

L'acqua, fonte di risorse e informazione,
al centro delle politiche europee

C. Cacciatori, R. Maffettone, S. Tavazzi, T. Casado
Poblador, G. Mariani, B. Manfred Gawlik **p. 10**

Come affrontare lo stress delle
risorse idriche in Europa

Nihat Zal **p. 15**

Migliorare l'uso dell'acqua in
agricoltura: i possibili scenari

Nicola Lamaddalena **p. 27**

Energia Ambiente e Innovazione

ENEA magazine
1/2023
eai.enea.it

SOS Acqua

La risorsa idrica fra nuovi rischi,
strategie di tutela e di utilizzo

LE INTERVISTE: Andrea Guerrini
Giordano Colarullo

Salute, clima, ambiente e sviluppo: il “valore” dell’acqua



di Gilberto Dialuce, Presidente ENEA

Il momento storico in cui stiamo andando in stampa con ‘SOS Acqua’, il numero della nostra rivista dedicato alla risorsa idrica, è certamente uno dei più difficili dal punto di vista dell’emergenza siccità.

Secondo il recente **rapporto Copernico della Commissione Europea**, nel 2022 in gran parte dell’Europa Sud-Occidentale sono state rilevate sostanziali anomalie dell’umidità del suolo e dei livelli dei corpi idrici a causa di un inverno eccezionalmente secco e caldo, caratterizzato da bassi livelli di precipitazioni nevose e con gli effetti della siccità già visibili in Francia, Spagna e Nord Italia. Per quanto riguarda il nostro Paese, per una buona parte dei fiumi e dei laghi del Nord Italia si sono rilevati, nel periodo invernale, dei livelli idrici tipici del periodo estivo, il che pone serie preoccupazioni sia per le attività agricole che per la produzione energetica.

A fronte dei sempre più evidenti effetti dei cambiamenti climatici, si rilevano ancora, purtroppo, modalità di uso non sostenibile della risorsa: gli ultimi dati resi noti dall’**ISTAT in occasione della giornata mondiale dell’acqua 2023** parlano chiaro: con 9,2 miliardi di metri cubi, il prelievo di acqua potabile è il più alto in Europa (il 30,5% avviene nel distretto idrografico del fiume Po) mentre le perdite idriche si assestano su un valore di 42,2% dell’acqua immessa in rete. Al contempo, l’Italia è il paese europeo caratterizzato dal maggior prelievo di acque minerali, in costante crescita.

Oltre alle conseguenze sulla disponibilità della risorsa ed i relativi usi, gli effetti del cambiamento climatico influiscono anche sulla qualità delle acque superficiali, con ripercussioni dirette sulla sicurezza alimentare e sulla produttività di molti settori.

Per far fronte a tali criticità, il **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza** ha stanziato 3,95 miliardi di Euro con misure che mirano a migliorare l’efficienza dell’infrastruttura idrica, a ridurre sia le perdite che la differenza nella qualità dei servizi erogati (il cosiddetto water service divide) tra il Sud e Nord del Paese ed a migliorare la governance del servizio idrico integrato. In tale contesto, appare essenziale garantire un ruolo di primo piano alla ricerca ed all’innovazione tecnologica, come ha sottolineato anche la **Presidente del Consiglio dei Ministri Giorgia Meloni** annunciando un decreto ad hoc con l’istituzione di una cabina di regia e di un Commissario poi individuato nella persona di Nicola Dell’Acqua, in grado di coordinare le diverse attività e competenze. Tutto ciò con l’obiettivo di procedere da un lato con le necessarie semplificazioni e deroghe per accelerare i lavori essenziali e, dall’altro, di favorire l’utilizzo di nuove tecnologie e di realizzare una campagna di sensibilizzazione nei confronti degli utilizzatori e degli stakeholder.

