. 73-87. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

# HYDROGEOLOGICAL RISKS AND DISASTERS PREVENTION AND MANAGEMENT

## GESTIONE SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI E CRESCITA BLU IN AMBITO COSTIERO E NEI MEDI E PICCOLI PORTI

La sessione tratta i seguenti temi: Governance e gestione sostenibile dei sedimenti; Osservatorio Coste; applicazione del DM 173/2016; difesa della costa; navigabilità porti e accessibilità passi marittimi; sedimenti come risorsa strategica; approcci e tecnologie innovative; interazioni con altri usi del mare e della costa; scenari climatici.

L'importanza della risorsa sedimenti per la difesa delle coste dall'erosione e dagli effetti del cambiamento climatico ha assunto sempre più negli ultimi anni un valore strategico in particolare modo per le aree costiere Mediterranee, fortemente vocate al turismo ma anche di assoluto valore ambientale e culturale e importante volano di crescita economica con ancora grandi potenzialità di sviluppo. La gestione delle risorse di sedimenti in questo contesto comporta la necessità di specifiche politiche di tutela e uso sostenibile delle fonti e delle riserve strategiche, così come indicato nelle raccomandazioni "EuroSION", nelle policy della "Carta di Bologna" e del suo Piano di Azione e nelle indicazioni delle "Linee Guida nazionali sull'erosione costiera". La natura delle diverse fonti in gioco pone la necessità di individuare adeguati sistemi gestionali, regolamentativi e autorizzativi atti a favorire l'utilizzo sostenibile delle varie risorse in modo complementare e sinergico ai fini di una più efficace gestione e difesa costiera, in linea con i principi del Protocollo GIZC per il Mediterraneo.

La sessione concorre a presentare lo stato di avanzamento dei lavori relativamente alla risorsa sedimenti svolto nell'ambito del Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera. Inoltre vuole contribuire a fare il punto sulle problematiche, da parte dei soggetti pubblici e privati, in merito agli aspetti applicativi e possibili miglioramenti delle norme vigenti, DM 173/2016, in attuazione del Dlgs 152/2006 art. 109, in funzione di azioni quanto più possibile efficaci di gestione e utilizzo delle diverse risorse ai fini dell'adattamento delle coste di gestione dei porti e dei corsi d'acqua, per una Crescita Blu. Una crescita sostenibile coniugata con gli obiettivi di sicurezza dei territori e di protezione dell'ambiente costiero.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, TNEC, ISPRA, GNRAC**

### **Presidenti di sessione:**

- Leonardo Damiani, *GNRAC-POLIBA*
- Paolo Lupino, *TNEC R. Lazio*
- Roberto Montanari, *TNEC R. Emilia-Romagna*



# Uso sostenibile delle risorse sedimentarie marine per la difesa dei litorali dall'erosione

Paolo Lupino palupino@regione.lazio.it – Regione Lazio

## Riassunto

L'instabilità dei litorali sabbiosi rappresenta uno dei rischi più rilevanti per l'impatto sulle attività antropiche e sull'intero ecosistema costiero. La mancanza di un approccio razionale al fenomeno è in profondo contrasto con gli orientamenti già assodati nell'ambito delle più avanzate politiche europee ed internazionali. A tali esperienze si collegano le "Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici" elaborate MATTM. In tale contesto è quantomai necessario giungere ad un sostenibile impiego dei sedimenti costieri ed in particolare alla gestione pianificata dei Depositi Sedimentari Marini Relitti (DSMR) che rappresentano una risorsa strategica per fronteggiare efficacemente i fenomeni erosivi e gli effetti dei cambiamenti climatici

## Summary

Sandy littorals instability represents one of the more relevant risks for its impact on anthropic activities and the whole coastal ecosystem. The lack of a rational approach to that phenomena is in deep contrast with the already consolidated orientations adopted by the more advanced European and international policies. The "National Guidelines for the coastal erosion and climate change effects protection" issued by the Italian MATTM, are well related to these orientations. According to them, it is crucial to achieve a sustainable use of coastal sediments and especially a planned management of Relict Marine Sedimentary Deposits (RMSD) which are a strategic resource to face indeed medium and long-term erosion phenomena and climate change effects as well.

## 1. Introduzione

La centralità della risorsa sabbia nella pianificazione della difesa dei litorali, per quanto ovvia, non è assolutamente scontata nella maggior parte degli interventi che vengono realizzati soprattutto in Italia.

Una pianificazione in grado di soddisfare il mantenimento della linea di costa rispetto a fenomeni di erosione, subsidenza, sea level rise, ecc., deve necessariamente essere riferita in forma prioritaria alla risorsa "sabbia" seguendo alcuni passaggi fondamentali che, parafrasando il ciclo di Deming (Plan, Do, Check, Act), consentano la scelta della soluzione ottimale (che in ultima



Fig. 1 – Ciclo di Deming applicato alla pianificazione dell'adattamento delle coste ai fenomeni erosivi

analisi può confermare o scartare l'impiego della risorsa "sabbia") e che possono essere sinteticamente rappresentati come in Fig. 1 dove sono identificabili due cicli annidati: quello interno, riferito al confronto tra Stato Attuale, Fabbisogno e Risorse, per giungere alla Pianificazione (Plan) ed il secondo esterno riferito alle fasi di Realizzazione (Do) e Monitoraggio (Check) per giungere alla rielaborazione iterativa degli elementi di pianificazione (Act).

Il presente contributo che si propone di delineare un "percorso" soprattutto riferito alle competenze delle pubbliche Amministrazioni che, per quanto possibile completo e verosimile, sia in grado di identificare quegli elementi che dovranno essere indagati con maggior dettaglio per giungere ad una pianificazione territoriale di carattere pienamente operativo.

Il testo del presente articolo e gli esempi presi come spunto a scopo indicativo, sono derivati dallo studio realizzato dal RTI CNR-ISMAR/CONISMA/SOPROMAR per conto dell'Autorità di Bacino della Puglia al quale lo scrivente ha collaborato per conto del CONISMA.

## 2. Relazione

### 2.1. Caratterizzazione della Risorsa di sedimenti rappresentata dai DSMR

Una prima parte della trattazione relativa ad una metodologia per la stima a scala regionale dei fabbisogni di sedimenti per il mantenimento dell'equilibrio delle coste sabbiose, è stata già oggetto di pubblicazione.

Nella trattazione che segue si affronta il problema della gestione della risorsa dei sedimenti in relazione ad un determinato quadro dei fabbisogni con una particolare attenzione rivolta ai sedimenti rintracciati e caratterizzati nei Depositi Sedimentari Marini Relitti (DSMR) individuati nell'ambito dello studio sopra richiamato.

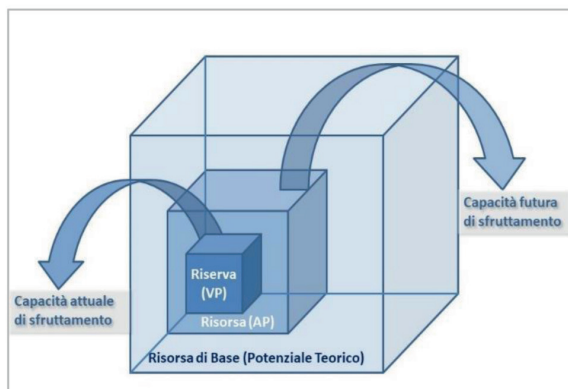
Prima di affrontare l'analisi delle caratteristiche quantitative e qualitative dei DSMR individuati sulla piattaforma continentale pugliese, è opportuno svolgere alcune considerazioni sulle strategie d'impiego di una risorsa che, per sua natura, è del tipo *non rinnovabile*.

Occorre osservare che il materiale prelevato dai DSMR per il rimpascimento non subisce di fatto alcuna trasformazione irreversibile significativa e viene semplicemente collocato in una diversa zona marina e ad una diversa quota batimetrica. In ogni caso è opportuno, anche per gli scenari a lungo termine, considerare la risorsa rintracciabile nei DSMR come non rinnovabile e quindi quantitativamente limitata.

La tematica dell'uso strategico delle risorse non rinnovabili rappresenta una materia molto discussa soprattutto dagli economisti ed è noto lo scalpore che storiche pubblicazioni provocarono su quegli che furono definiti i

*limiti dello sviluppo* che prefiguravano l'esaurimento delle risorse e quindi la crisi del modello industriale contemporaneo.

Senza voler entrare in un contesto particolarmente complesso, si mette in evidenza che l'aspetto più rilevante della risorsa sedimento in questa particolare circostanza, ovvero quando l'uso della risorsa non è finalizzato a fini prettamente commerciali/economici ma più ad obiettivi di carattere ambientale (conservazione habitat) e sociale (sicurezza degli insediamenti costieri), risulta più associabile alla



**Fig. 2.** – Relazione tra Risorsa di Base (Potenzialità Teorica), Risorsa (Potenzialità Accessibile) e Riserva (Potenzialità Verificata e Utile)

sua disponibilità (durata della risorsa rispetto alle esigenze di protezione delle coste) che al prezzo/costo di estrazione (valore economico della risorsa nel mercato).

Per introdurre il concetto di *disponibilità* di una risorsa, nell'ambito delle trattazioni economiche si distinguono le seguenti definizioni: **Risorsa di Base, Risorsa e Riserva** (Fig. 2).

Per **Risorsa di Base** si intende la *disponibilità totale* del materiale nell'ambito geografico di interesse (ad es.: piattaforma continentale), per **Risorsa** si intende la *disponibilità accessibile* allo sfruttamento (attualmente ed in futuro) e per **Riserva** la *disponibilità attualmente verificata e tecnicamente sfruttabile*. La differenziazione operata con queste definizioni si basa quindi sul grado di sicurezza riguardo all'esistenza e alla consistenza della risorsa nonché sulle reali possibilità di sfruttamento in relazione alla tecnologia ed alle condizioni economiche generali. Le distinzioni operate in sede di Linee Guida Nazionali per quanto riguarda la caratterizzazione quantitativa dei DSMR (potenzialità), possono essere equiparate con buona approssimazione alle definizioni sopra riportate nel seguente modo:

**Potenzialità Teorica** = **Risorse di Base**

**Potenzialità Accessibile** = **Risorse**

**Potenzialità Verificata e Utile** = **Riserve**

Nel caso delle risorse non rinnovabili le alternative che si pongono sono di vario ordine:

- NON USO (non usare la risorsa in quanto ritenuta insostituibile e limitata e quindi da conservare);
- USO VINCOLATO NELLA QUANTITA' (vincolarne l'uso tutelando una determinata quantità dello stock disponibile considerata ottimale o desiderabile o irrinunciabile);
- USO LIBERO MA CONTROLLATO NEL TEMPO (non vincolare l'uso e sfruttare la risorsa fino al suo esaurimento con una determinata intensità e quindi in un determinato tempo di esaurimento).

Ad interessare gli economisti è stata soprattutto quest'ultima questione, ossia la scelta del tasso ottimale di utilizzo relativo a una risorsa definita quantitativamente, in un contesto di proprietà privata o uso esclusivo e senza vincoli, in assenza di incertezza e di progresso tecnologico. Occorre aggiungere che l'analisi si è prevalentemente riferita a comportamenti di carattere microeconomico, ipotizzando imprese che massimizzano il profitto sia in concorrenza perfetta che in monopolio.

Per esprimere una valutazione sull'adeguatezza delle riserve di minerali in genere si calcola il rapporto tra le entità accertate ed il consumo annuo. Tale rapporto evidenzia il numero di anni durante i quali queste materie risulteranno disponibili, ma occorre tener conto che è un indice molto cautelativo in quanto destinato a variare nel tempo.

*“Guardando alle serie storiche, si nota come questi rapporti non solo non siano diminuiti, ma addirittura considerevolmente aumentati. Questo andamento è spiegato dal fatto che le riserve sono una variabile incerta, la cui entità dipende da nuove scoperte, dal progresso tecnico o da cambiamenti sia nel prezzo della risorsa sia dei fattori richiesti nel processo di sfruttamento”.*

Inoltre *“poiché l'accertamento delle riserve è un'operazione molto costosa, nella prassi mineraria corrente, viene mantenuta al livello minimo richiesto per avviare un'attività o garantire il proseguimento di quelle in corso”.*

Minerale	RS/C anni	RO/C anni	RB/C annix10 <sup>6</sup>
carbone	2.736	5.119	na
rame	45	340	242
ferro	117	2.657	1.815
fosforo	481	1.601	870
molibdeno	65	630	422
piombo	10	162	85
zinco	21	618	409
zolfo	30	6.897	na
uranio	50	8.455	1.855
alluminio	23	68.066	38.500
oro	9	102	57

**Tab.1** – Disponibilità di alcuni minerali. RS= riserve, RO = risorse, RB = risorse di base, C = consumi annui. Fonte: Geological Survey (1973), in Statistical Abstract.



Tale prassi non è adottabile in un contesto le cui componenti ambientali e sociali prevalgono e quindi occorre perseguire una politica per individuare le riserve necessarie per far fronte ai fenomeni fisici in corso (erosione, subsidenza, *sea level rise*, ecc.) e per garantire comunque, con adeguati margini cautelativi, la disponibilità della risorsa a lungo termine.

A titolo di esempio si riportano, per alcuni minerali di interesse industriale (Tab.1), i caratteristici rapporti tra disponibilità e consumi annui, così definiti:

– RS/C = Riserve/Consumo annuale

– RO/C = Risorse/Consumo annuale

– RB/C = Risorse di base/Consumo annuale

Nell'ambito dei minerali sfruttati economicamente, la disponibilità di risorse passa da qualche decennio a svariati milioni di anni in relazione agli indici utilizzati.

Evidentemente il riferimento alle Risorse di base (RB/C) è molto ottimistico perché si basa sull'ipotesi irrealistica che tutta la RISORSA DI BASE possa essere estratta.

In molti casi viene adottato come più significativo il rapporto tra le RISORSE e il consumo annuo (RO/C). Questo indice rimane tuttavia incerto perché necessita di stime sui prezzi, sulle nuove RISORSE rintracciabili e sulle tecnologie del futuro.

In mancanza di elaborazioni specifiche per quanto riguarda il possibile impiego della risorsa costituita dai sedimenti presenti nei DSMR, è abbastanza logico attenersi a dei criteri di sostenibilità cautelativi, in considerazione del fatto che i rischi connessi a sensibili variazioni morfologiche a lungo termine della costa sono enormi ed è bene quindi impostare da subito una prudenziale politica di tutela della risorsa.

Un criterio di prima analisi può essere quello di vincolare l'uso dei DSMR non riducendo lo stock al di sotto del 50% della RISERVA con riferimento ad uno scenario a lungo termine (ad esempio 50 anni).

Le RISERVE di sedimenti risulterebbero quindi ancora disponibili nella misura del 50% fra 50 anni, il che corrisponde a stabilire che l'indice di esaurimento  $I_E$  (tempo di esaurimento della riserva) non deve mai risultare inferiore a 100 anni (a consumo annuale costante).

Una strategia impostata su tale criterio comporterebbe, nel caso in cui il consumo previsto (fabbisogno di sedimenti) tendesse ad assumere valori per cui l'indice di esaurimento di un determinato DSMR giungesse alla soglia stabilita di 100 anni, il dover ricorrere a risorse alternative per soddisfare gli ulteriori fabbisogni (un altro DSMR, depositi di sedimenti costieri, sedimenti da invasi artificiali, ecc.) ovvero rintracciare nuove riserve di sedimenti nell'ambito dello stesso DSMR considerato (necessità di nuove ricerche).

Nei paragrafi successivi le potenzialità dei singoli DSMR già rintracciati verranno valutate in relazione ai possibili consumi (fabbisogni) ponendo quindi un limite per un loro impiego assumendo come valore soglia  $I_{E0}=100$  facendo riferimento alle "Riserve" ovvero a quelle che sono state definite *Potenzialità verificate ed utili*.

Per questo genere di verifica si adatterà la formula:

$$I_E = (R - F_R) / F_A > I_{E0} = 100$$

Dove

R = Riserva (Potenzialità Verificata ed Utile  $Mm^3$ );  $F_R$  = Fabbisogno ricostruttivo (una tantum  $Mm^3$ );  $F_A$  = Fabbisogno annuale ( $Mm^3/anno$ )

## 2.2. I DSMR della piattaforma continentale pugliese: verifica della Riserva globale

Dalle attività di ricerca e caratterizzazione eseguite nel contesto del già citato Piano dell'AdB della Puglia e di altre attività, sono stati identificati una serie di depositi marini (17) di cui è stata valutata la loro Potenzialità Teorica (Risorsa di base RB) pari a 7,1 miliardi di  $m^3$ .

La Potenzialità Accessibile (Risorsa RO) è stata valutata per 13 di essi (864 milioni di  $m^3$ ) mentre la Potenzialità Verificata e Utile (Riserva RS) si è potuta valutare solo per 7 di essi (150 milioni di  $m^3$ ).