Questo numero di ‘Energia, Ambiente e Innovazione’ pone l’accento sulla risorsa acqua offrendo una disamina delle diverse criticità, sempre più attuali e importanti soprattutto in un Paese ad elevata vulnerabilità come l’Italia, e promuovendo, con esperti e ricercatori, **il ruolo della R&S&I** nel potenziare il monitoraggio del territorio, contribuire alla sicurezza delle infrastrutture critiche, migliorare l’efficienza degli impianti di trattamento e gestione, favorire investimenti mirati per accrescere la resilienza, salvaguardare uomo ed ambiente e promuovere una crescita sostenibile.

E infatti, al di là dei motivi contingenti connessi con l'emergenza, uno degli obiettivi di questo numero tematico della rivista è anche quello di **valorizzare il contributo che le attività di ricerca e sviluppo tecnologico condotte da parte di ENEA possono fornire verso la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali**, in un territorio fragile, minacciato dal rischio idrogeologico, dall'impoverimento dei suoli e dagli effetti del cambiamento climatico, con il rischio crescente di conflitti per l'utilizzo della risorsa idrica.

ENEA contribuisce agli obiettivi di tutela ecosistemica e sviluppo sostenibile, in costante relazione con le istituzioni che governano il territorio, mediante studi, ricerche e progetti che si pongono l'obiettivo di definire politiche di governance, promuovere un uso sostenibile delle risorse idriche, mettere in atto processi di riqualificazione ambientale.

Come evidenziano i numerosi contributi della sezione '**Focus ENEA**' della rivista, il ruolo della scienza e della tecnologia può e deve essere determinante per salvaguardare la risorsa idrica dalle molteplici pressioni determinate dal cambiamento climatico, preservandone la disponibilità e garantendo la sua tutela a salvaguardia della salute umana, dei servizi ecosistemici e della biodiversità.

Il cambiamento climatico è in corso ora a livello globale, con gli impatti su acqua e salute sempre più evidenti a livello locale: questa consapevolezza deve stimolarci ad intervenire subito, iniziando dalla prevenzione e favorendo la necessaria sensibilizzazione ed il coinvolgimento della cittadinanza e dei principali utilizzatori, per poi procedere con la definizione di una strategia d'intervento nazionale e l'implementazione di soluzioni di adattamento declinate su scala regionale e locale in grado di preservare il bene più prezioso e antico di cui disponiamo.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'Flu'.

SOS Acqua – La risorsa idrica fra nuovi rischi, strategie di tutela e di utilizzo



“La linfa vitale dell’umanità - l’acqua - è sempre più a rischio in tutto il mondo a causa del consumo eccessivo e dello sviluppo eccessivo; tra i due e i tre miliardi di persone nel mondo soffrono di carenza d’acqua e la situazione potrebbe peggiorare causando migrazioni e conflitti. Da qui al 2050, la popolazione urbana in stress idrico aumenterà dell’80% passando dai 930 milioni del 2016 a una cifra compresa tra 1,7 e 2,4 miliardi”. È quanto si legge nel documento di apertura della Conferenza mondiale sull’acqua delle Nazioni Unite, che si è svolta dal 22 al 24 marzo 2022 a New York e nell’ambito della quale è stato presentato il rapporto Water 2023 dell’Unesco.

A fronte di un’emergenza come questa, l’ENEA ha scelto di dedicare all’SOS Acqua questo numero della rivista curata per la parte scientifica da Luigi Petta, Responsabile del Laboratorio Tecnologie per l’uso e gestione efficiente di acqua e reflui, con l’obiettivo di raccogliere i punti di vista di esperti, ricercatori, enti e istituzioni a livello nazionale e internazionale, offrendo una panoramica il più ampia possibile, ma anche per far comprendere come la ricerca possa dare un contributo sotto forma di servizi, soluzioni, tecnologie innovative e sostenibili, alla luce delle sfide che abbiamo davanti.

Il numero si apre con l’articolo di Roberto Morabito, Direttore del Dipartimento sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali, che sottolinea l’importanza di implementare approcci per l’uso e la gestione sostenibile e circolare a vari livelli, nei contesti urbani e in quelli industriali e produttivi, sviluppando iniziative e strumenti per promuovere la transizione verso modelli di produzione e consumo basati sull’uso efficiente delle risorse ed un cambio degli stili di vita. Sulla stessa linea l’Agenzia Europea dell’Ambiente che con l’esperto Nihat Zal, sottolinea come a livello europeo lo stress idrico sia stato percepito come un problema solo a partire dai primi anni 2000 e stia diventando sempre più diffuso e frequente. Da parte loro, i ricercatori del JRC, il Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea, presentano le attività a supporto delle politiche e delle normative europee che promuovono la circolarità della risorsa idrica da recuperare mentre Nicola La Maddalena, membro di FAO-WAREG e Vicedirettore CIHEAM passa in rassegna le misure tecniche e di gestione necessarie per far fronte all’emergenza.

Una sfida che è necessario affrontare insieme, come affermano Benedetta Brioschi e Nicolò Serpella di The European House - Ambrosetti che, attraverso la community “Valore Acqua per l’Italia”, lavorano per una piattaforma di confronto permanente multistakeholder. Aspetti normativi, criticità e scenari sono al centro del contributo di Enrico Rolle della Fondazione Sviluppo Sostenibile e Fabio Trezzini del Gruppo 183 che analizzano gli aspetti ai quali occorrerà prestare attenzione negli anni a venire per recepire le più recenti norme comunitarie.

Ma come afferma nella sua intervista il DG di Utilitalia Giordano Colarullo oggi la sfida è il recupero accelerato del gap infrastrutturale e il tema della governance è fondamentale. Per Andrea Guerrini, componente del Collegio ARERA, l’Autorità di regolazione per Energia, Reti e Ambiente e presidente di WAREG, l’Associazione europea dei regolatori dell’Acqua, occorre un approccio a 360 gradi ragionando sulle connessioni tra i vari settori e un impegno istituzionale a vari livelli.

Di fatto, alla sfida globale dell’Acqua il mondo della ricerca può dare un apporto strategico attraverso innovazioni, soluzioni e un’informazione scientificamente rigorosa per un cambio di paradigma negli stili di vita come dimostrano anche gli interventi delle ricercatrici e dei ricercatori ENEA nei 15 focus e nelle schede di progetto che completano la rivista e si propongono di dare soluzioni e contribuire ad affrontare l’SOS Acqua.

Cristina Corazza

N. 1 Marzo 2023

Direttore Responsabile

Cristina Corazza

Comitato di direzione

Ilaria Bertini, Alessandro Coppola, Alessandro Dodaro, Giorgio Graditi, Roberto Morabito

Comitato tecnico-scientifico

Paola Batistoni, Francesco Gracceva, Mario Jorizzo, Chiara Martini, Federica Porcellana

Redazione

Laura Di Pietro, Roberto De Ritis, Paola Giaquinto, Laura Moretti, Fabiola Falconieri (per i testi in inglese)

Progetto grafico ed elaborazione tecnica

Flavio Miglietta

Elaborazione grafica copertina

Maurizio Giuliani

Edizione web

Antonella Andreini, Serena Lucibello

Promozione e comunicazione

Paola Giaquinto

Stampa

Laboratorio Tecnografico
Centro Ricerche ENEA Frascati
Numero chiuso nel mese di novembre 2022

Registrazione

Tribunale Civile di Roma
Numero 42/2019 del 28 marzo 2019
(versione stampata)
Numero 43/2019 del 28 marzo 2019
(versione telematica)

Foto in copertina: credits AdobeStock



10

L'acqua, fonte di risorse e informazione, al centro delle politiche europee

di Caterina Cacciatori, Roberta Maffettone, Simona Tavazzi, Tanja Casado Poblador, Giulio Mariani, Bernd Manfred Gawlik