Come stabilito nei precedenti paragrafi, la **Riserva** di sedimenti può essere equiparata alla **Potenzialità Verificata ed Utile** ovvero a quella quantità di sedimento attualmente coltivabile e sfruttabile per i ripascimenti. Come già accennato, tale **Riserva** è con tutta probabilità sottostimata di un fattore variabile tra 2 e 4 in relazione alla possibilità di rintracciare altre disponibilità negli altri siti o tramite l'approfondimento della conoscenza dei 7 siti più

Sigla	Nome DSMR e localizzazione di massima	Potenzialità teorica Mm3	Potenzialità accessibile Mm3	Potenzialità verificata e utile Mm3	
1	Dep_A1	Largo del Gargano 1 N	1.072,00	62,00	
		Largo del Gargano 1 S			
		Largo del Gargano 2		25,00	3,50
2	Dep_A2	Largo del Gargano	1.845,00	111,00	26,60
3	Dep_B5	Largo di Otranto Nord	258,00	173,00	61,00
		Largo di Otranto Sud			
		Largo di Otranto Centro			
		Largo di Otranto Secca			
4	DEP_C_A	Largo di Manduria	132,00	132,00	10,67
5	DEP_C_B	Largo di Gallipoli	45,00	45,00	6,10
6	DEP_C_C	Largo di Gallipoli	28,07	28,07	9,10
7	DEP_C_D	Largo di Gallipoli	10,00	10,00	2,50
			<b>7.115,07</b>	<b>864,07</b>	<b>149,97</b>

**Tab. 2 – Potenzialità dei DSMR sulla piattaforma continentale della Regione Puglia**

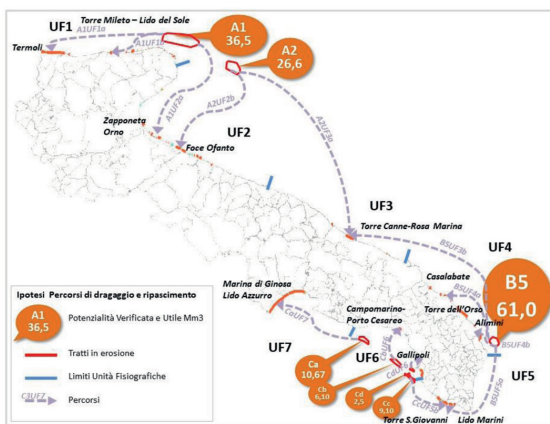
indagati ovvero per la possibilità, in un prossimo futuro, di poter coltivare convenientemente giacimenti a profondità ancora più elevate e/o con coperture pelitiche più importanti. Nel riepilogo di cui alla Tab.2, sono state riportate le potenzialità dei 7 DSMR indagati. Sono state omesse in questa sede le considerazioni di compatibilità granulometrica, colorimetrica e mineralogica tra sedimenti dei DSMR e sedimenti delle spiagge da alimentare, esclusivamente per ragioni di brevità.

A livello di una prima verifica globale sulla capacità della **Riserva** di sedimenti attualmente rintracciata sulla piattaforma continentale pugliese (149,97 Mm<sup>3</sup>) rispetto al consumo identificato con il Fabbisogno lordo calcolato in precedenza (Lupino P. 2018), si ottiene un indice  $I_E$  di esaurimento come segue:

$$\begin{aligned}
 \text{Riserva} &= 149,97 \text{ Mm}^3 \\
 \text{Fabbisogno annuale massimo } F_{\text{Amax}} &= 0,499 \text{ Mm}^3/\text{anno} \\
 \text{Fabbisogno ricostruttivo (una tantum) massimo } F_{\text{Rmax}} &= 5,4 \text{ Mm}^3
 \end{aligned}$$

$$I_E = (R_G - F_{\text{Rmax}}) / F_{\text{Amax}} = (149,97 - 5,4) / 0,499 = 290 > 100$$

In termini globali si ottiene quindi che la condizione  $I_E > 100$  viene soddisfatta anche con la stima dei massimi fabbisogni. Occorrono ovviamente ulteriori passaggi per poter affermare che le Riserve rintracciate sulla piattaforma continentale pugliese siano sufficienti, sulla base delle ipotesi semplificatrici assunte, a soddisfare i fabbisogni di sedimenti per i ripascimenti delle spiagge (Fig.3). In particolare occorrerà verificare gli indici di esaurimento per ciascun DSMR caratterizzato nonché le compatibilità granulometriche, mineralogiche e cromatiche dei sedimenti di apporto con quelli originari.



**Fig. 3 – Ipotesi di distribuzione dei sedimenti dei DSMR sulle spiagge pugliesi**

### 3. Conclusioni

La pianificazione sistematica delle risorse sedimentarie marine ed in particolare di quelle rintracciate/rintracciabili nei Depositi Sedimentari Marini, è destinata a porsi come una esigenza strategica rispetto alla necessità di far fronte a fenomeni erosivi irreversibili.

La difesa del suolo, gli sbarramenti lungo i corsi d'acqua per la produzione di energia idroelettrica o per esigenze idriche o per la laminazione delle piene, sono tutte scelte irrinunciabili rispetto al modello di sviluppo adottato che comportano deficit strutturali di trasporto solido e quindi inevitabili effetti erosivi sui litorali. A questi effetti si aggiungono quelli del sea level rising che comportano ulteriori interventi per il mantenimento degli attuali profili costieri.

Un primo passo per la comprensione del fenomeno da affrontare è quindi quello di valutare il Fabbisogno Lordo complessivo di sedimenti per mantenere lo status quo. Alcune considerazioni generali rispetto alla valutazione del Fabbisogno Lordo di sedimenti a livello regionale, sono state sviluppate in una precedente pubblicazione<sup>3</sup> a cui si rimanda per approfondimenti. Un secondo passo è la valutazione della Risorsa di sedimenti che, una volta rintracciati, quantificati e caratterizzati, devono essere gestiti in forma sostenibile al fine di garantire un loro impiego compatibile con le esigenze attuali e future, tenendo conto che si tratta di risorse non rinnovabili e che sono destinate a ricostituire habitat specifici e morfologie costiere dinamiche.

A tale scopo è necessario fissare dei criteri per lo sfruttamento di queste risorse ed in questa trattazione vengono proposti alcuni criteri tra cui un Indice di Esaurimento ( $I_E$ ) per condizionare le quantità di sedimenti prelevabili da DSMR e per gestire la distribuzione degli stessi rispetto alla distribuzione dei Fabbisogni di sedimenti sui litorali in erosione.

Da quanto illustrato emerge la necessità di un'attività di gestione pianificata dei DSMR da parte delle autorità pubbliche preposte ed in particolare delle Regioni costiere a cui compete l'autorizzazione alla movimentazione dei sedimenti in ambienti marini (art.109 del DLgs 52/2006).

### Bibliografia

- 1 Piano operativo per l'individuazione di giacimenti di sabbia sottomarini utilizzabili per il ripascimento artificiale dei litorali sabbiosi in erosione della regione– Regione Puglia D.G.R. N. 955 DEL 13.05.2013 - RAPPORTO FASE 5 – Art. 6 Analisi Costi-Benefici di coltivazione mineraria – aprile 2017
- 2 Lupino P., 2018. *Strategie e metodi per una gestione sostenibile dell'erosione delle spiagge nella regione Puglia: la valutazione dei fabbisogni*. Gazzetta ambiente - numero 1 - anno 2018
- 3 Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W.III, 1972. *The Limits to Growth*. Potomac Associates Book 1972
- 4 Mureddu G., 1997 - *Risorse naturali*. Enciclopedia delle scienze sociali Treccani
- 5 Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici - TAVOLO NAZIONALE SULL'EROSIONE COSTIERA MATTM-REGIONI - 2016
- 6 Pellizzari F., 1985. *La teoria economica delle risorse naturali*. Franco Angeli, Milano
- 7 Bilardo U., Mureddu G., Piga P., 1984. *Geopolitica delle materie prime minerarie*. Franco Angeli, Milano
- 8 Nordhaus W. D., 1974. *Resources as a Constraint on Growth*. American Economic Review n.2, 1974

# Aspetti ambientali per la caratterizzazione dei sedimenti ai fini di ripascimento

*Daniela Paganelli [daniela.paganelli@isprambiente.it](mailto:daniela.paganelli@isprambiente.it), Paola La Valle, Monica Targusi*  
ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sull'Ambiente), Roma, Italia

## Riassunto

*L'erosione costiera è il risultato diretto e indiretto di alterazioni del ciclo dei sedimenti, determinate da cause naturali e soprattutto antropiche. Il ridotto apporto dei sedimenti al mare e l'irrigidimento dei litorali hanno determinato importanti fenomeni di instabilità degli arenili, con progressivo arretramento delle spiagge; oggi si stima che in Italia almeno un quarto delle coste basse sia in erosione. Tra le possibili strategie adottabili per combattere tale fenomeno è andato sempre più affermandosi la pratica del ripascimento. Questa pratica ha assunto nel corso degli anni un ruolo strategico a scala nazionale, tanto da essere trattata all'interno del Tavolo nazionale sull'erosione costiera (TNEC), istituito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM). In questo lavoro sono state analizzate le potenziali fonti di sedimento da utilizzare ai fini di ripascimento, con particolare riferimento agli aspetti ambientali e normativi legati al loro sfruttamento.*

## Summary

*Coastal erosion is the direct and indirect result of alterations in the sediment cycle, caused by natural and above all anthropogenic causes. The reduced supply of sediments to the sea and stiffening of the coasts have induced significant phenomena of beach instability, with gradual retreat of the beaches- Today it is estimated that in Italy about a quarter of the low coasts are in erosion. Among the possible strategies that can be used to combat this phenomenon, the practice of beach nourishment has become increasingly established.. Over the last years, this topic has assumed a strategic role at national scale, so much it has been addressed within the Italian National Board on coastal erosion (TNEC), established by the Ministry for Environment, Land and Sea Protection (MATTM). In this paper w the potential sediment sources to be used for beach nourishment were analyzed, focusing the attention on the environmental and regulatory aspects related to their exploitation.*

## 1. Introduzione

I fenomeni correlati all'arretramento della linea di riva costituiscono oggi un grave problema non solo per la perdita della "risorsa spiaggia", ma anche per la perdita di paesaggio naturale, con possibili ripercussioni su habitat e specie sensibili. Si stima che i fenomeni erosivi colpiscono il 15% delle coste europee (circa 15.000 km su un totale di 101.000 km di coste) e che ogni anno si perdano circa 15 km<sup>2</sup> di spiagge, mentre in Italia si valuta che circa un quarto delle coste basse sia in arretramento [1]. Storicamente per recuperare e/o proteggere i litorali in erosione le tecniche utilizzate prevedevano principalmente la realizzazione di opere rigide; solo in tempi più recenti si è affermata la pratica del ripascimento, morbido o protetto, realiz-

zato utilizzando sabbie di diversa provenienza. La tecnica del ripascimento ha dimostrato di essere un metodo efficace e *environmental friendly* per la protezione delle spiagge ed è oggi considerato uno dei principali strumenti per la gestione integrata delle zone costiere [2]. La ricerca di possibili fonti di sedimento da utilizzare per il ripascimento è diventata un tema chiave di interesse nazionale; in Italia tale tematica è stata affrontata all'interno delle "Linee guida nazionali per la difesa della costa dall'erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici" realizzate nell'ambito dei lavori svolti dal TNEC, che insieme al MATTM, ha visto coinvolte le Regioni costiere, le Autorità di Distretto, ISPRA e la comunità scientifica nazionale [3]. In questo lavoro vengono presentate le potenziali fonti di sedimento da destinare al ripascimento dei litorali e per ciascuna fonte vengono analizzati i principali aspetti ambientali e normativi legati al loro sfruttamento.

## 2. Fonti di sedimento

In generale, i tipi di sedimento che possono essere utilizzati ai fini di ripascimento e direttamente disponibili per le Autorità competenti ai fini della gestione della fascia costiera, sono riferibili a 4 gruppi principali: depositi offshore, depositi litoranei, depositi lacustri (invasi artificiali) e terre rocce da scavo [3]. Il primo gruppo include i depositi di sabbie relitte, depositi sedimentari non diagenizzati situati a profondità variabile lungo la piattaforma continentale. Questi depositi possono affiorare sul fondo del mare o essere ricoperti da uno strato pelitico di deposizione recente e sono generalmente caratterizzati da grandi volumi di sedimento, con caratteristiche analoghe a quelle delle spiagge attuali. Grazie alla loro localizzazione (al largo) e alla profondità cui sono normalmente rinvenuti, sono generalmente privi di contaminazione e la loro movimentazione non interferisce con la dinamica costiera. In Italia, dal 1992 al 2017, sono stati dragati circa 19 milioni di m<sup>3</sup> di sedimenti provenienti da depositi offshore, mentre è stata stimata una disponibilità, sull'intera piattaforma continentale italiana, di circa 930 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia potenzialmente utilizzabile a fini di ripascimento [3]. Al secondo gruppo appartengono sedimenti anche molto diversi fra loro che hanno in comune l'ambiente di deposizione, prettamente costiero. Essi includono le barre di avanspiaggia e quelle sabbiose presenti in corrispondenza di foci fluviali, lagune e bocche lagunari nonché le barre sommerse e i depositi emersi e sommersi che si generano a ridosso di opere aggettanti (moli portuali di sopraflutto, foci fluviali armate ecc.). Appartengono a questo gruppo anche i sedimenti provenienti dal dragaggio di porti. Data la loro localizzazione in aree a elevata antropizzazione, tali sedimenti possono essere spesso interessati da significativi fenomeni di contaminazione. Attualmente in Italia sono dragati ogni anno circa 1.2 milioni di m<sup>3</sup> di sedimenti provenienti da depositi costieri [3]. Al terzo gruppo appartengono i sedimenti accumulati all'interno dei bacini artificiali: le opere di sbarramento infatti oltre a trattenere e accumulare l'acqua per scopi diversi (irriguo, idroelettrico ecc.) bloccano anche il trasporto di sedimenti, determinandone l'accumulo all'interno dell'invaso. La rimozione del sedimento accumulato, prevista nell'ambito dei normali processi di gestione dell'invaso, può avvenire sia mediante dragaggio sia mediante fluitazione e/o sghiaimento (rilascio del sedimento a valle lungo il corso d'acqua). Attualmente in Italia l'uso di questi materiali a fini di ripascimento non ha ancora trovato applicazione, sebbene esistano delle ipotesi di lavoro e progetti di sfruttamento ancora in fase non operativa. Tuttavia, elaborando i dati relativi agli interrimenti delle grandi dighe, è stato stimato che in Italia sarebbero potenzialmente disponibili 0.8 milioni di m<sup>3</sup>/a di sedimenti, valore ottenuto calcolando come aliquota utile al ripascimento lo 0.3% del sedimento totale [3]. L'ultimo gruppo comprende le terre e le rocce da scavo, ovvero i materiali che si ottengono come sottoprodotto di opere e/o attività specifiche, ai sensi del DPR 120/17. In Italia solo alcune regioni costiere (come Emilia Romagna, Liguria, Toscana e Veneto) hanno normato l'utiliz-

zo questi materiali per interventi di ripascimento. I dati forniti da tali Regioni permettono di stimare una disponibilità su breve periodo pari a 0,18 milioni di m<sup>3</sup>/a.

### 3. Aspetti ambientali

È noto che la natura e l'entità degli effetti generati dal dragaggio dipendono strettamente dalla qualità del sedimento da movimentare, dalle caratteristiche ambientali dell'area dragata, dai quantitativi e dalla natura del materiale movimentato, nonché dalle tecniche utilizzate per la movimentazione (ad esempio mezzi impiegati e sistemi di escavazione adottati) [4, 5, 6].

Poiché la movimentazione di sedimenti in ambiente acqueo interessa la colonna d'acqua, il fondo e il biota, per valutare i possibili effetti sull'ambiente è necessario indagare:

- la presenza di contaminanti nei sedimenti. La qualità chimica del sedimento rappresenta l'aspetto centrale della valutazione ambientale, in quanto per il ripascimento dei litorali in erosione possono essere utilizzati solo sedimenti di buona qualità. Durante il processo di dragaggio, infatti, i contaminanti eventualmente presenti nel sedimento possono essere rilasciati lungo la colonna d'acqua ed essere reimmessi nel ciclo del particolato [7], con possibili effetti sulle risorse biologiche e sulla catena alimentare;

- le caratteristiche granulometriche dei sedimenti da dragare, con particolare riferimento all'incidenza della frazione fine. Concentrazioni elevate di sedimento fine possono indurre un aumento significativo di solidi in sospensione lungo la colonna d'acqua durante il dragaggio, con conseguente aumento della torbidità e diminuzione della penetrazione della luce a danno degli organismi bentonici, planctonici e pesci. Il rilascio di sedimenti lungo la colonna d'acqua può portare alla formazione di una *plume* di torbida che, sebbene temporanea, può alterare le caratteristiche idrologiche naturali dell'area dragata e delle aree limitrofe. L'estensione e la durata della *plume* dipendono dal volume e dalla natura del sedimento dragato, dalle caratteristiche tecniche della draga e dalle condizioni idrologiche e idrodinamiche a scala locale [8]. La severità degli effetti indotti sull'ambiente dipende non solo dall'intensità dei cambiamenti lungo la colonna d'acqua ma anche dalla loro durata;

- le caratteristiche morfologiche e sedimentologiche del fondo. In ambito marino le attività di dragaggio possono indurre cambiamenti rilevanti sulla morfologia e sedimentologia del fondo con la formazione di fosse e depressioni e variazioni delle caratteristiche geotecniche e tessiturali dei sedimenti affioranti sul fondo marino [8, 9]. Tali depressioni possono scomparire nello spazio di alcuni anni o essere ancora visibili dieci anni dopo l'interruzione del dragaggio [10, 11]. Inoltre i dragaggi di sabbie in ambiente litoraneo possono indurre effetti non trascurabili sulla dinamica costiera, che possono aumentare i fenomeni di erosione in situ e nelle aree adiacenti [12, 13];

- i popolamenti bentonici e ittici demersali. Gli effetti principali generati dal dragaggio sono associati ai fenomeni di defaunazione delle comunità bentoniche, per la rimozione diretta del sedimento nell'area dragata; nelle zone limitrofe sono attesi anche fenomeni di soffocamento e/o seppellimento per l'aumento delle concentrazioni di solido sospeso e della sua rideposizione [14, 9]. La diminuzione della luce può inoltre influenzare sia il comportamento predatorio sia quello migratorio dei pesci [15]. L'aumento della torbidità, con associata diminuzione della penetrazione della luce, genera inoltre effetti importanti sugli organismi autotrofi, soprattutto durante alcune fasi del ciclo vitale. Particolare attenzione deve essere prestata in presenza di *habitat* e specie protetti (*sensu* Direttiva Habitat UE), di specie sensibili di flora e fauna e di specie di interesse commerciale (come ad esempio pesci e molluschi), il cui danneggiamento può avere importanti ripercussioni socio economiche soprattutto a scala locale. Si sottolinea infine che per quanto riguarda le terre e rocce da scavo, trattandosi di sottoprodotti di attività produttive e quindi non interessati da processi di estrazione, deve essere effettuata solo la valutazione della qualità chimica.