- 1 Salute, clima, ambiente e sviluppo: il "valore" dell'acqua
di *Gilberto Dialuce*
- 3 SOS Acqua - La risorsa idrica fra nuovi rischi, strategie di tutela e di utilizzo
di *Cristina Corazza*

L'INTERVENTO

- 6 Innovazione, circolarità, sostenibilità: la strategia ENEA per preservare l'oro blu
di *Roberto Morabito*

GLI SCENARI

- 10 L'acqua, fonte di risorse e informazione, al centro delle politiche europee
di *Caterina Cacciatori, Roberta Maffettone, Simona Tavazzi, Tanja Casado Poblador, Giulio Mariani, Bernd Manfred Gawlik*
- 15 Water resources across Europe: confronting water stress (*English version*)
Come affrontare lo stress delle risorse idriche in Europa (*versione italiana*)
di *Nihat Zal*
- 20 La risorsa acqua: il nostro passato, presente e futuro
di *Benedetta Brioschi e Nicolò Serpella*
- 23 Gestione delle risorse idriche: criticità e scenari
di *Enrico Rolle e Fabio Trezzini*
- 27 Migliorare l'uso dell'acqua in agricoltura: i possibili scenari
di *Nicola Lamaddalena*

LE INTERVISTE

- 32 *Andrea Guerrini*: Per le infrastrutture idriche passi in avanti ma servirebbero 10 miliardi
- 35 *Giordano Colarullo*: Nel settore acqua oggi più luci che ombre

FOCUS ENEA

- 39 L'approccio ENEA alla gestione sostenibile e circolare dell'acqua
di *Claudia Brunori e Luigi Petta*
- 43 Valorizzazione della risorsa idrica: la comunicazione a vantaggio di consumatori e aziende
di *Luigi Sciubba, Marco Ferraris, Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Luigi Petta, Francesca Cappellaro, Valentina Fantin, Silvia Sbaiffoni, Pier Luigi Porta, Carolina Innella*
- 47 Fronteggiare la siccità: il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura
di *Gianpaolo Sabia, Luigi Sciubba, Luigi Petta*

Sommario



27 Migliorare l'uso dell'acqua in agricoltura: i possibili scenari
di *Nicola Lamaddalena*



6 Innovazione, circolarità, sostenibilità: la strategia ENEA per preservare l'oro blu
di *Roberto Morabito*



39 L'approccio ENEA alla gestione sostenibile e circolare dell'acqua
di *Claudia Brunori e Luigi Petta*

- 51** Recupero di materie dalle acque reflue in ottica di economia circolare
di *Alessandro Spagni, Marco Ferraris, Gianpaolo Sabia, Roberta De Carolis*
- 55** I microinquinanti organici e le microplastiche nel ciclo integrato delle acque
di *Roberta Guzzinati, Simone Busi, Stefania Casu, Carmela Maria Cellamare, Luigi Petta, Maria Sighicelli, Patrizia Menegoni, Francesca Lecce*
- 59** La gestione dei fanghi di depurazione in ottica di economia circolare
di *Silvia Di Fabio, Antonio Giuliano, Michela Langone, Luigi Petta*
- 63** Processi biologici innovativi e modellazione matematica per l'innovazione dei sistemi di depurazione
di *Michela Langone, Davide Mattioli, Gianpaolo Sabia, Luigi Petta*
- 67** Metodologie e strumenti per l'analisi delle prestazioni energetiche degli impianti di depurazione
di *Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Luigi Petta, Michela Langone*
- 71** Recupero di energia termica in fognatura ed effetti sulla depurazione delle acque
di *Davide Mattioli, Gianpaolo Sabia, Margherita Altobelli, Marco Maglionico*
- 74** Soluzioni per la gestione sostenibile dell'acqua nel settore agroalimentare
di *Nicola Colonna, Giuseppe Di Natale, Ilario Piscioneri, Daniele Pizzichini, Claudio Russo*

- 78** L'utilizzo sostenibile della risorsa idrica e la tutela delle acque interne
di *Maria Rita Minciardi, Simone Ciadamidaro, Maria Sighicelli, Sonia Manzo, Giovanna Armiento*
- 82** Valutazione della risorsa idrica su base territoriale
di *Sergio Cappucci, Luca Maria Falconi, Francesco Pasanisi, Carlo Tebano, Marco Proposito*
- 87** Il telerilevamento applicato al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua
di *Elena Candigliota e Francesco Immordino*
- 94** Gestione della risorsa idrica in condizioni di scarsità e nei Paesi in via di sviluppo
di *Filippo Moretti e Marco Proposito*
- 97** Tecnologie innovative per il controllo delle acque reflue
di *Luca Luccarini*
- 102** Il controllo dei trialometani nei sistemi acquedottistici
di *Grazia Fattoruso*

I PROGETTI DI RICERCA

- 107** RECiProCo: Realizzazione di strumenti e iniziative sull'economia circolare a vantaggio dei consumatori
- 108** La Piattaforma Nazionale del Fosforo

- 109** VALUE CE-IN: VALorizzazione di acque reflue e fanghi in ottica di economia Circolare e simbiosi Industriale
- 110** Trattamento dei fanghi biologici nell'ambito del Joint Cooperation Agreement ENI-ENEA
- 111** Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali
- 112** Protezione dalle alluvioni, incremento della biodiversità e miglioramento della qualità della vita nel Parco del Lura
- 113** Sviluppo di processi biologici di conversione della CO₂ in biometano
- 114** L'applicazione integrata delle Direttive "Natura" e della Direttiva "Acque" nei territori fluviali
- 115** ISSPA: Innovazione, sviluppo e sostenibilità per pesca e acquacoltura in Campania
- 116** Il progetto Blu Lakes per il monitoraggio delle microplastiche nei laghi
- 117** Progetto di razionalizzazione della risorsa idrica nell'arcipelago di Palau, Micronesia

L'intervento

Innovazione, circolarità, sostenibilità: la strategia ENEA per preservare l'oro blu

L'acqua è un bene indispensabile per il sostentamento degli equilibri naturali e per tutte le attività antropiche. Meno dell'1% delle risorse idriche del pianeta costituisce una riserva di acqua dolce effettivamente utilizzabile, il cui stato quali-quantitativo è sottoposto a stress sempre crescenti sia a livello globale che locale, dovuti alle pressioni antropiche ed agli effetti dei cambiamenti climatici che si traducono in sempre più frequenti episodi di scarsità idrica, siccità, fenomeni alluvionali, di dissesto idrogeologico e compromissione della qualità delle risorse. Al fine di contrastare gli effetti degli stress a cui è sottoposta la risorsa idrica, occorre implementare tecnologie e approcci per l'uso e la gestione sostenibile e circolare a vari livelli, sia nei contesti urbani che in quelli industriali e produttivi, sviluppando iniziative e strumenti per promuovere la transizione verso modelli di produzione e consumo basati sull'uso efficiente delle risorse ed un cambio degli stili di vita.



di **Roberto Morabito**, *Direttore Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali – ENEA*

L'acqua è un bene indispensabile per il sostentamento degli equilibri naturali e per tutte le attività antropiche. Meno dell'1% delle risorse idriche del pianeta costituisce una riserva di acqua dolce effettivamente utilizzabile, il cui stato quali-quantitativo è sottoposto a stress sempre crescenti sia a livello globale che locale, dovuti alle pressioni antropiche ed agli effetti dei cambiamenti climatici che si traducono in sempre più frequenti episodi di scarsità idrica, siccità, fenomeni alluvionali e di dissesto idrogeologico, compromissione della qualità delle risorse. I più recenti rapporti della Commissione europea e delle principali organizzazioni internazionali sottolineano la necessità di sviluppare adeguate misure finalizzate ad agevolare la transizione dal modello di economia lineare, attualmente prevalente, verso un modello di economia circolare in grado di valorizzare un uso efficiente delle risorse; tale necessità viene universalmente riconosciuta come particolarmente pressante per il bene acqua.