#### 4. Qualità del sedimento e principali riferimenti normativi

In Italia ai fini di ripascimento possono essere utilizzati solo sedimenti di buona qualità, privi cioè di contaminazione; la tossicità di un sedimento e gli effetti ecologici avversi che questi possono avere dipendono, infatti, dalle sostanze chimiche presenti al suo interno. Per quanto riguarda i valori chimici di riferimento da utilizzare per la valutazione della qualità dei sedimenti, la situazione è piuttosto complessa e deve essere effettuata, caso per caso, in relazione alle diverse fonti di sedimento utilizzate, in conformità con le disposizioni del D. Lgs 152/2006:

– depositi offshore: in Italia non esistono leggi specifiche. Tuttavia, sono stati realizzati protocolli specifici di monitoraggio ambientale [11, 14], oggi adottati come strumento di riferimento tecnico anche da alcune regioni italiane (Veneto e Lazio). Per quanto riguarda la valutazione della qualità chimica dei sedimenti, si propone di fare riferimento agli standard di qualità ambientale riportati per i sedimenti marino-costieri nel D. Lgs 152/2006. Laddove questi valori vengono superati, il protocollo suggerisce indagini specifiche per l'individuazione di eventuali anomalie geochimiche (province geochimiche).

– depositi litoranei: la normativa da seguire, con specifico riferimento alla qualità chimica del sedimento da dragare, comprende il D. Lgs 152/2006 e il D. Lgs 172/2015. La valutazione della qualità deve essere effettuata in conformità con le disposizioni del D. Lgs 173/2016, che prevede metodi e criteri per la caratterizzazione, la classificazione e la gestione dei sedimenti. In particolare, il decreto identifica specifiche opzioni di gestione dei sedimenti dragati, incluso il caso del ripascimento, applicando un approccio chimico-ecotossicologico integrato. La classificazione chimica si basa sul confronto tra le concentrazioni misurate nei sedimenti e quelle di riferimento, mentre quella ecotossicologica viene effettuata applicando una batteria di saggi biologici.

– depositi lacustri: non sono disponibili norme e/o regolamenti che trattino il tema della caratterizzazione e classificazione dei sedimenti lacustri ai fini di ripascimento. Il dragaggio dei sedimenti lacustri può comportare costi elevati, pertanto viene impiegato solamente laddove esistono vincoli ecologici-ambientali importanti a valle dello sbarramento. L'asportazione meccanica di sedimenti sicuramente si presenta come una scelta di minor impatto a carico del corso d'acqua rispetto alle operazioni di fluitazione e sghiaimento, ma apre scenari diversi connessi alla caratterizzazione e classificazione dei materiali, nonché di mancato apporto di sedimenti nella dinamica fluviale e costiera [16]. In letteratura sono riportate alcune ipotesi per la definizione degli standard di qualità dei sedimenti fluviali e lacustri e per la loro caratterizzazione [17]. Inoltre, la letteratura riporta anche alcune ipotesi sul possibile uso di sedimenti provenienti da serbatoi artificiali per l'alimentazione delle spiagge [18, 19].

– terre e rocce da scavo: non esistono norme di riferimento nazionali per l'uso di questi materiali a fini di ripascimento. A livello regionale, alcune esperienze sono state condotte dalle Regioni Liguria, Emilia-Romagna, Veneto e Toscana. In particolare, la Liguria ha identificato le caratteristiche che devono possedere tali materiali per poter essere utilizzati ai fini di ripascimento (DGR 1423/2013) e la Regione Toscana regola con una legge regionale (LR n° 3/2015) l'uso di "ravaneti" (accumuli di ghiaia e ciottoli provenienti dalle miniere) per l'alimentazione delle spiagge. Infine, il Comune di Riccione (in Emilia-Romagna) impone di conferire all'Amministrazione terreni e rocce da scavo idonei al ripascimento.

#### Bibliografia

[1] Sutherland J. (2010). Guidelines on beach monitoring for coastal erosion. Concepts and Science for Coastal Erosion Management - CONSCIENCE. Deliverable D15. <http://www.conscience-eu.net/documents>.

[2] Speybroeck, J., Bonte, D., Courtens, W., Gheschiere, T., Grootaert, P., Maelfait, J.-P., Mathys, M., Provoost, S., Sabbe, K., Stienen, E.W.M., Van Lancker, V., Vincx, M., Degraer, S. (2006). Beach nourishment: a review of the state of the art.



shment: An ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 419-435.

[3] **MATTM-Regioni** (2018). Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera. MATTM-Regioni con il Coordinamento tecnico di ISPRA, 304 pp.

[4] **OSPAR** (2014). Guidelines for the Management of Dredged Material OSPAR Commission (Agreement 2014-06): 39 pp.

[5] **McCook L.J., Schaffelke, B., Apte S.C., Brinkman R., Brodie J., Erfemeijer P., Eyre B., Hoogerwerf F., Irvine I., Jones R., King B., Marsh H., Masini R., Morton R., Pitcher R. Rasheed, M., Sheaves M., Symonds A., Warne M.St.J.** (2015). Synthesis of current knowledge of the biophysical impacts of dredging and disposal on the Great Barrier Reef: Report of an Independent Panel of Experts, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville.

[6] **Spearman J.** (2015). A review of the impacts of sediment dispersion from aggregate dredging. *Marine Pollution Bulletin* (Online): 1879-3363.

[7] **Kim E.H., Mason R.P., Porter E.T., Soulen H.L.** (2004). The effect of resuspension on the fate of total mercury and methyl mercury in a shallow estuarine ecosystem: a mesocosm study. *Marine Chemistry*, 86: 121-131.

[8] **Hitchcock D.R., Bell S.** (2004). Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research*, 20(1): 101-114.

[9] **Tillin H.M., Houghton A.J., Saunders J.E., Hull S.C.** (2011). Direct and Indirect impacts of marine Aggregate Dredging. Marine ALSF Science Monograph Series, 1. MEPF 10/PI44. Edited by R.C. Newell and J. Measures: 41 pp.

[10] **Uscinowicz S., Jegliński W., Miotk- Szpiganowicz G., Nowak J., Pczek U., Przedziecki P., Szeffler K., Porba G.** (2014). Impact of sand extraction from the bottom of the southern Baltic Sea on the relief and sediments of the seabed. *Oceanologia* 56, 4: 857-880.

[11] **Nicoletti L., La Valle P., Paganelli D., Lattanzi L., La Porta B., Targusi M., Lisi I., Loia M., Maggi C., Pazzini A., Proietti R., Gabellini M.** (2018). Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: protocollo di monitoraggio per l'area di dragaggio. ISPRA, *Manuali e Linee Guida* 172/2018, 32 pp.

[12] **Nicoletti L., Paganelli D., Gabellini M.** (2006). Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. Quaderno ICRAM n. 5: 159 pp.

[13] **PIANC** (2010). Permanent International Association of Navigation Congresses, Dredging and port construction around coral reefs, PIANC EnviCom, Report 108. ISBN: 978-2-87223-177-5.

[14] **CEDA** (2015). Environmental Monitoring Procedures. Information paper. [Online] Available from: [http://www.dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/cedaonline/2015-02-ceda\\_informationpaper-environmental\\_monitoring\\_procedures.pdf](http://www.dredging.org/media/ceda/org/documents/resources/cedaonline/2015-02-ceda_informationpaper-environmental_monitoring_procedures.pdf) European Commission (2004). Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. <http://www.euroseion.org/reports-online/reports.html>

[15] **ICES** (2000). Report of the working group on the effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystems, Gdansk, Poland: 172 pp.

[16] **ARPAT** (2009). Gli invasi artificiali. Elementi per una gestione sostenibile. Baldaccini G., Doni A., Rossi S. Eds.: 55 pp.

[17] **ISPRA** (2011). Standard di qualità dei sedimenti fluviali e lacustri. Criteri e proposta, Rapporti, 154/2011.

[18] **Molino B.** (2008) L'interrimento degli invasi ed eventuale utilizzo dei sedimenti per il ripascimento costiero. *Supplemento al numero 2/2008 di Geologia dell'Ambiente*: 77-85.

[19] **Molino A.M.** (2014). L'utilizzo di sedimenti lacuali: il caso dei sedimenti dell'invaso di Ponte Liccione (CB). Università degli Studi di Napoli "Federico II", Dip. di Ingegneria Civile, Edile, Ambientale. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il territorio. a.a. 2013/2014.

# La strana storia delle sabbie migranti siciliane

*Giovanni Randazzo*<sup>1</sup> [grandazzo@unime.it](mailto:grandazzo@unime.it), *Diego Paltrinieri*<sup>2</sup>, *Stefania Lanza*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra, Università degli Studi di Messina; <sup>2</sup> Arenaria s.r.l., Via degli Agresti, 6 40123 – Bologna; <sup>3</sup> GE-OLOGIS s.r.l. Spin Off UNIME, Via F. Stagno d'Alcontres, 31 – 98166 – Messina

## Riassunto

*La Sicilia, con i suoi 1623 km di costa, è la più grande isola del Mediterraneo e il suo paesaggio è fortemente influenzato dall'alto grado di geodiversità.*

*Le spiagge sono prevalentemente formate dai sedimenti erosi nei bacini idrografici, modellati e selezionati lungo il trasporto e quindi depositati nella pianura alluvionale e alla foce.*

*Questo avviene ora come nel recente passato, alla fine dell'Era Glaciale, lasciando depositi relictivi compatibili con quelli attuali.*

*L'evoluzione nello spazio e nel tempo amplia la compatibilità di questi depositi, testimoniando come la Sicilia sia stata un crocevia anche per le sabbie provenienti dall'Africa.*

## Summary

*Sicily, with its 1623 km of coastline, is the largest island in the Mediterranean Sea and its landscape is strongly influenced by the high degree of geo-diversity.*

*Beaches are formed by sediments eroded into the hydrographic basin, shaped and selected during transport and deposited along the alluvial plan.*

*This happens now, like in the recent past during the end of the Glacial Time, leaving relict deposits compatible with the actual ones.*

*The evolution, both through the space and the time, widens the compatibility of these deposits, witnessing how Sicily have been a crossroad also for the sands coming from Africa.*

## 1. Introduzione

La stretta correlazione tra la natura geologica dei bacini idrografici e le caratteristiche sedimentologiche delle spiagge sottese, trova riscontro nella geodiversità di quello straordinario patchwork geologico che è la Sicilia. I fiumi rappresentano l'asse di trasporto principale di sedimenti tra gli affioramenti dell'entroterra e la fascia costiera dove, dalle foci vengono distribuite lungo le spiagge dalle correnti litorali, che agiscono come un nastro trasportatore, evidenziando e confermando il concetto di *river unicum* che collega la fascia costiera e la pianura alluvionale alle scaturigini dei corsi d'acqua. Le spiagge sono formate dai sedimenti erosi, in prevalenza nelle aree più alte dei bacini idrografici, modellati e selezionati lungo il trasporto e quindi depositati nella pianura alluvionale e alla foce. Questo materiale viene quindi distribuito lungo le coste dalle onde e dalle correnti marine, secondo processi che spesso angustiano i nostri amministratori che si ritrovano, alternativamente o contestualmente, insabbiamenti indesiderati o tratti di costa in forte erosione. Questa successione di processi di fatto collega la composizione dei sedimenti costieri alle caratteristiche geologiche dell'entroterra.

In teoria, in un'area carsica dovremmo avere spiagge composte da sedimenti carbonatici e di



colore chiaro (dal giallo trapanese al rosato siracusano e al bianco caraibico come a San Vito Lo Capo), nelle vicinanze di un vulcano (Etna, Isole Eolie) i depositi di spiaggia dovrebbero essere ricchi di minerali femici e di colore nero o rosso, mentre lungo le coste dei golfi di Castellammare (Trapani) e di Termini Imerese (Palermo) dovremmo avere spiagge ricche di quarzo e di colore grigiastro.

Nella realtà questo è talvolta complicato o obliterato dalla variabile tempo, comprendendo in questo tutti quei processi geomorfologici che sono accaduti a causa dei cambiamenti climatici più o meno recenti e delle attività antropiche, specialmente degli ultimi cinquant'anni.

Talvolta infatti si verificano invasioni alloctone (da altri bacini lontani), legate all'evoluzione, più o meno recente della paleogeografia, che ci restituiscono spiagge non direttamente associabili ai retrostanti bacini.

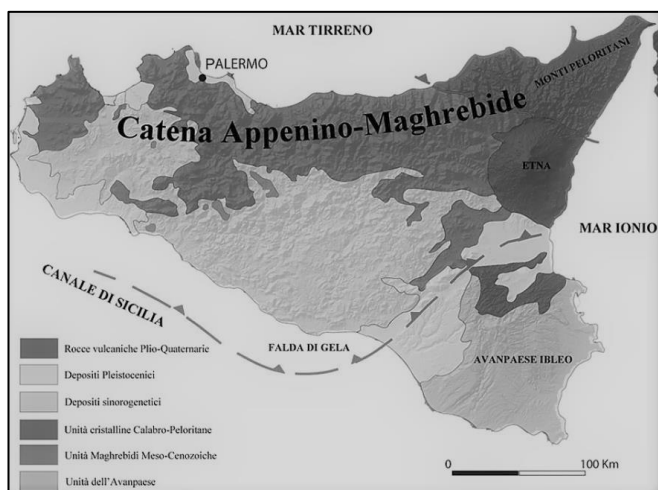
Un esempio di questa geodiversità alterata è fornito dalle spiagge delle coste ragusane, che sono così sorprendentemente ricche in quarzo a fronte di un bacino di riferimento (il plateau ibleo) geologicamente dominato da successioni carbonatiche.

In questa nota cerchiamo di svelare questo arcano e di spiegare come questa peculiarità potrebbe giocare a vantaggio della gestione del sistema costiero di buona parte della Sicilia.

## 2. Le origini geologiche

La geodiversità della Sicilia è legata alla sua complessa storia geologica; questo determina la grande diversità dei paesaggi dell'Isola, risultato di una complessa interazione, nel corso del tempo, di fattori geologici, tettonici e geomorfologici.

La Sicilia rappresenta un segmento dell'Orogene Appenninico - Maghrebide, che, nel settore settentrionale, collega l'Appennino "italiano" al Nord - Africa attraverso l'Arco Calabro - Peloritano, mentre in quello meridionale è caratterizzato da bacini profondi, derivanti da differenti domini paleogeografici e in quello orientale dal Plateau Ibleo che è una successione carbonatica collegabile a una paleo barriera corallinae dall'Etna che con la sua evoluzione si è incuneata immediatamente a Nord (Figura 1).



**Fig. 1** – Schema sintetico dei domini geologici Siciliani, il cerchio indica l'area di maggiore affioramento di elementi quarzosi [1]).

Il *fil rouge* della nostra storia è la presenza di quarzo negli affioramenti e nelle spiagge: le formazioni geologiche più ricche in clasti di quarzo sono il Flysch Numidico che rappresenta un

deposito torbido di bordo di piattaforma e la Formazione Terravecchia che rappresenta un prodotto di smantellamento dell'orogene in sollevamento.

Questi depositi si sono probabilmente formati in zone molto profonde di bacini posti alla base o lungo delle scarpate continentali e/o nelle avanfosse delle catene orogeniche sommerse, in seguito a una serie (nel caso dei Flysch) di "frane" (torbide) sottomarine che hanno dato luogo a una successione stratigrafica, molto spessa e con granulometrie per lo più fini, ben nota in letteratura.

L'area di provenienza di questi flysch è per lo più alloctona. Nel caso del Flysch Numidico le quarzarenitiche lo formano sono costituite da granuli di quarzo derivanti da sabbie desertiche africane.