La scarsità d'acqua costituisce già oggi un problema grave per alcuni Stati dell'Unione Europea; secondo la Commissione Europea, almeno l'11% della popolazione europea e il 17% del suo territorio sono stati colpiti da scarsità d'acqua. I Paesi sottoposti a maggiori rischi di carenza idrica sono principalmente localizzati nelle aree mediterranee del continente europeo (Ambrosetti, 2021). Durante la stagione estiva, oltre la metà della popolazione della regione mediterranea è colpita dallo stress idrico. In base al Water Exploitation Index (WEI, definito dal rapporto su base annua tra il prelievo idrico e le risorse idriche rinnovabili), l'Italia si colloca tra i Paesi europei con stress idrico più elevato, pari al 24% (SRM, 2017).

Un Paese ad elevata vulnerabilità climatica

L'Italia è considerato un Paese ad elevata vulnerabilità climatica, intesa come la scarsa capacità di adattamento ad eventi legati al cambiamento climatico (Ambrosetti, 2022). **Ad incidere pesantemente sulla disponibilità**




dell'acqua saranno sempre più gli effetti dei cambiamenti climatici: all'aumento di un grado della temperatura terrestre corrisponde, infatti, secondo dati GIEC (Gruppo Intergovernativo degli Esperti sul Cambiamento Climatico), una riduzione del 20% della disponibilità delle risorse idriche. **In assenza di misure decise e risolutive, si stima che al 2030 la disponibilità di acqua a livello globale risulterà inferiore del 40% rispetto ai valori rilevati al 2013 (dati ONU).**

In tale contesto, il percorso di adattamento e adeguamento allo scenario corrente non può prescindere dalla primaria esigenza di definire un nuovo assetto per la normativa di settore, in ambito sia europeo che nazionale, finalizzato a fornire una adeguata risposta alle nuove esigenze di tutela (es. introduzione di nuovi standard di qualità per i contaminanti emergenti) e definire nuove modalità di gestione e recupero dei prodotti di scarto, valorizzando i percorsi di chiusura dei cicli e favorendo, ove possibile, la declinazione degli approcci di economia circolare. Inoltre, in ambito nazionale, **risulta prioritario colmare i gap di tipo infrastrutturale e gestionale (es. perdite idriche, gestione fanghi di depurazione) che interessano ampi settori del servizio idrico integrato.** Particolare rilievo viene assunto dal fenomeno delle perdite idriche lungo le reti di distribuzione, che superano il 42% e sono dovute non solo alle perdite lungo le condotte ma anche ai consumi non autorizzati ed agli errori di misura (ARERA, 2021). I recenti investimenti messi in campo dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) per le infrastrutture idriche puntano a fornire una prima consistente risposta per migliorare l'efficienza del servizio idrico integrato.

Gestire la risorsa idrica in ottica circolare

Gestire la risorsa idrica in ottica circolare richiede interventi nelle diverse fasi del ciclo. Occorre innanzitutto garantire una gestione appropriata della risorsa a livello territoriale ed urbano per prevenire e contrastare fenomeni di dissesto idrogeologico ed alluvionali. A tal fine, oltre ai necessari interventi di prevenzione e di sistemazione territoriale finalizzati al contenimento del rischio idrogeologico, occorre garantire la gestione appropriata dei deflussi in ambito urbano (es. acque di pioggia o runoff, realizzazione di reti separate e sistemi di accumulo delle acque meteoriche, gestione degli scaricatori di piena delle reti miste) anche e soprattutto mediante **l'introduzione di cosiddette NBS (Natural Based Solutions)** in grado di garantire una maggiore sostenibilità a livello territoriale.