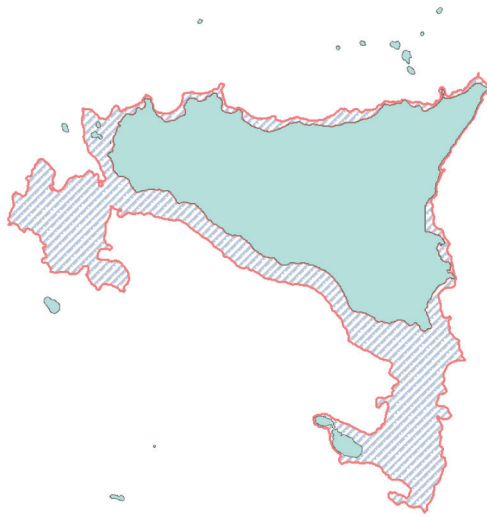
Quando la catena, dopo la formazione di diversi cicli flyschiodi orogenici, si è quasi formata ed è quasi tutta emersa, è la molassa ad alimentare l'avanfossa, tramite lo smantellamento delle rocce emerse, colmandola con sedimenti che si depongono in un ambiente marino molto meno profondo, fino ad essere fluvio-deltizio o alluvionale. Il Flysch Numidico e la Formazione Terravecchia sono quindi sedimenti che si sono depositati, in spazi contigui, in concomitanza con l'instaurarsi dell'orogenesi Alpino-Himalayana, in una paleo-catena siciliana che doveva trovarsi più ad ovest di oggi, nel Mediterraneo occidentale. L'orogenesi Alpino-Himalayana, iniziata tra il tardo Mesozoico (tra 251 e 65,5 milioni di anni fa) e l'inizio del Cenozoico (tuttora in corso dalla fine dell'era precedente), è stata accompagnata dalla chiusura dell'oceano Tetide e dalla concomitante convergenza tra le placche dell'Africa, dell'Arabia e del Subcontinente indiano, in movimento verso Nord, e la placca Euro-asiatica, in movimento verso Sud. È in questo contesto geodinamico che nella catena alpina peri-mediterranea si verifica la migrazione dei sedimenti delle successioni flyschiodi del Flysch Numidico da zone alloctone di derivazione africana fino alla loro messa in posto all'interno delle catene dell'Andalusia, Marocco, Algeria e Sicilia.

Col trascorrere del lento tempo geologico, si inizierà così a costituire gradualmente l'attuale panorama morfologico e geologico della catena siciliana. Tra 5,96 e 5,59 milioni di anni fa si è verificata, contemporaneamente nel Mediterraneo, una crisi di salinità dovuta alla chiusura dello Stretto di Gibilterra, con la conseguente evaporazione delle acque marine. Questo ha portato alla deposizione della cosiddetta Serie Evaporitica con sali e gessi che occupano il fondo del Mediterraneo occidentale, parte dell'Appennino e l'entroterra della Sicilia su cui si depositano i sedimenti argillosi del bacino di Gela.

Nel corso del Pleistocene e dell'Olocene (da 2,58 milioni di anni fa ad oggi), il livello del Mediterraneo è stato interessato da una serie di oscillazioni connesse con i periodi di glaciazioni (periodi freddi) e deglaciazioni (periodi caldi).

Nel Last Glacial Maximum, terminato circa 18.000 anni fa, il livello del Mare Mediterraneo doveva essere al di sotto di quello attuale e dai risultati degli studi effettuati risultava posizionato intorno ai - 130 m s.l.m. [2], quindi la Sicilia paleolitica doveva risultare molto più estesa verso Sud così come l'Africa settentrionale verso Nord. Le isole Maltesi erano di fatto congiunte con l'Altopiano Ibleo e tra Capo Bon e Capo Lilibeo era presente uno stretto canale, costellato da isole, faraglioni e piattaforme (le "vere" Colonne d'Ercole?). Sebbene in modo meno accentuato, anche l'area orientale e settentrionale dell'isola apparivano più estese, interessando soprattutto le aree attualmente occupate dai golfi (Castellammare, Palermo, Termini e Augusta).

La Sicilia dell'ultimo Paleolitico doveva sembrare molto simile all'isola a tre gambe di cui Platone scrive nei suoi Dialoghi e deve avere certamente ispirato il simbolo della Trinacria che troneggia nella bandiera giallo-rossa della Sicilia. Il suo profilo costiero, sebbene molto più esteso di quello attuale, doveva essere identico a quello attuale dal punto di vista geomorfologico e sedimentologico, con il succedersi di tratti rocciosi e di spiagge che si trovavano appunto dove oggi si trova l'isobata di circa - 130 m (Figura 2).



**Fig. 2** – La “forma” della Sicilia all’apice dell’ultimo Periodo Glaciale.

### 2.2 *Le paleospiagge e le spiagge*

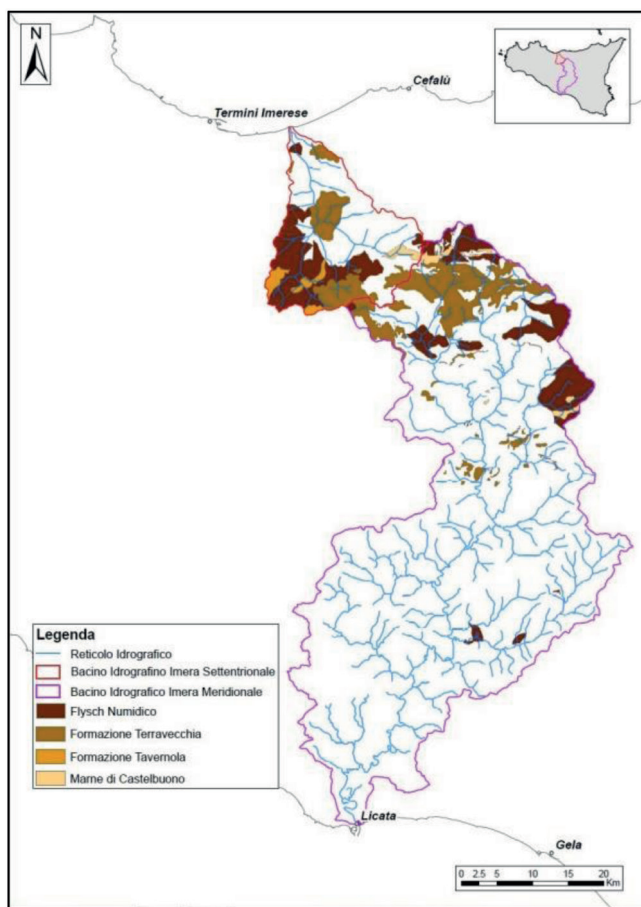
Il concetto di sabbie relitte distali fu introdotto da Emery [3] il quale osservò che “cinture” di sabbia coprivano molti bordi continentali intorno al mondo a una profondità compresa tra gli 80 e i 120 m. Notò inoltre che esse non erano in equilibrio con gli attuali processi di piattaforma e concluse che questi depositi sedimentarono durante e immediatamente dopo l’ultimo Periodo Glaciale [4]).

In Italia, negli ultimi anni, alcuni depositi profondi sono stati dragati per alimentare dei ripascimenti artificiali ([5], [6],[7]) sia perché i depositi sommersi garantiscono grandi disponibilità di materiale e sia perché la loro compatibilità con le spiagge attuali è molto alta e l’impatto ambientale inferiore a qualunque altra fonte di approvvigionamento.

Proprio in corrispondenza della profondità, tra i - 100 e i - 130 m, recenti studi, intrapresi in sinergia tra università e privati, hanno permesso di individuare depositi di paleo-spiaggia molto estesi nel settore settentrionale della Sicilia, costituiti da materiali pressoché simili a quelli degli attuali arenili.

Di fatto, allora come oggi, le coste alte e rocciose venivano erose, producendo sedimenti di varie dimensioni, i fiumi portavano una notevole quantità di sedimenti (maggiore di quella attuale) e il mare (le onde e le correnti) la distribuiva lungo la costa (tutto questo confermando il principio dell’attualismo di Lyell).

Anche i fiumi allora come oggi scorrevano e lo facevano certamente con maggiore efficacia nei settori più alti dei propri bacini idrografici e, allora come oggi, il fiume Imera Settentrione (o Fiume Grande) e il fiume Imera Meridionale (Fiume Salso) erodevano i sedimenti lungo i due versanti, rispettivamente settentrionale e meridionale, delle Madonie, dove affiorano le quarzareniti del Flysch Numidico e della Formazione Terravecchia (Figura 3).



**Fig. 3** – Reticolo idrografico e bacino di apporto litologico dei due Imera; la legenda riporta le formazioni affioranti, in ordine proporzionale alla presenza di livelli quarzosi.

Proprio per questa ragione la paleo-spiaggia individuata recentemente tra 122 e 128 m nel Golfo di Termini Imerese, a circa 5 km dalla riva, è risultata essere costituita in prevalenza da quarzo (circa il 50%) e in subordine da sedimenti carbonatici, così come le spiagge attuali della Sicilia settentrionale e meridionale (nelle quali la presenza di quarzo varia tra il 50 e il 70%). Bisogna però evidenziare che la fascia costiera meridionale e in particolare il litorale ragusano rappresenta una geodiversità che è in parte legata a caratteristiche geologiche distali. Infatti le spiagge care a Montalbano sottendono un retroterra costituito da un altopiano carbonatico e gli apporti solidi dei corsi d'acqua sono esclusivamente caratterizzati da frammenti calcarei. A fronte di questo apporto, le spiagge che dovrebbero essere costituite prevalentemente da sedimenti carbonatici, sono invece caratterizzate da sedimenti con percentuali di quarzo che talvolta superano il 70%. Infatti i frammenti calcarei che giungono lungo le coste, trasportati dal reticolo idrologico locale, sono stati, nel tempo, disgregati e resi più piccoli dal quarzo, proveniente dalla foce dell'Imera Meridionale, cioè dalla stessa area di erosione a cui attingeva l'Imera Settentrionale; questo materiale carbonatico non è ovviamente scomparso, ma essendo più piccolo e leggero è stato disperso verso il largo e oggi lo troviamo nei depositi presenti oltre la batimetrica dei -35 m [8], in cui dominano sedimenti più sottili (limi) carbonatici.

Sia il quarzo proveniente dai depositi profondi del Golfo di Termini Imerese sia quello attualmente presente lungo le coste meridionali della Sicilia, porta impresso la natura della sua origine, con tipici segni di eolizzazione a testimonianza di un trasporto in un'area desertica africana prima di andare a costituire le formazioni della catena che avrebbe alimentato le spiagge della Sicilia negli ultimi 20.000 anni circa. Tuttavia i granuli di quarzo presentano un diverso grado di maturazione mineralogico – sedimentologica dovuta al fatto che noi li osserviamo in punti diversi della loro storia. I granuli di quarzo provenienti dal bacino idrografico del paleo-Imera Settentrionale, risultano maturi mineralogicamente, ma non sedimentologicamente, sono cioè prevalenti rispetto agli altri minerali presenti nell'ammasso, ma i granuli sono spigolosi. I sedimenti del deposito di paleo spiaggia di Termini Imerese risultano meno maturi sia dal punto di vista mineralogico sia dal punto di vista sedimentologico, questo perché nel deposito i granuli di quarzo si mischiano con elementi carbonatici (frammenti carbonatici più grossolani e da gusci di molluschi e foraminiferi talvolta integri) provenienti da altre parti del bacino e il tempo di deposizione non è riuscito né a selezionarli né ad arrotondarli. La maturazione invece risulta completa lungo le spiagge ragusane dove, le poche migliaia di anni a disposizione, hanno provveduto ad allontanare i granuli composti da altri minerali, facendoli diventare i granuli di quarzo dominanti dal punto di vista mineralogico, conferendogli maturità sedimentologica e arrotondandoli.

### 3. Conclusioni

I materiali, presenti nel deposito sommerso di Termini Imerese, stimabili intorno ai 120 milioni di metri cubi, attualmente acquisiscono una grande importanza strategica, soprattutto in funzione del fatto che più di un terzo delle spiagge sabbiose siciliane è in erosione.

Negli anni 70-80, ai primi accenni di erosione costiera, dovuti agli effetti urbanistico costieri del boom economico, si rispose con interventi rigidi (barriere frangiflutti, pennelli e massicciate) che proteggevano la costa immediatamente retrostante, ma spostavano il processo erosivo sottoflutto.

Dal 2000 la Regione Siciliana decise di orientare la propria strategia di difesa verso interventi morbidi, i cosiddetti ripascimenti artificiali, che consistono nell'immettere nella spiaggia erosa importanti quantità di materiale compatibile, al fine di ricostituirne forma e volume.

Ma anche gli interventi di difesa morbidi, indirizzati quindi verso una logica resiliente, hanno spesso avuto risultati inferiori alle aspettative, sia per le scarse ed effimere quantità di sedimenti di prestito disponibili, sia per la compatibilità dei sedimenti utilizzati.

La disponibilità quindi di un deposito costituito da materiale compatibile, costituisce una risorsa strategica, che però necessita di un'attenta gestione.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale, considerata la profondità del deposito, in zona afotica, e la distanza dalla costa che lo "stacca" geomorfologicamente, le refluenze sono minime.

Risulta però necessario per il suo sfruttamento, un'adeguata politica gestionale.

Due aspetti ancora limitano il loro uso diffuso: 1) il costo relativo al prelievo che deve avvenire mediante jumbo-draghe che hanno un elevatissimo costo giornaliero e quindi convenienti solo per prelievi di grossi volumi e 2) la frammentazione degli interventi di difesa costieri spesso bloccati alla scala comunale che non permettono la realizzazione di importanti ripascimenti dal punto di vista volumetrico.

Queste problematiche dovrebbero essere superate dalla Regione Siciliana, mediante la redazione di un Piano Depositi Sommersi, che dovrebbe mirare alla sincronizzazione dei diversi interventi da effettuare nei differenti comuni e nell'individuazione di aree costiere di stoccaggio temporanee per sedimenti. In questo modo si potrebbero programmare prelievi di sufficienti quantità di sedimenti economicamente sostenibili e ambientalmente compatibili.

Questa strategia di intervento, permetterebbe di riparare ai danni dovuti all'erosione costiera in modo assolutamente naturale, realizzando delle nuove spiagge resilienti, cioè capaci di assorbire l'energia di onde e correnti, assolvendo al loro naturale compito di prima struttura difensiva dell'entroterra dal mare.

### **Bibliografia**

- [1] **Di Stefano A. e Branca S.** (2002), Long-term uplift rate of the etna volcano basement (southern Italy) from biochronological data of the pleistocene sediments. *Terra Nova*, 14 (1), 61-68.
- [2] **Lambeck K. Antonoli F., Purcell P., Silenzi S.** (2004), Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. *Quaternary Science Reviews* 23 (2004) 1567–1598.
- [3] **Emery K.O.** (1968), Relict Sediments on Continental Shelves of World. *Am. Assoc. Petroleum Geologists* 52, 445–464.
- [4] **Albarracín S., Alcántara-Carrió J., Montoya-Montes I., Fontán-Bouzas A., Somoza L., Amos C.L., Salgado J.R.** (2014), Relict sand waves in the continental shelf of the Gulf of Valencia (Western Mediterranean). *Journal of Sea Research* 93, 33-46.
- [5] **Chiocci F.L., La Monica G.B.** (2003), The use of relict sand lying on the continental shelf for unprotected beach nourishment. In: Goudas C.
- [6] **Nicoletti, L., Paganelli, D., Gabellini, M.** (2006), Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal of monitoring protocol. *Quaderno ICRAM n.5*, pp. 155.
- [7] **Nonnis O., Paganelli D., Proietti R. and Nicoletti L.** (2011), Physical effects related to relict sand dredging for beach nourishment in the Tyrrhenian sea: the Anzio case. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 1380 – 138.
- [8] **Amore C., Randazzo G.** (1997), First data on the coastal dynamics and the sedimentary characteristics of the area influenced by the River Irmínio basin (SE Sicily). *Catena* 30 357-368.

# Tecnologie innovative ad eiettori per la gestione sostenibile di fondali costieri, bocche portuali e porti turistici

*Cesare Saccani [cesare.saccani@unibo.it](mailto:cesare.saccani@unibo.it), Marco Pellegrini  
Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna, Bologna*

## **Riassunto**

*L'impianto per il rimodellamento dei fondali basato sulla tecnologia ad eiettori rappresenta una alternativa tecnologicamente avanzata, energeticamente efficiente e sostenibile dal punto di vista ambientale per la gestione dei sedimenti in ambito portuale. La tecnologia ad eiettori, testata sin dal 2005, ha dimostrato di essere uno strumento efficace nella gestione ordinaria dei problemi di insabbiamento derivanti dalle interazioni tra infrastrutture portuali e dinamiche naturali delle correnti marine, in particolare alla imboccatura dei porti. Inoltre, la tecnologia ad eiettori si configura, anche dal punto di vista normativo, come soluzione alternativa (seppur non concorrente) al dragaggio, poiché realizza uno spostamento del sedimento con bilancio di massa complessivamente nell'area di influenza, ovvero l'impianto trasferisce all'esterno dell'area di influenza tutto il sedimento in ingresso.*

## **Summary**

The seabed remodeling plant based on ejector technology represents a technologically advanced, energy efficient and environmentally sustainable alternative for the management of sediments in ports area. The ejector technology, tested since 2005, has proven to be an effective tool in the ordinary management of sediment silting due to interactions between port infrastructures and natural dynamics of marine currents, in particular at the ports entrance. Furthermore, the ejector technology is configured, also from a legislative perspective, as an alternative (albeit non-concurrent) to dredging, since it carries out a sediment handling with a zero mass balance in the area of influence, i.e. the plant transfers out of the area of influence all the input sediment.

## **1. Introduzione**

La cosiddetta “*Blue Growth*” (Crescita Blu) è una strategia a lungo termine progettata per sostenere uno sviluppo sostenibile dell'industria marittima e del mare. Mari e oceani sono fattori chiave per l'economia ed hanno un notevole potenziale di sviluppo per l'innovazione finalizzata ad una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva. In particolare, i porti sono infrastrutture che includono numerose attività umane legate al mare, quali pesca, trasporti, logistica e turismo. Mentre efficienza nei collegamenti e capacità dei porti sono fondamentali che hanno storicamente attratto grandi investimenti, solo di recente l'impatto ambientale legato all'operatività dei porti ha assunto rilevanza, in concomitanza con il crescente interesse che l'opinione ha evidenziato nei confronti delle tematiche ambientali. Il concetto di “*Green Port*” (Porto Verde) si è evoluto, negli ultimi anni, da concept teorico di ricerca e innovazione a obiettivo concreto per uno sviluppo sostenibile delle attività umane in ambito marittimo. Lo



sviluppo di un porto verde richiede l'adozione di strategie di lungo termine che coinvolgono diverse tematiche, quali il risparmio delle materie prime, la riduzione della produzione di rifiuti, la prevenzione di emissioni inquinanti, e che possano avere un impatto su energia, acqua, aria e gestione dei rifiuti. La gestione dei sedimenti, quindi, non può non essere inclusa tra le tematiche chiave nello sviluppo di porti sostenibili.

La soluzione comunemente adottata per risolvere il problema dell'insabbiamento dei porti, causato dalla interferenza che le infrastrutture portuali generano rispetto alle correnti marine naturali, è il dragaggio. La draga è una tecnologia affidabile, nota e diffusa in tutto il mondo, e viene impiegata sia per operazioni di manutenzione ordinaria che straordinaria. Nondimeno, la draga, pur essendo in grado di ripristinare il fondale desiderato, non elimina il problema ciclico dell'insabbiamento. Inoltre, la draga produce effetti consistenti sull'ecosistema marino, sia in termini di impatti su flora e fauna, che sul rumore sottomarino, che sul rilascio di inquinanti e sostanze pericolose in mare.

La tecnologia ad eiettori rappresenta una alternativa sostenibile ai dragaggi manutentivi e si pone l'obiettivo di garantire la navigabilità dei porti 365 giorni all'anno, in maniera sostenibile e con costi certi e competitivi se confrontati con i costi di dragaggio. L'articolo presenta l'evoluzione della tecnologia, anche in relazione al corpo normativo, e, in particolare, si focalizza sulle performance dei due impianti attualmente in funzione a Cervia e Cattolica.

## 2. Relazione

### 2.1 L'evoluzione normativa

L'articolo 35 del D.Lgs. 11 maggio 1999 n°152 (non più in vigore e sostituito da D.Lgs. 152/2006) - «Immersione in mare di materiale derivante da attività di escavo e attività di posa in mare di cavi e condotte» recitava che *“Al fine della tutela dell'ambiente marino [...] è consentita l'immersione deliberata in mare da navi ovvero aeromobili e da strutture ubicate nelle acque del mare o in ambiti ad esso contigui, quali spiagge, lagune e stagni salmastri e terrapieni costieri, dei seguenti materiali:*

*a) materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi [...]”* e che *“L'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di cui al comma 1, lettera a), è rilasciata dall'autorità competente solo quando è dimostrata, nell'ambito dell'istruttoria, l'impossibilità tecnica o economica del loro utilizzo ai fini di ripascimento o di recupero ovvero lo smaltimento alternativo in conformità alle modalità stabilite con decreto [...] da emanarsi entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto”*. La normativa si occupava di dragaggio e dei relativi materiali di escavo. Ma il rimodellamento del fondale, anche senza ausilio della draga, non trovava alcun tipo di definizione o analisi. La normativa venne successivamente abrogata e ripresa senza modifiche dal testo sulle norme in materia ambientale (Art. 109 – Parte Terza del D.Lgs. 3 aprile 2006 n°152).

Il manuale ISPRA per la movimentazione dei sedimenti marini del 2007 introduce il concetto di spostamento in area contigua, ma sempre con riferimento ad operazioni di dragaggio. Difatti, il manuale affermava che *“In ambiente sommerso, il semplice spostamento di sedimenti in aree immediatamente contigue è compatibile unicamente in relazione al ripristino della navigabilità in ambito portuale o di corsi d'acqua, nonché al fine di realizzare imbasamenti di opere marittime o agevolare l'operatività portuale. Tale attività viene ritenuta ambientalmente compatibile solo alle seguenti condizioni: i) i quantitativi coinvolti siano inferiori a 25.000 m<sup>3</sup>; ii) i sedimenti coinvolti siano di classe A (1e 2) o di classe B1: casi 1-4 e casi 5-7 con saggi biologici negativi su elutriato, paragrafo 2.3.2; iii) l'area sulla quale vengono spostati i sedimenti abbia le stesse caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'area di provenienza; iv) sia da escludere qualsiasi impatto su biocenosi sensibili presenti in loco. Le procedure per la caratterizzazione e*

la classificazione dei materiali sono comunque quelle riportate nel Capitolo 2 (Campionamento, caratterizzazione dei materiali da dragare e criteri di gestione, n.d.r.)”.

Si susseguono poi ulteriori modifiche legislative. La prima è contenuta nell'articolo 13 del D.Lgs. 3 dicembre 2010 n°205, esclude dall'ambito di applicazione della normativa sui dragaggi “*i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni*”. La seconda, contenuta nell'articolo 7 comma 8-bis legge n°164 del 2014, esclude invece “*i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali o nell'ambito delle pertinenze idrauliche ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni*”.

La modifica normativa trova il suo pieno compimento solo nel 2016 con l'emanazione del D.M. n°173/2016, ovvero del «Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immissione in mare dei materiali di escavo di fondali marini». Il regolamento viene emanato con solo dieci anni di ritardo, ed entra in vigore il 21 settembre 2016. In particolare, l'articolo 1 comma 2 lettere a) e b) del DM 173/2016 chiarisce il quadro della materia in quanto risultano espressamente esclusi dall'applicazione del regolamento gli spostamenti in ambito portuale, le operazioni di ripristino di arenili e la movimentazione in loco di sedimenti funzionali all'immersione di materiali. Nello specifico, ai sensi dell'art. 2 si intende per spostamenti in ambito portuale la “*movimentazione dei sedimenti all'interno di strutture portuali per le attività di rimodellamento dei fondali ai fini di garantire l'agibilità degli ormeggi, la sicurezza delle operazioni di accosto ovvero per il ripristino della navigabilità, con modalità che evitino una dispersione dei sedimenti al di fuori del sito di intervento*”.

In quest'ultima casistica rientra, come da comunicazione della ARPA Regione Emilia-Romagna, la tecnologia di seguito descritta, che pertanto non deve essere autorizzata a norma del D.M. n°173/2016.

## 2.2 La tecnologia

L'impianto per il rimodellamento dei fondali è composto da una serie di dispositivi, denominati eiettori, che realizzano una rimozione puntuale della sabbia apportata nella zona da essi controllati, trasportandola in una zona adiacente ove non costituisce intralcio alla navigazione. Il prelievo del materiale da asportare avviene senza organi in movimento sommersi, ma mediante getti di acqua opportunamente direzionati che movimentano la sabbia e la convogliano verso i condotti di trasporto e scarico. L'impianto (Figura 1) è residente sul fondale e non costituisce intralcio alla navigazione. Attraverso la composizione di un reticolo di eiettori è possibile intervenire sulla o sulle aree interessate dal fenomeno di insabbiamento, realizzando così una rimozione in continuo del materiale naturalmente apportato dalle correnti che consente il mantenimento del fondale al livello desiderato.

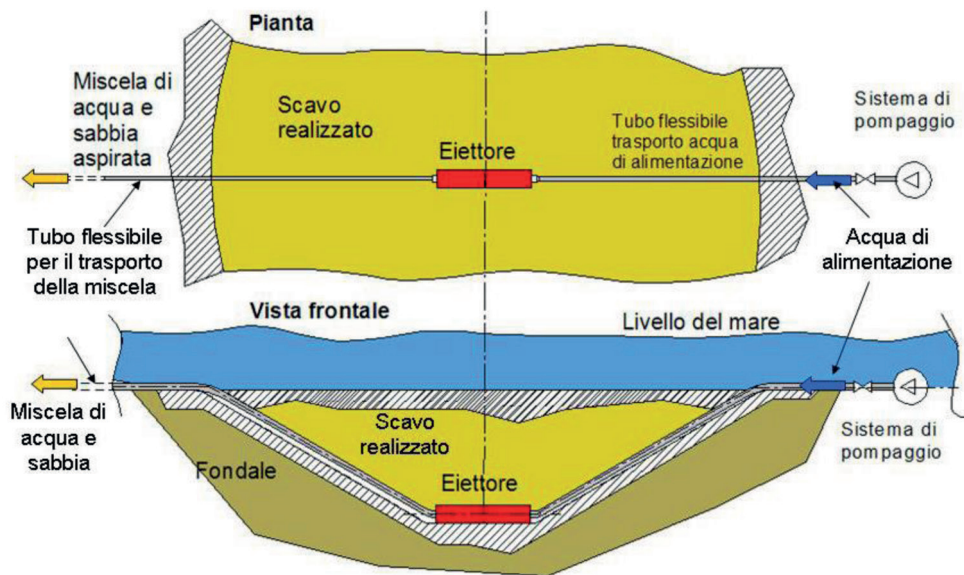


Fig. 1 – Visione in pianta ed in sezione di un eiettore.

Inoltre, l'impianto realizza un trasporto di materiale con impatto ambientale nullo perché caratterizzato da un bilancio di massa complessivamente neutro (la massa di sabbia che entra all'interno del perimetro interessato dal funzionamento degli eiettori è uguale a quella che esce) e perché l'area interessata dagli effetti dei getti in pressione in uscita da ogni singolo eiettore è limitato da un volume di circa 200 litri, escludendo così di fatto fenomeni di torbidità o risospensione del sedimento presente sul fondale.

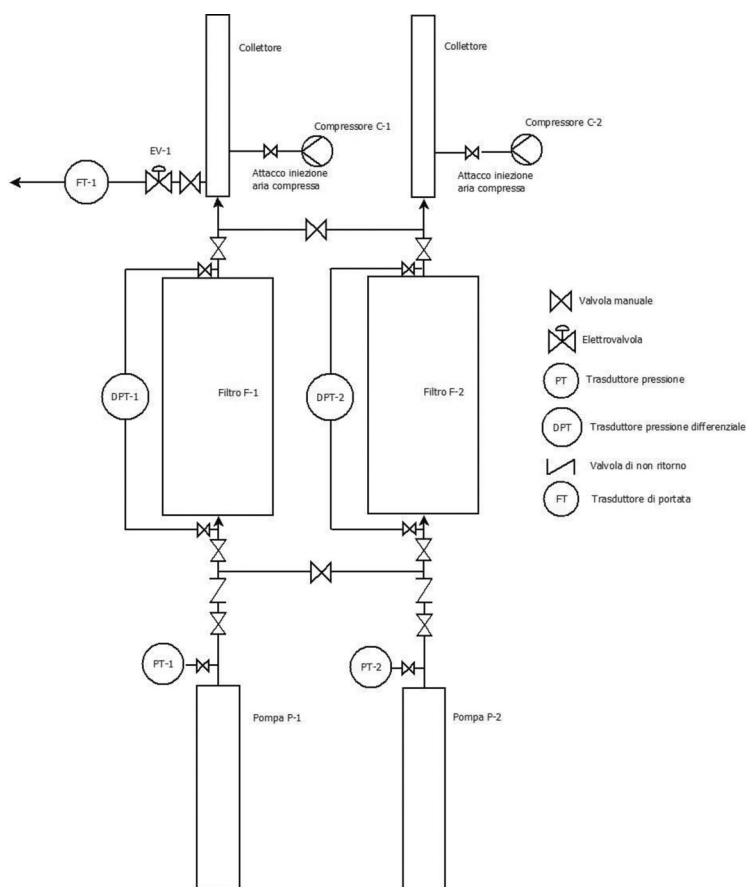
### 2.3 Attività sperimentali (periodo 2002-2013)

Dal 2002 al 2004 la tecnologia degli eiettori è stata sviluppata in laboratorio, attraverso la realizzazione di studi fluidodinamici che hanno consentito la realizzazione di un primo prototipo di eiettore. Il primo prototipo di impianto sperimentale è stato realizzato presso il Porto di Canale di Riccione, è stato avviato in data 27 luglio 2005 ed è rimasto in funzione fino al 9 di novembre dello stesso anno. L'impianto ha garantito, nel periodo sopra indicato, libero accesso al Porto grazie al mantenimento di un fondale minimo compreso tra 3,5 e 5 metri [1]. Dal 2006 al 2009 si è investito ulteriormente nella ottimizzazione fluidodinamica dell'eiettore, arrivando alla determinazione di un secondo prototipo di eiettore in grado di garantire le medesime prestazioni del precedente in termini di capacità di trasporto del sedimento ma con consumi energetici notevolmente ridotti (nell'ordine del 30%). L'ottimizzazione energetica ha poi coinvolto non solo l'eiettore, ma l'impianto nel suo complesso, attraverso una progressiva azione di automatizzazione e industrializzazione dell'impianto (stazione di pompaggio, filtraggio, regolazione, monitoraggio). Il secondo prototipo di impianto è stato realizzato presso la Darsena di Portoverde di Misano Adriatico. L'impianto è stato avviato nella sua versione definitiva in data 1 giugno 2012 ed ha garantito, per circa un anno, libero accesso alla Darsena [2,3]. L'impianto ha dimostrato elevati livelli di affidabilità ed ha registrato, come atteso, una netta diminuzione dei consumi energetici rispetto al primo prototipo di impianto sperimentale. L'impianto di Portoverde era caratterizzato da un elevato grado di automazione. La gestione dell'impianto era gestita automaticamente da un PLC che, in base alle condizioni al contorno rilevate dalla strumentazione installata sull'impianto, regolava la portata di alimen-

tazione degli eiettori in funzione delle reali necessità. Inoltre, era possibile accedere da remoto al PLC, avendo così possibilità di monitorarne a distanza il funzionamento ed eventualmente modificarne i parametri di regolazione.

#### *2.4 Il primo impianto dimostrativo di taglia industriale*

A giugno 2019 è entrato in funzione il primo impianto in scala industriale presso il Marina di Cervia. L'impianto costituito da dieci eiettori, è stato realizzato da Trevi SpA e finanziato con il progetto LIFE MARINAPLAN PLUS. Il progetto, oltre al coordinatore Trevi SpA, vede la partecipazione della Università di Bologna, del Comune di Cervia e di ICOMIA. L'impianto è costituito da due moduli indipendenti, ognuno dei quali alimenta 5 eiettori (P&ID dell'impianto riportato in Figura 2). Ogni modulo risulta composto da una pompa centrifuga multistadio sommersa, un filtro autopulente a dischi ed un collettore, cui sono collegate le tubazioni di alimentazione di 5 eiettori. Un trasduttore di pressione monitora la pressione di lavoro, mentre un trasduttore di pressione differenziale misura la perdita di carico sul filtro e ne gestisce la pulizia automatica. Su ogni ramo di alimentazione del singolo eiettoresono presenti una elettrovalvola di intercettazione ed un misuratore di portata elettromagnetico. Le pompe sono comandate da inverter, ed è quindi possibile modulare e regolare la portata su ogni singolo ramo in funzione delle necessità. In particolare, tramite le elettrovalvole è altresì possibile realizzare il bilanciamento delle portate, ovvero sovralimentare (o sottoalimentare) uno o più eiettori. Su entrambi i collettori sono presenti delle connessioni per l'inserimento in linea di aria compressa: l'utilizzo dell'area compressa è funzionale alla semplificazione delle operazioni di identificazione degli eiettori e delle tubazioni di scarico. Inoltre, l'utilizzo dell'area compressa è funzionale anche alla manutenzione ordinaria dell'impianto. La potenza elettrica massima impegnata per eiettoresono pari a poco più di 7 kW, ma i consumi medi di ogni eiettoresono attestati, nei primi tre mesi di funzionamento, attorno ai 2.5 kW, con una ulteriore riduzione del 30% rispetto ai consumi rilevati nella precedenza esperienza di Portoverde.



**Fig. 2** – P&ID dell'impianto dimostrativo in scala industriale di Cervia.

Le attività di monitoraggio copriranno un arco temporale di 15 mesi, e si concluderanno a settembre 2020. Il piano di monitoraggio comprende rilievi batimetrici dell'area interessata dall'azione degli eiettori e dei relativi scarichi, campionamento di sedimenti, valutazione dell'impatto su flora e fauna marina, misura del rumore sottomarino eventualmente prodotto dall'impianto.

### 2.5 L'applicazione in un cantiere navale

Una nuova applicazione della tecnologia è stata realizzata a Cattolica, presso il cantiere navale GAM. L'impianto (Figura 3), costituito da due soli eiettori alimentati in maniera indipendente da due pompe sommerse, protegge dall'interramento il bacino di varo del cantiere navale, soggetto alle piene del Tavollo, che si integra con il Porto Canale di Cattolica. In questo caso, i dispositivi operano su di un sedimento di matrice prevalentemente limo-argillosa, contrariamente a quanto avvenuto in passato e nell'impianto di Cervia, in cui il sedimento è costituito quasi esclusivamente da sabbia. L'impianto è entrato in funzione ad agosto 2018 ed è tuttora in funzione. I risultati preliminari mostrano come sia stato garantito il mantenimento del fondale presente all'avviamento dell'impianto; allo stesso modo, i rilievi batimetrici effettuati non evidenziano criticità nella zona di scarico dei dispositivi.