La prima linea di difesa contro la scarsità di acqua dovrebbe essere una strategia di gestione della domanda globale (a scopo idropotabile, irriguo, industriale ed energetico) che promuova stili di vita e processi produttivi sostenibili e crei incentivi concreti per il risparmio, la conservazione (contrastando la dispersione nelle reti di distribuzione) e la resilienza delle fonti e delle relative infrastrutture idriche di derivazione e trasporto. Oltre alle necessarie misure di carattere impiantistico e gestionale finalizzate al risparmio ed al riutilizzo idrico, tali obiettivi vanno perseguiti anche e soprattutto mediante **azioni volte ad incrementare la consapevolezza dei cittadini** ed in generale degli operatori e utenti del servizio idrico integrato, anche mediante l'introduzione di meccanismi incentivanti, al fine di indurre la riduzione degli sprechi e favorire l'applicazione di comportamenti e usi



più virtuosi tesi alla salvaguardia della risorsa idrica. **Un secondo aspetto fondamentale riguarda la valorizzazione e l'utilizzo di risorse idriche non convenzionali.** La gestione delle acque reflue di origine civile in ottica di economia circolare si traduce in primo luogo nel riutilizzo degli effluenti depurati prevalentemente in settori idroesigenti quali l'agricoltura, e nel recupero sostenibile delle risorse materiali ed energetiche contenute nelle acque reflue, trasformando così i depuratori municipali in veri e propri impianti di bio-raffinazione urbana in grado di recuperare la risorsa idrica primaria e convertire sostanze di scarto in prodotti utili, quali biogas e biometano, fertilizzanti (azoto, fosforo), sostanze organiche (cellulosa, poliidrossialcanoati usati nella produzione di bioplastiche).

In tale scenario occorre quindi favorire la progressiva conversione degli attuali impianti di depurazione in presidi in grado non solo di garantire gli standard di qualità degli effluenti depurati ma di massimizzare le opportunità di recupero sia di materia che di energia, in linea con le fasi di adeguamento della normativa di settore tutt'ora in corso.

Da un lato, quindi, risulta prioritario garantire l'efficienza dei processi di trattamento depurativo anche nei confronti dei contaminanti cosiddetti emergenti, tra cui risultano incluse anche le microplastiche ed i microinquinanti organici di origine farmaceutica o cosmetica; allo stesso tempo, si rende necessaria una **progressiva conversione degli attuali cicli depurativi tale da favorire il recupero di materie prime secondarie e perseguire l'efficienza energetica.** Tale percorso, peraltro delineato nelle recenti proposte di modifiche della normativa comunitaria di settore, dovrà essere accompagnato dall'adeguamento e/o innovazione dei processi di trattamento, da supportare mediante l'indispensabile implementazione di soluzioni digitali avanzate in grado di acquisire dati ed informazioni capillari lungo le reti e negli impianti, consentendo l'efficientamento dei processi ed il loro controllo avanzato.

Strumenti e approcci per un consumo più sostenibile

La chiusura dei cicli di uso e gestione della risorsa idrica prevede un forte coinvolgimento degli utilizzatori, che sono attori chiave nella transizione verso un modello di consumo più sostenibile e circolare. In particolare, risulta di prioritaria importanza evidenziare il ruolo chiave ed essenziale della risorsa "acqua" nell'ambito di tutti gli