**Fig. 3** – Vista dall'alto del cantiere navale GAM di Cattolica e particolare del bacino di allaggio. I cerchi in bianco indicano la posizione degli eiettori, le frecce bianche le tubazioni di scarico.

### 3. Conclusioni

L'impianto di rimodellamento dei fondali basato sul principio degli eiettori rappresenta una alternativa sostenibile al dragaggio nelle operazioni di manutenzione ordinaria di gestione dei sedimenti in ambito portuale. Il monitoraggio degli impianti attualmente in funzione (Cervia e Cattolica) è fondamentale per dimostrare i) la sostenibilità economica della soluzione (in particolare, relativamente ai costi operativi e di manutenzione) e ii) gli impatti (attesi nulli o quasi) sull'ecosistema marino.

### Bibliografia

- [1] **Amati G., Saccani C.**, *Impianto sperimentale per il desabbiamento dei fondali nelle aree portuali*, Atti del XXXII Convegno Nazionale "Ingegneria e Impiantistica Italiana", ANIMP- OICE, ANIMA-UA-MI, Rimini, 6-7 ottobre 2005.
- [2] **Bianchini A., Pellegrini M., Saccani C.**, *Zero environmental impact plant for seabed maintenance*, Atti del IV Simposio Internazionale sulla Gestione dei Sedimenti, 17-19 Settembre 2014, Ferrara, Italia.
- [3] **Pellegrini M., Saccani C.**, *Laboratory and field tests on photo-electric probes and ultrasonic Doppler flow switch for remote control of turbidity and flowrate of a water-sand mixture flow*, Proceedings of the XXIV AIVELA National Meeting, IOP Journal of Physics Conference Series, vol. 882:012008, 2017.

# I sedimenti nei grandi invasi artificiali, casi studio in Emilia-Romagna

*Simone Toller, [simone.toller2@unibo.it](mailto:simone.toller2@unibo.it), Università di Bologna, Bologna*

*Enrico Dinelli, Università di Bologna, Bologna*

*Ivo Vasumini, Romagna Acque Società delle Fonti, Forlì*

## **Riassunto**

*Gli invasi artificiali sono sbarramenti antropici finalizzati all'accumulo di risorsa idrica per varie funzioni. Essi presentano un accumulo di sedimento che con il tempo si deposita sul fondo dell'invaso, influenzando sul volume e la qualità dell'acqua. Per poter valutare lo stato dei sedimenti dal punto di vista quantitativo e qualitativo è opportuno analizzare ogni caso singolarmente, raccogliendo dati cartografici, batimetrici, tessiturali e geochimici, la cui elaborazione può portare alla realizzazione di caratterizzazioni e valutazioni ambientali. In questo lavoro sono riportati due esempi di studio e caratterizzazione del sedimento: il Bacino del Conca, nei pressi di Cattolica e il Lago di Ridracoli sugli Appennini del Parco delle Foreste Casentinesi (Emilia-Romagna).*

## **Summary**

*Reservoirs are anthropic barriers built to store water for different purposes. A common effect is the trapping and accumulation of sediment, that increases over time in the bottom of the lake. The accumulation affects the volume of the reservoir year by year and can eventually influence the chemical quality of the water resource. It's necessary to study every site collecting cartographic, bathymetric, textural and chemical data of the area in order to be analysed and processed for characterization and environmental assessment. In Emilia-Romagna two cases of study, taken as examples for sediment characterization in reservoirs, are the Bacino del Conca near Cattolica close to the Adriatic Sea and the Ridracoli Lake on Apennines in the National Park of Foreste Casentinesi, which present different characteristics.*

## **1. Introduzione**

Gli invasi artificiali sono costruzioni antropiche che grazie ad uno sbarramento costruito dall'uomo cambiano il naturale corso delle acque. Il fiume e il bacino di drenaggio vengono quindi modificati da eventi che ne stravolgono l'assetto in breve tempo e che intrappolano il sedimento all'interno dell'invaso a causa di una barriera fisica costruita per accumulare acqua, la risorsa di interesse. La deposizione e l'accumulo del sedimento incidono sulla conformazione del bacino e lo sbarramento modifica sia gli assetti di stabilità a monte che quelli a valle della diga. I principali problemi legati all'accumulo di sedimento nell'invaso si traducono in un effetto sui volumi massimi della risorsa idrica accumulabile e dall'effetto che questi sedimenti possono avere dal punto di vista chimico sulla qualità dell'acqua. Negli anni questi accumuli riducono sia la capacità di raccolta dell'invaso che l'apporto naturale di sedimento verso il fondovalle e nelle aree di costa.

In Italia, le grandi dighe in esercizio sono 523[1] e costituiscono una rete fondamentale per la fornitura di energia idroelettrica e di acqua potabile.



Le valutazioni quantitative sui volumi di materiale depositato e la sua dinamica deposizionale, ed una sua caratterizzazione chimica approfondita, utile per stabilire strategie di gestione, possono quindi risultare fondamentali per una gestione ottimale di un invaso artificiale.

## 2. Relazione

Il sedimento che si può ritrovare in un invaso artificiale proviene in gran parte dal contributo di roccia alterata e del suolo superficiale nelle zone a monte del lago e dei suoi tributari. La tipologia del materiale trasportato dipende dalle caratteristiche litologiche del bacino di drenaggio coinvolto. Importanti da considerare per l'apporto di sedimento sono lo stato e la configurazione dei confini del bacino idrologico, degli apporti idrici, la struttura idraulica della zona, la variabilità idrologica stagionale e l'uso del suolo nel bacino di alimentazione dell'invaso. Tutti questi aspetti, combinati con la litologia influiscono sulla quantità di sedimento trasportata al lago. Altri elementi di possibile influenza sull'apporto di sedimento sono legati alla gestione del territorio, ad esempio della copertura vegetale: deforestazione o incendi boschivi possono aumentare notevolmente il trasporto di solido. Altri aspetti che possono modificare l'apporto di sedimento sono i periodi di siccità e le inondazioni che influenzano in modo massiccio i tassi di erosione. Inoltre, la tendenza degli ultimi anni delle piogge a concentrarsi in modo intenso in brevi periodi aumentano i quantitativi di materiale eroso ed il trasporto di sedimento in modo non costante. Il fatto di avere più precipitazioni piovose che nevose inoltre aumenta il trasporto di sedimento, e il ritiro dei ghiacciai espone materiale non consolidato all'erosione. Tutti questi aspetti provocano problemi per la gestione dell'invaso e alterano la qualità della risorsa a causa della variabilità negli apporti di sedimento e della torbidità. La creazione di una diga può influire sullo stato delle zone costiere, particolarmente sensibili alla diminuzione dell'apporto di sedimento dai fiumi, e sulla morfologia degli stessi fiumi a monte e a valle.

I sedimenti accumulati influiscono quindi sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo sulla risorsa idrica e la loro raccolta è soltanto una conseguenza fisica e inevitabile dell'accumulo della risorsa acquifera. La capacità dell'invaso è una risorsa costosa e non rinnovabile, non si può verificare un naturale processo di eliminazione dei sedimenti e tutto deve essere gestito nel migliore dei modi per garantire durabilità. L'assenza di gestione e manutenzione dell'invaso potrebbe comportare il riempimento di sedimento, con l'annullamento dei vantaggi apportati dalla costruzione della diga. Le operazioni più drastiche da effettuare su un invaso sono il suo svuotamento e la rimozione del sedimento, operazione quest'ultima costosa e con un elevato impatto ambientale. Per questo motivo è stato introdotto il concetto di "sostenibilità dell'invaso" [2], per cui il reservoir deve poter essere nelle condizioni ideali tali da poter svolgere la sua funzione in perpetuo, senza il limite dato dalla sedimentazione sul fondo. Quanto appena detto necessita di interventi finalizzati ad esempio al rilascio di sedimento a valle o alla limitazione dell'erosione a monte.

Il controllo della quantità e della qualità del sedimento intrappolato sono quindi due aspetti importanti da tenere in considerazione: l'accumulo di sedimento infatti non può essere arrestato in quanto determinato da diversi fattori e può agire in modi differenti sulla gestione della diga.

In passato il piano di gestione del sedimento nelle dighe prevedeva un *sediment design life*, generalmente da 50 a 100 anni, che non eccedesse il tempo di vita dello sbarramento. Le vecchie dighe non prevedevano quindi un piano a lungo termine di gestione del sedimento, ma oggi il bisogno di prolungarne l'azione e il concetto di sostenibilità comportano il bisogno di conoscere meglio queste problematiche.

In questo lavoro sono portati come casi di studio per gli argomenti trattati due siti in Emilia-Romagna, entrambi gestiti da Romagna Acque-Società delle Fonti S.p.a. per la gestione

dell'acqua per diversi utilizzi nella zona della Romagna. Il primo sito è il Lago di Ridracoli, un invaso artificiale operativo dal 1983 a 480 m s.l.m sugli Appennini al confine fra Emilia-Romagna e Toscana nel Parco Naturale delle Foreste Casentinesi. Con una profondità massima di 88 m e una capacità massima di  $33.06 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , esso accumula acqua ad uso potabile e per produzione di energia elettrica. Lo sbarramento del Bacino del Conca è stato costruito nel 1973 per l'accumulo di  $1.47 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  di acqua utilizzabile durante il periodo estivo e ad oggi, in seguito alla costruzione di Ridracoli, destinata alla funzione di ricarica della falda. In questo sito la gestione della diga è stagionale: le paratoie di scarico sono lasciate aperte durante il periodo invernale, in modo da permettere il passaggio delle piene invernali che trasportano sedimento verso mare. I sedimenti si sono accumulati negli anni di operatività in entrambi i siti, anche se in modo differente a causa delle diverse modalità di gestione e delle collocazioni delle due dighe, la prima posizionata a monte vicino alle sorgenti del Bidente di Ridracoli e degli altri affluenti e la seconda a valle del fiume Conca.

### 2.1 Distribuzione dei sedimenti all'interno di un invaso

Il sedimento intrappolato da una diga non solo causa un accumulo nel reservoir, ma contemporaneamente crea una diminuzione di apporto nella parte a valle. Il sedimento si accumula lungo tutto il fondo dell'invaso con diverse modalità (Fig. 1): il sedimento grossolano si deposita prima nella parte più a monte, formando un delta quando entra nel bacino, mentre la parte fine si deposita più a valle [3]. Ciò dipende dalla morfologia della zona e dall'energia di trasporto dell'acqua, è da osservare che i sedimenti non vanno a depositarsi tutti nel punto più profondo del lago, ma in prossimità dello sbocco dell'immissario e la loro distribuzione è in funzione della granulometria oltre che della morfologia, seguendo la legge fisica di Stokes che stabilisce le condizioni di equilibrio dei solidi in sospensione in funzione della velocità della corrente e del diametro delle particelle.

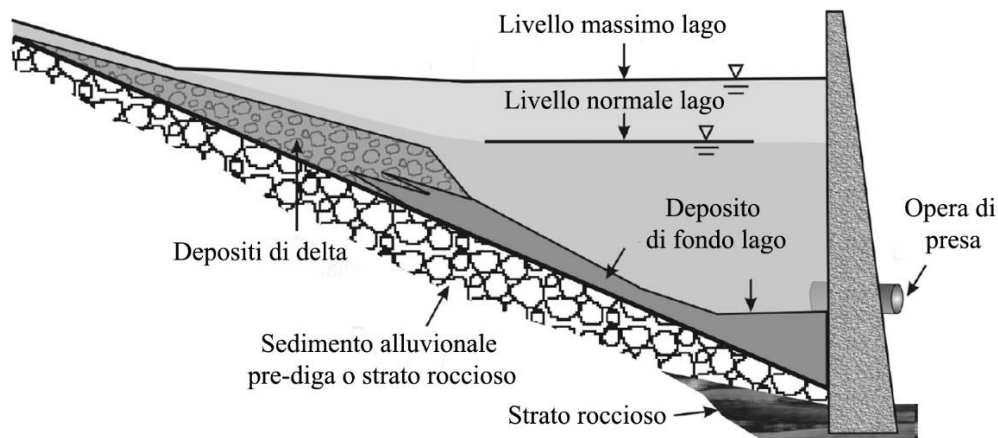


Fig. 1 – Esempio di distribuzione del sedimento in un invaso (Randle and Bountry 2017).

La modalità sopra descritta è però una schematizzazione ideale che può non trovare riscontro in natura. La situazione reale della sedimentazione in un bacino artificiale può essere misurata e monitorata grazie a campagne di studi topografici e batimetrici. Alcune tecniche di telerilevamento come LiDAR da aereo per la topografia o GPS e multi-beam per la profondità grazie all'utilizzo di un'imbarcazione, possono risultare utili per misurare la morfologia del fondo e dell'area del lago.

I volumi di sedimento depositato possono quindi essere ottenuti dal confronto tra volumi del-

le diverse campagne di misurazione, mediante analisi con perforazioni e carotaggi in profondità per raggiungere strati riconoscibili tramite datazione o tramite l'utilizzo di onde acustiche per stimare lo spessore del deposito. Altre tecniche di valutazione quantitativa del sedimento sono rappresentate dal monitoraggio degli apporti e del sedimento sospeso, dalla torbidità o dal calcolo degli ingressi e delle uscite del bacino [4].

## 2.2 *Sedimento nel bacino di Ridracoli*

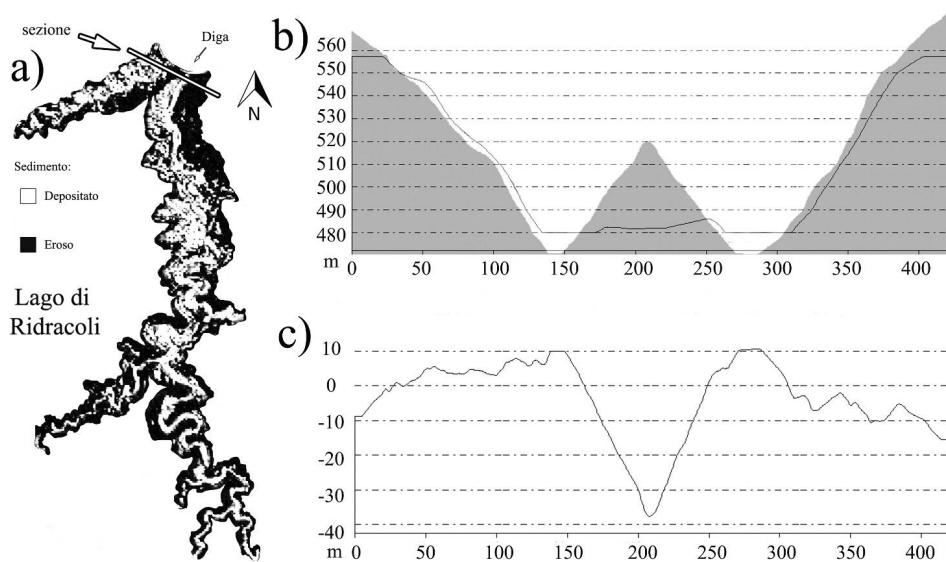
Nel sito di Ridracoli sono stati utilizzati dati topografici e batimetrici per valutare l'evoluzione della morfologia dell'invaso: la topografia preesistente la costruzione dell'invaso (risalente al 1965) è stata confrontata con rilievi batimetrici effettuati nel 2011 e nel 2014.

Il volume di interrimento di un vaso artificiale è il volume totale dei materiali solidi depositati all'interno del serbatoio in un intervallo di tempo definito e per quanto riguarda il caso di studio di Ridracoli risulta essere di 4.827.252 m<sup>3</sup> di sedimento distribuito su 0,703 Km<sup>2</sup> di superficie considerata, dove la superficie massima dello specchio liquido occupa 1,035 Km<sup>2</sup>. Il volume eroso rispetto la topografia originale invece ammonta a 2.873.164 m<sup>3</sup>. Questi dati sulla quantità di sedimento depositato ed eroso vanno anche a testimoniare un forte effetto del sedimento proveniente dall'area stessa del bacino ricoperta dall'invaso con un apporto esterno calcolato di 1.954.088 m<sup>3</sup> di sedimento, che va quindi ad occupare il volume destinato verso la risorsa idrica senza che venga recuperato all'interno dell'invaso.

La Figura 2a evidenzia le aree che hanno subito erosione e quelle in cui il sedimento si è invece depositato. Le aree in bianco di deposito si vanno a posizionare nelle parti più centrali delle valli, soprattutto nella parte più a sud del lago dove la morfologia è più regolare e le aree nere di erosione sono invece parte dei versanti che hanno subito l'influenza della presenza del lago. La parte più a nord vede una configurazione più sbilanciata del materiale depositato verso ovest a causa della confluenza delle due vallate e delle correnti che si sono instaurate nei due rami.

Nel periodo di attività della diga di 31 anni dal 1983 al 2014, data della batimetria di riferimento più recente, l'invaso si è riempito del 5,91% del volume totale. Il grado di interrimento percentuale di un serbatoio è una grandezza efficace nel rappresentare indicativamente la parte del volume dell'invaso che è stato perso per interrimento. Il tasso percentuale medio annuo di interrimento è il rapporto tra il volume di interrimento medio annuo e il volume dell'invaso al tempo iniziale, la percentuale di interrimento annuo è valutabile attorno allo 0.19%, questo parametro indica che il bacino imbrifero a monte non è particolarmente produttivo in termini di sedimento. Infatti dati dello stesso tipo, a livello mondiale, risultano compresi tra 0,6 e 0,8% della capacità di vaso complessiva iniziale [1]. Nonostante l'estrema variabilità locale che può condizionare i confronti, a Ridracoli i bassi valori dipendono dalla localizzazione a monte dell'opera, della vicinanza alle sorgenti, della geologia dell'area e della vegetazione del territorio che circonda il lago che oltre a fungere da filtro per le acque convogliate aiuta nella stabilità dei versanti e ne limita l'erosione.

La zona di maggior attenzione in termini di accumulo di sedimento all'interno di un vaso è rappresentata dall'area vicina allo sbarramento che potrebbe andare ad influire sulla stabilità della diga e grazie ai dati raccolti è possibile effettuare delle sezioni di confronto (per esempio Fig. 2a), potendo così valutare gli spessori di sedimento che si sono depositati in ogni punto di interesse lungo la sezione.



**Fig. 2** – Lago di Ridracoli. Le aree bianche sono di deposito e quelle nere di erosione (a); i profili a confronto tra condizioni pre-diga e batimetria 2014 della stessa sezione (a), in bianco e in grigio (b) lo stato prima e dopo la costruzione della diga. Sulla stessa sezione è possibile calcolare i metri di erosione (valori negativi) e deposizione (valori positivi) (c).

È possibile quindi confrontare le due morfologie del fondo del bacino in prossimità della diga (Fig. 2b) che ha subito un livellamento delle asperità, producendo un'erosione del precedente rilievo che divideva le vallate e un accumulo sul fondo di sedimento che varia punto per punto lungo la sezione (Fig. 2c), con un massimo calcolato di 10 m.

Occorre sottolineare che i dati relativi sia alla fotogrammetria che alle batimetrie possono contenere imprecisioni date dall'errore assoluto pari alla somma degli errori assoluti delle campagne. I rilievi topografici di tipo tradizionale, di cui non è nota la precisione e la tolleranza d'errore, ed i rilievi con tecniche moderne che invece possono contenere refusi di stima.

### 2.3 Caratteristiche chimiche dei sedimenti

Il sedimento che si ritrova all'interno di un invaso può essere di vario tipo e natura, può provenire non solo dal background geologico dell'area, ma raccogliere apporti esterni dovuti a trasporto eolico o origine non naturale associabile ad attività antropiche di varia tipologia. Nel sedimento, oltre ad una componente minerale predominante che riflette le litologie affioranti nel bacino di drenaggio e i prodotti della loro alterazione chimica, si ritrova abbondante materia organica che rappresenta una componente reattiva non fondamentale di questo tipo di contesti. La sua importanza è legata al fatto che la sua presenza consuma ossigeno e che i processi degradativi possono avvenire anche in assenza di ossigeno coinvolgendo altri agenti ossidanti (ad esempio ossidi e idrossidi di Mn e Fe) che possono alterare lo stato chimico dell'acqua e del sedimento creando problemi per l'ecosistema e la risorsa. È possibile effettuare diversi tipi di analisi di caratterizzazione chimica per valutare le concentrazioni di metalli ed altri elementi, analisi per la concentrazione degli elementi maggiori, per quelli in traccia, test di cessione o estrazioni sequenziali, sono tutti metodi validi per una caratterizzazione e una valutazione ambientale della matrice di interesse. Il sedimento si ritrova in diretto contatto con l'acqua ed interagisce con essa rilasciando o assorbendo elementi.

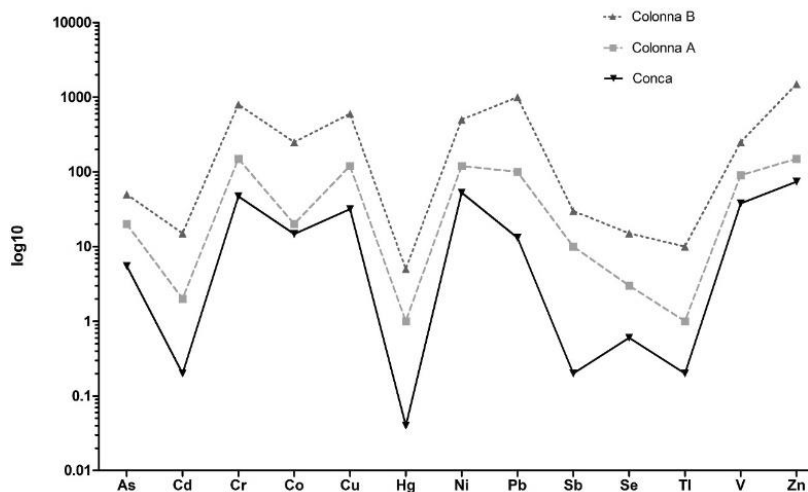
La legge italiana definisce il fango di dragaggio il materiale presente sul fondo di un corpo idrico; possono essere suddivisi in fanghi di dragaggio non soggetti alla disposizione della Parte IV del D.Lgs. 152/2006 (escludibile dalla normativa dei rifiuti) o in fanghi che non possono essere esclusi dalla normativa. In ogni caso è necessario effettuare degli studi di caratterizzazione dei sedimenti da rimuovere, delle caratteristiche chimico-fisiche e del possibile stato di contaminazione locale attuale e passato, che porteranno alla programmazione delle possibili destinazioni finali della matrice.

Nel caso vengano classificati come non rifiuti i sedimenti possono essere direttamente impiegati in opere, interventi di riutilizzo o in industria. Nel caso in cui vengano classificati come rifiuti invece dovranno seguire un differente iter di recupero e riutilizzo diretto in procedure semplificate o di smaltimento o di trattamento/recupero. Il sedimento dovrà rientrare in determinati criteri di accertamento della pericolosità sottostando a dei limiti di accettabilità dati dal Decreto Legislativo 152/06 All.5 Tab.1 Colonna A, Colonna B e limiti di accettabilità oltre i quali si renderanno necessarie delle verifiche di pericolosità.

È importante inoltre avere dati relativi ai parametri di tipo fisico, quali pH o redox, in quanto la tendenza a passare da una fase immobile ad una mobile dipende dalle condizioni e dallo stato di equilibrio in cui si trovano sedimento ed acqua e dalla diversa affinità della parte libera del contaminante verso una o l'altra matrice.

#### 2.4 Chimica dei sedimenti del Conca

Una caratterizzazione del bacino del Conca, dalla sorgente fino alla diga, può risultare utile al fine di comprendere gli stati di accumulo dei metalli. Vanno quindi confrontati rispetto ai limiti per legge e rispetto l'asta fluviale, che percorre più di 40 Km prima di entrare nell'invaso. Dal punto di vista ambientale e applicato, il confronto di queste concentrazioni, ed in particolare quelle all'interno dell'area dell'invaso, che vede un accumulo di sedimento e variazioni di stati subaerei e subacquei stagionali, può fornire informazioni anche sulla loro mobilità lungo il fiume e all'interno dell'area presso la barriera. Nel confronto con i limiti per legge è possibile vedere che le concentrazioni massime trovate in ogni stazione per ogni elemento considerato sono comunque inferiori a quelle dettate come limiti dal D.Lgs. 152/2006 (Fig. 3).



**Fig. 3** – Confronto in scala logaritmica tra concentrazioni massime ottenute dopo digestione con acqua regia e analisi ICP-MS regia delle stazioni del fiume e dell'invaso del Conca e i limiti dell'Allegato V D.Lgs 152/2006, Colonna A (Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale) e Colonna B (Siti ad uso Commerciale e Industriale).

Dalla distribuzione delle concentrazioni che hanno gli elementi lungo il fiume e all'interno dell'area dell'invaso si può vedere un incremento di tutti i metalli andando verso valle e poi un leggero abbassamento quando si entra nell'area della diga. In esso non è presente una grande variabilità e l'accumulo di sedimento dovuto allo sbarramento non crea accumulo di metalli potenzialmente tossici.

### 3. Conclusioni

I sedimenti appartenenti agli invasi artificiali sono un problema che deve essere studiato e monitorato poiché in continua evoluzione dalla costruzione della diga. Per poterlo studiare è necessario individuare le caratteristiche uniche di ogni sito e utilizzare le migliori tecniche ed analisi per le corrette valutazioni e programmazioni. Il sedimento però può essere considerato anche come una risorsa [5] e i suoi riutilizzi, dopo il recupero necessario dovuto all'interimento dell'invaso, dipende dalle valutazioni fatte sulla sua qualità, quantità e caratteristiche. È necessario effettuare una progettazione per un'ipotetica mobilitazione del sedimento e tutto deve essere per legge pianificato prima di qualsiasi azione. La caratterizzazione completa del sedimento è fondamentale anche per suoi possibili riutilizzi per valorizzazione ambientale, dei fiumi e delle aree di costa, per costruzione, uso commerciale, industriale o applicato all'agricoltura. Gli invasi artificiali non sono solo importanti per l'accumulo e gestione dell'acqua dolce, ma anche per la riduzione del rischio da alluvione, il controllo della qualità dell'acqua, la pesca e la fauna selvatica, la navigazione, la generazione di energia elettrica, l'irrigazione, e il sedimento è uno degli accorgimenti che bisogna tenere in considerazione per una corretta e consapevole gestione di una diga.

### Bibliografia

- [1] **ITCOLD** – Comitato Nazionale Italiano per le grandi dighe
- [2] **Morris, G. L.** (2015). Management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. In Proceedings of the International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Zurich, April (pp 27-29).
- [3] **Randle, T.J. and Bounty, J.A.** (2017). Sediment Analysis Guidelines for Dam Removal. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation for the Federal Advisory Committee on Water Information, Subcommittee on Sedimentation, Denver, CO.
- [4] **De Ventre, J., Poesen J., Verstraeten G.** (2009). Evaluation of reservoir sedimentation as a methodology for sediment yield assessment in the Mediterranean: challenges and limitations.
- [5] **WCD, 2000.** Dams and Development. A new framework for decision-making. Earthscan publications Ltd., London, 356 pp.

# CIRCULAR PATHWAYS IN THE INDUSTRY

## RAW MATERIALS IN ITALIA NEL CONTESTO EUROPEO

Questa sessione intende fornire il quadro del settore e quindi presentare i dati a disposizione e relativi sistemi informativi, gli aspetti di sicurezza degli approvvigionamenti, le sfide ambientali e di governance, le opportunità dei programmi di ricerca Europei e, non ultimo, i fabbisogni di comunicazione da coprire.

A cura di: **Comitato Tecnico Scientifico Ecomondo, Laboratorio Materie Prime, Ministero dello Sviluppo Economico – DGS - UNMIG, CRIET, ISTAT, ANIM**

**Presidente di sessione:**

- Silvia Grandi, *Ministero dello Sviluppo Economico*





# Mineral non energy raw materials in Italy within the European framework: a landscape in transition

*Silvia Grandi [silvia.grandi@mise.gov.it](mailto:silvia.grandi@mise.gov.it), Maria Grazia Verdura  
Ministero dello Sviluppo Economico/Italian Ministry of Economic Development, DGS UN-  
MIG, Roma*

## **Riassunto**

*Questo articolo sintetizza l'evoluzione attuale delle politiche e della governance relative alle materie prime estrattive e non energetiche in Italia, soprattutto dell'ultimo decennio. Si osserva una fase di transizione tra una tradizionale politica mineraria verso un approccio integrato all'economia circolare, alla sostenibilità e alle politiche dell'economia basata sulla conoscenza che seguono gli indirizzi dell'Unione Europea e del mutare degli equilibri mondiali sulla sicurezza degli approvvigionamenti. Inoltre negli ultimi anni vi sono conoscenze derivanti dalle rilevazioni ISTAT, delle attività del Laboratorio Materie Prime, dell'ENEA, dell'ISPRA, ecc. le quali stanno aprendo gli spazi per future revisioni normative e migliori politiche basate sui dati al fine di garantire uno sviluppo intelligente, inclusivo, sicuro e sostenibile.*

## **Summary**

*This paper reviews the current evolution of the mineral non energy raw material policies and governance in Italy moving from a tradition mining policy towards an integrated approach to circular economy, sustainability and knowledge base economy policies of the European Union in changing worldwide equilibrium on security of raw material supply. Furthermore, in recent years a stronger knowledge has been developed thanks to the new ISTAT surveys, the activities of the Raw Materials Laboratory, ENEA, ISPRA, etc. These are opening a new spacer for future regulatory revisions and better data-based policies in order to guarantee intelligent, inclusive, safe and sustainable development.*

## **1. Introduction**

Raw materials represent a precondition for most of Italian economic and productive activities, thus import and circular economy represent the main national supply strategy [1]. Technological changes, socio-economic and political streams at national and at global level highlights that a transitional and an evolutionary perspective is ongoing since few years despite it is not always fully detected and mainstreamed in policy making. Some of the drivers of these structural changes are the circular economy principles, the shift to renewable energies and the transition towards electrical mobility (i.e. battery technology, increasing the relevance of primary resources (including a shift from hydrocarbons to cobalt, lithium, etc.).

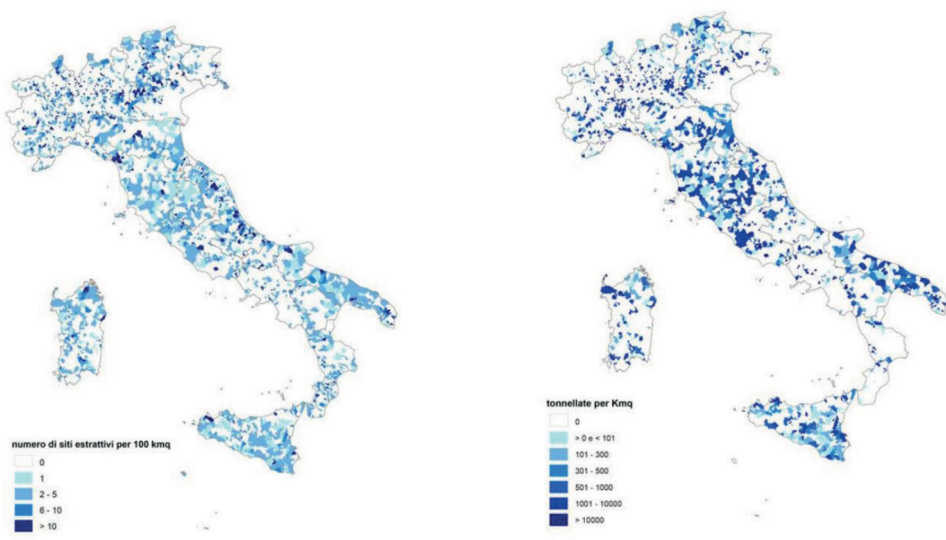
In this paper the current evolution of the mineral non energy raw material policies in Italy as well as some of the recent governance initiatives are presented showing that this sector is moving from a tradition mining policy towards an integrated approach to circular economy, to sustainability and to a knowledge base economy in line with the European and internation-

al trend. In particular, in the last decade a new trend can be depicted that creates the basis for a data-based policy framework and a future launch of a national strategy. Examples of Italian initiatives span from the relaunch of the statistical reporting on extractive activities by ISTAT within Anthropic pressure and natural risk broader framework [2], the Observatory of the Raw Material by the University of Milano Bicocca – CRIET, the Raw Material Lab that by 2018 prepared a draft for a national raw material strategy, the work of ENEA and other organization to host and manage the southern EIT Raw Material several European projects where ISPRA, ENEA and Regions contributed actively in the field of urban mining, process optimizations, industrial symbiosis [3], etc.

## 2. The Italian framework of the non-energy raw materials

### 2.1 The main statistical framework

According to the introduced ISTAT reports [4][5], the mineral raw material sectors contribute averagely to the 0.3% of the Italian industrial value added and accounts about 14.850 employees. However, significant regional differences can be observed, i.e. in Sardinia the extractive sector reach 4% of the value added (*ibidem*). Extraction of non-energy minerals in Italy is mostly focused on industrial and construction minerals such as bentonite, bleaching earth, limestone, marble, granite, clay, sand, gravel, travertine and ceramic minerals (feldspar, kaolin, refractory) whilst Italy’s metal-extracting sector is very limited. Active site in 2016 are 2.295 (2.227 quarries e 68 mines) a quarter of which are concentrated in only two regions (Lombardy and Veneto) which together have on their territories more than 1,000 authorized quarries. The Emilia-Romagna region is important in Italy in the extraction of clay (largest producing region in the country with one fifth of the clay extracted in Italy) and gravel and sand (4<sup>th</sup> largest producing region in 2013 after Lombardia, Piemonte and Veneto).



**Fig. 1** – Distribution of the active and non-active extractive site by Municipality, year 2016, expressed as density by Municipality (n. of site/100 km<sup>2</sup>) and extraction density (tons/ km<sup>2</sup>) [Source: ISTAT, 2019].

According to the study of the Raw Material Lab of the University of Milano Bicocca in Italy about 1295 firms with a total turnover of 2,6 billion euro are accounted as extractive firms of

solid raw material [6]. Considering a part of the supply chain, the mining sector in Italy generates an annual turnover of 4 billion of euro, involving about 1,600 companies and reaching a value of 40 billion euro [6]. However, the raw material sector – with a more contemporary approach - could include a broader set of enterprises (urban mining ones, those dealing with secondary raw material, etc.). Therefore, activities related to the extraction of non-energy raw materials play an important role for economic development in our country. Moreover, in terms of recycling the European Commission internal studies highlights that Italy scores about 20%, compared to a lower average in the other EU countries. This shows the results of a strong tradition in processes optimizations, recycling and reuse generally attributable to a relative scarcity in primary industrial raw material resources as well as highly active technological and innovation capabilities.

## 2.2 *The main national legislative context*

The primary legal basis of mineral extraction activity in Italy of the mining law is the Royal Decree n. 1443 of 1927 which divides minerals into two categories (art. 2): “first” and “second” category. In particular, “First category minerals” are state-owned; they include energy minerals (except peat), metallic ores, non-metallic ores of significant industrial importance such as salt and potash, barites and fluorspar, gemstones, garnet, corundum, leucite, fluorite, barium and strontium minerals, talc, asbestos, cement marl and lithographic stones. Rights to marine sand and gravel also belong to the national Italian state. “Second category minerals” are extracted in quarries and include peat, materials for building, road and hydraulic constructions (except marl for cement), quartz and silica sand, molars stones, sandstone, igneous rock, limestone, chalk and dolomite, sand and gravel, silica sand, common clay, and other industrial minerals not included in the “first category minerals” are property of the landowner. Other important national laws in Italy are Presidential Decree 128/59 (Police rules for mining and quarrying), Legislative Decree 152/06 (legislative framework applicable to all matters concerning environmental protection including EIA, SEA and IPCC), the Law of 23 December 2000 no. 388, art. 114, which provides a special plan for remediation and environmental recovery of mines, legislative decree no. 624/1996 (health and safety of workers) and Legislative Decree no. 117/08 (transposing Directive 2006/21/EU and important for the management of extractive waste). Another relatively recent novelty of the state level legislation has been the president decree 78/2007 that introduced a reform of the technical central council for mining issue: the former national Superior Mining Council (*Consiglio superiore delle miniere*) into section b) of the Italian Commission for the Hydrocarbons and Georesources (CIRM). The general framework is relatively solid and traditionally grounded, however some revision could be foreseen in order to create a more coordinated framework among central and regional authorities, as well as the other stakeholders, to improve dialogue and harmonization [7].

## 2.3 *The Italian decentralization regime*

With the Legislative Decree no. 616/77 (related to second category minerals), the legislative decree 112/98 and the constitutional law 3/2001 (related to first category minerals) competences related to planning and management, including permitting, passed from the national state to the regions, therefore, since 20 years, Italy has a decentralized regime and each region has its own relevant regional laws regulating extraction and environmental permitting procedures. In this framework, in general, the national Italian state has no permitting competences for onshore non-energetic minerals but only for offshore. All regions have delegated the extraction plans to themselves and/or to the province through offsetting of regional (or provincial) mining plans. Exploration for first category minerals may be subject to the environmental

impact assessment procedure under Legislative decree 152/2006. For second category minerals, usually no EIA procedure is required, although this depends on a quarry's dimension. In the latest 20 years, legislative updates can be summarized as add-on approach, thus, novelties have been basically scattered and not organic, including few articles here and there in other legislations corpus, mainly in the environmental ones. Another significant element affecting the legal framework in raw material permitting, control and management has been the devolution to Regions or Provinces in the legislative role as well as permitting and control, creating a significant loss in an organic governance and overall jeopardizing data and knowledge, without a significant and coherent planning towards new trends. In particular, the latest most significant fracture in the national governance and, therefore, an abandonment of a strong national policy can be dated back to changes and restrictions connected to some constitutional provisions starting in the 70s for the quarry sector and from 1998 (Decree 112/1998) when the Regions became responsible for licensing, inspections and any regulatory aspect related to raw material, while to the central government was left with significant less staff (i.e. the Mining District where transferred to the Regional administrative structures) and with reduced (marginal role), i.e. set up the general policy and deal with the strategic dimension and few others tasks. From a territorial point of view, the empowerment of the local authorities has led to positive effect, as better positioned for an in-depth territorial specific knowledge and quicker enforcement. However, the very different approach has been observed across Italian regions. This administrative structure has brought to a fragmentation of the policies among central government, regions and local authorities, increasing the risk of lack of coordination and the creation of gaps and inequalities.

#### *2.4. The European policy framework on Raw Material*

The EU legislation governing the permits and licenses for exploration and for exploitation of non-energy minerals includes the TFEU, 8 conventions, 7 Directives of the internal market and 6 of the environmental legislation, the Nature Directives, the Occupational Safety and Health at Work Directive, i.a., and various rulings by the European Court of Justice [8]. In terms of policies, in 2008, the EU commission launched "The raw materials initiative" and as a result most of the members states created/updated their national policies and legislations, adapting or creating the legislative domain (from the environmental, economic and social aspect) so that an adequate business environment is eventually created. The Critical Raw Material list and related initiatives highlight even more the need of a strong awareness of raw material dependency of the European economic system. The European Commission gave some main points to be developed by the member states in order to promote investments in mining industry, including the definition of a national mining policy, both from an economical and sustainable point of view; long-term programming policy, for the sustainable use of georesources, including digital geological knowledge, mining identification methodology and estimation of regional and local request; simplification of the authorization procedure so that it can be clear, understandable and following specific rules. The EIP is the major EU initiative implementing the raw materials initiative stakeholder platform that brings together EU countries, companies, researchers, and NGOs to promote innovation in the raw materials sector and the Raw Material Supply Group is another working group focusing to supply and criticalities on raw material, thus linking with the EU trade policy and raw materials, the Strategic action plan for batteries and the Circular Economy Action Plan. Indeed the latter one of the most influential in tackling the challenges of the primary and secondary raw material.

#### *2.5 The Italian national main initiatives*

In this renovated framework, several initiatives can be depicted as the basis for a renewed approach in the last decade fully dedicated to raw material policies:

a) The Italian Raw Materials Lab (LabMP) was created in 2010 under the coordination of the Ministry of the Economic Development (MISE) other institutions and stakeholders organizations. In particular, the LabMP is an active community among the main institutions and operators' associations of the non-energy extractive sector which has the objective of favoring the cultural development of the sector and the adoption of regulation and management methodologies in compliance with the principles of sustainable development, from economic-social-environmental point of view. LabMP was established by the memorandum of understanding signed by the Ministry of Economic Development (DGSUNMIG), University of Milano Bicocca - CRIET, ANIM, Assomineraria, AITEC). Subsequently, ENEA, Confindustria Marmomacchine and ANEPLA also joined. Over the years, various activities have been carried out: numerous research projects, the creation of a permanent observatory on extractive companies operating in Italy to meet the need to create an organic database in the raw materials sector and to provide an informative contribution useful for guiding planning and programming activities, participation in the activities of KIC Raw material and calls for tenders, including international ones. In the years, the LabMP extended the collaboration with ISPRA – the Italian institute for environmental protection and research and ISTAT – the Italian national statistical office. The active involvement of all the Raw Material Lab organizations in the definition of a national strategy aimed at defining documents and action, therefore nowadays Italy can rely on a draft raw materials data and a strategy document that looks for a political engagement to be further pushed.



**Fig. 2 – Scheme of the Raw Material Lab composition**

b) ISPRA, ENEA, Emilia-Romagna Regional Geological Office, some Universities, and other organizations joined some or the European project promoted within the Research and Technological framework programs in FP6, FP7, Horizon 2020 creating some databases, GIS, knowledge and pilot processes. The European Institute of Technology (EIT) and the KIC Raw Material, thank a branch office in Italy for the Southern Europe, has created a further financial and technical support opportunities for research centers and firms, that shows that the Italian system is rather projected into raw material urban mining, recovery and recycling, optimization processes, etc. coherently to the relatively low primary extraction industries compared to other European or Extra-EU leaders in quarry and mining activities.



c) ISTAT, in 2015, in the presence of a non-homogeneous offer of statistics on the extraction of non-energy mineral resources [2], launched a new survey on quarrying and mining activities with the aim of also highlighting aspects linked to the pressures exerted on the natural environment. Information was collected on the extraction of mineral substances of the first category (mines) and second category (quarries) based on the rankings of the royal decree 1443/1927 as well as the Eurostat statistical structure on anthropic pressure. This new data collection on extractive industries fills the gap of the loss in statistical analysis at national level after the devolution held in 1998 (Decree 112/1998) when the Mining Districts left the Directorate General at the Ministry of Economic Development and moved to the Regional Administrations. Since few years, therefore, official statistical data and reporting are available.

d) A cooperation between the Joint Research Center (JRC) of the European Commission and the Ministry of Economic Development – Directorate General for Safety for energy and non-energy raw material – National Mining Office (DGS UNMIG), as of 2018, support furtherly the knowledge base of the Italian raw material information system whilst strengthening the EU raw materials information system (RMIS) with some Italian data for its knowledge platform on raw materials. This is also in line with the stronger demand of data and attention to primary and secondary raw material that has been significantly increased following Raw Material Supply Group activities, Critical Raw Material List revisions and the Battery Alliance initiatives of the European Commission.

Furthermore, it has to be mentioned that the Italian Circular Economy, End of Life and Phosphorus platform are closely related to the policies developed in the latest year.

### 3. Conclusions

In the last decade a new wave in raw material policies, projects and governance have been observed in Italy, however, a full and update national strategy has still to be finalized and adopted, implemented.

Indeed, the transition to a circular economy has positively moved the attention to reusing, adjusting, renewing and recycle existing materials and products, as well as reengineering ideally to leading at a zero need of extractive raw materials but primary raw material are still important in actual Italian economy, despite not very visible in daily news as this sector is significantly dispersed among trade policies, environmental, mining, regional planning and industrial ones.

The current situation results in a scattered framework that might not be always favorable to any of the sustainable development pillars: ecologic, economic and social ones. However, the growing knowledge resulting from the latest initiative by ISTAT, the Raw Material Lab, ENEA, etc. depicted in this paper are paving the wave to future better data based policies in order to ensure an intelligent, inclusive, safe and sustainable development.

### References

- [1] **Gavinelli, L., Ceruti, F., Di Gregorio, A., Frey, M.** (2019). Adottare i principi dell'economia circolare nella strategia d'impresa. Un'indagine sul livello di recepimento delle imprese italiane. *SINERGIE*, 37(1), pp. 269-288.
- [2] **Vignani D.**, (2018), Le attività estrattive da cave e miniere: fabbisogni informativi e nuova disponibilità di dati. In Grandi S., Pistocchi F., Macini P., Bonoli A. (eds), *Geografie e istituzioni minerarie. Patrimonializzazione e Valorizzazione del Territorio*, Editrice La Mandragora, Imola. pp.61-78.
- [3] **Cutaia, L., Luciano, A., Barberio, G., Scaffoni, S., Mancuso, E., Scagliarino, C., La Monica, M.**, (2015). The experience of the first industrial symbiosis platform in Italy. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14 (7), pp. 1521-1533.



- [4] **ISTAT**, (2017). *Rilevazione Pressione antropica e rischi naturali. Le attività estrattive da cave e miniere (anni 2013-2014)*, ISTAT, Roma.
- [5] **ISTAT**, (2019). *Rilevazione Pressione antropica e rischi naturali. Le attività estrattive da cave e miniere (anni 2015-2016)*, ISTAT, Roma.
- [6] **Ceruti, F., Gavinelli, L.** (2018). *Il settore delle materie prime non energetiche in Italia. Strategie competitive in atto e prospettive di sviluppo*. G. Giappichelli Editore, Torino.
- [7] **Martini A.**, (2017). Quali interventi normativi per migliorare il Regio Decreto del 1927. In Coppi O., Grandi S., Urtis R. (eds). *1957-2017. 60° Ufficio Nazionale Minerario Idrocarburi e Georisorse*. Ministero dello Sviluppo Economico, Roma, pp. 286-287.
- [8] **DGGROW, MinPol**, (2017). *Study – Legal framework for mineral extraction and permitting procedures for exploration and exploitation in the EU - MINLEX-FinalReport*, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, European Commission, Brussels.

### **Main Web references**

<https://www.istat.it/it/archivio/204473>

<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>

<http://criet.unimib.it/research-area/laboratorio-materie-prime/>

<https://unmig.mise.gov.it/>

[https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en)



## Indice degli autori

- Aprèa MC 252  
Aragona I 252  
Argese Emanuele 11  
Atzwanger Christoph 153
- Bagnini Marco 73  
Bargna Martina 225  
Belfiore Luca 92  
Bellandi Giacomo 225  
Bellandi Michele 11  
Bellucci Micol 225  
Bergna Giovanni 225  
Bernardini Emiliano 191  
Bertelloni S 252  
Biagi Barbara 191  
Bianchi Luca 299  
Bonacina Giovanni 11  
Borghini Alessandra 245  
Bosch Francisco 185  
Breda Silvia 11  
Brini Silvia 335
- Calone Roberta 205  
Camilli Francesca 114  
Canovi Loris 205  
Canziani Roberto 225  
Capocelli Mauro 213  
Cappucci Sergio 351  
Caredda Pietro 309  
Casella Vittorio 325  
Caselli Roberto 335  
Cattarossi Giacomo 309  
Cecchi Matilde 20  
Cecchini Giancarlo 191  
Cenderello Tiziana 245  
Cerva Eleonora 316
- Ciavatta Claudio 275  
Cirello Paolo 191  
Cognazzo Ugo 343  
Compagnoni Marco 20  
Company Miguel 185  
Conforto Roberto 53  
Corsini Filippo 245  
Crebelli R 252  
Creo Carla 351  
Cringoli Gerardo 299  
Cuk Davide 20  
Curcio Giulia Maria 159
- D'Agostino Giuseppe 343  
Dati Daniele 27  
De Maio Francesca 335  
De Mola Mario 191  
De Santis Benedetta 92  
De Santis Noemi 92  
Di Benedetto A 252  
Di Biase Giampaolo 275  
Di Cosmo Roberto 225  
Di Maro Pasquale 132  
Dinelli Enrico 386
- Fabbri Claudio 269  
Fardelli Antonio 114  
Fedrizzi Pierluigi 27  
Ferraro Davide 235  
Ferré Carlo 47  
Ferretti Emanuele 245  
Franz Lorena 33  
Frey Marco 245  
Fuscoletti V 252
- Gallucci Francesco 269

García Hector 185  
 Garelli Paolo 81  
 Garuti Mirco 269  
 Ghiringhelli Giorgio 40, 47  
 Giardi Giuliana 335  
 Giovane Gregorio 11  
 González Raquel 185  
 Grandi Silvia 395  
 Grassi Leonardo 53  
 Greco Salvatore 47  
 Grigatti Marco 275  
 Guerra R 252  
 Gusmerotti Natalia Marzia 245  
  
 Jimenez Alejandro 235  
  
 Labartino Nicola 101, 282  
 Lanza Stefania 372  
 La Valle Paola 367  
 Lena Claudio 199, 289  
 Lepore Amedeo 299  
 Lepore Arianna 335  
 Limonti Carlo 159  
 Lolli Giovanni 176  
 Longato Enrico 20  
 Loro Francesco 33  
 Lovadina Marco 40  
 Lucanto Domenico 60, 107  
 Lucentini L 252  
 Lupino Paolo 361  
  
 Maffei Giuseppe 47  
 Manca Pier Paolo 309  
 Mancini Eliana 139  
 Mangiagli Sebastiano 67  
 Mantovi Paolo 205  
 Marchio Francesco 159  
 Margon Alja 275  
 Mari Massimo 114  
 Martini Raffaella 343  
 Mazziotti Carla 114  
 Migliorati Christian 47  
 Montalti Francesca 132  
  
 Morgante Anna 176  
 Mufato Renzo 33  
 Murtas S 252  
  
 Nava Consuelo 169  
 Neri Esmeralda 132  
 Nisticò Valentina 245  
 Nuvolone Daniela 252  
  
 Oriolo Michaela 213  
 Oyonarte Silvia 185  
  
 Paganelli Daniela 367  
 Pagani Paolo 40  
 Palermo Stefano 299  
 Paltrinieri Diego 372  
 Pedron Enrico 53  
 Pellegatta Raffaele 309, 316  
 Pellegrini Marco 379  
 Pera Massimo 73  
 Perri Tiziana 213  
 Petri D 252  
 Picca Garin Roberto 343  
 Piccinini Sergio 101, 205, 282  
 Pieroni S 252  
 Pignatelli Vito 261  
 Pirani Roberto 81  
 Pirollo Lucia 199, 289  
 Pizzol Lisa 11  
 Pogliaghi Andrea 325  
 Pozzi Paolo 121, 126, 132  
 Prada Nevio 325  
 Prats Daniel 185  
 Prezioso Stefano 299  
 Procopio Andrea 107  
  
 Romero María Ángeles Bernal 185  
 Raggi Andrea 139, 176  
 Randazzo Giovanni 372  
 Ravoni Filippo 213  
 Riva Monica 146  
  
 Saccani Cesare 379

Sahu Ashish 235  
Santoro Carlo 153, 261  
Sapio Francesca 325  
Sbarbaro Giuseppe 40  
Sciarra G 252  
Sebastianelli Giulia 146  
Siciliano Alessio 159  
Signorini Marco 40  
Simboli Alberto 176  
Soldano Mariangela 282  
Sperduti Antonio 86  
Spizzirri Massimo 191  
  
Taddeo Raffaella 176  
Targusi Monica 367  
Tesser Stefania 33

Toller Simone 386  
Turolla Andrea 225  
  
Ugolini Francesca 114  
Ugland Torleiv Næss 235  
  
Valentini Andrea 92  
Vasumini Ivo 386  
Verdura Maria Grazia 395  
Verzellesi Fabio 269  
Veschetti E 252  
Vezzoli Daniele 316  
Visigalli Simone 225  
Voller F 252  
  
Zanetti Paola 205