ecosistemi e per le principali attività antropiche, a fronte del ridotto valore economico attualmente attribuito in fase di fornitura, che in una logica di consumo non è tale da rappresentare le difficoltà, il valore e l'importanza di poter contare sulla disponibilità di tale risorsa. A tal riguardo, è fondamentale realizzare iniziative e strumenti per la formazione e per l'informazione dei consumatori e degli stakeholders di settore, con l'obiettivo di promuovere la consapevolezza e la modifica degli stili di vita e di consumo. Di particolare rilievo in tal senso sono le iniziative che prevedono l'implementazione di Urban Living Lab (ULL), strumento di progettazione centrato sulle persone ed utilizzato nei processi di innovazione sociale, con cui si possono sensibilizzare cittadini e consumatori ad un approccio al consumo in ottica di economia circolare basato sul risparmio e il riutilizzo delle risorse, utilizzando metodologie partecipative e teorico-pratiche, in cui è possibile ascoltare esperti e contemporaneamente avere spazi collaborativi di proposta e progettazione. Tali strumenti appaiono funzionali soprattutto per l'implementazione di misure di risparmio idrico in ambito urbano e residenziale, tra cui l'applicazione di semplici soluzioni tecniche che consentono il risparmio dell'acqua negli edifici (rubinetti a flusso ridotto, cassette wc a scarico ridotto) ed il riutilizzo delle acque meteoriche.

A supporto di scelte di consumo più sostenibili, inoltre, risultano sicuramente utili anche etichette di prodotto di facile lettura e semplice interpretazione in grado di esprimere il consumo idrico associato ai prodotti (Water Footprint).

Il riutilizzo delle acque reflue e la gestione dei fanghi di depurazione

Il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura, cioè il settore che in Italia utilizza attualmente il 50% delle risorse idriche prelevate, rappresenta una delle maggiori sfide per cogliere tutte le opportunità sottese dal cosiddetto Water-Energy-Food Nexus, prevenendo e contrastando i possibili rischi verso la salute umana e l'ambiente. Ai fini del riutilizzo delle acque reflue, l'attenzione deve essere posta a diversi aspetti, tra cui in via prioritaria: alla prevenzione dell'inquinamento alla fonte attraverso il divieto o il controllo puntuale nell'uso di alcune sostanze contaminanti; alla raccolta e trattamento delle acque reflue in modo efficace e diffuso; all'affinamento dei reflui e la loro distribuzione per farne una fonte alternativa di acqua, sicura ed economica, sia per l'irrigazione



che per le industrie e per l'ambiente; alla possibilità di recuperare energia e materiali presenti nelle acque reflue urbane, quali nutrienti come il fosforo e prodotti chimici come biopolimeri o cellulosa, riutilizzabili nell'industria o nell'agricoltura.

Per quel che concerne il riutilizzo delle acque reflue, un primo importante contributo per prevenire la carenza d'acqua nell'Unione Europea è venuto di recente dal Parlamento Europeo, che ha approvato il nuovo regolamento 2020/741 in cui sono definiti per la prima volta a livello europeo i requisiti minimi per l'utilizzo in modo sicuro per l'uomo e per l'ambiente delle acque reflue urbane. **Le nuove norme, vigenti da giugno 2023, mirano a garantire un riutilizzo delle acque reflue trattate in modo più ampio per alleggerire la richiesta settoriale di risorsa di acque superficiali e sotterranee, particolarmente presente nelle stagioni produttive fertirrigue.**

Inoltre, appare **prioritaria e indifferibile la definizione di modalità di smaltimento e riutilizzo per i fanghi di depurazione** in relazione alle loro caratteristiche e dell'ambito territoriale di riferimento, in modo da superare le attuali criticità in termini di incertezza normativa e di gestione de-localizzata. **Una gestione sostenibile dei fanghi è di fondamentale importanza per limitare l'impatto ambientale derivante dalla loro crescente produzione e per perseguire i principi di economia circolare su scala sia regionale che nazionale.** In termini di recu-

pero di energia e di recupero di preziose materie prime (es, carbonio, elementi nutrienti, acidi grassi a catena corta), il trattamento ed il recupero dei fanghi rappresenta una delle maggiori sfide ed opportunità di oggi, oltre che un'esigenza di carattere ambientale a superamento delle attuali problematiche nella gestione di tali matrici. Tra le risorse che è possibile recuperare dalle acque reflue e dai fanghi di depurazione, particolare rilevanza assume il **fosforo**, inserito dall'Unione Europea nella lista delle materie prime essenziali (Critical Raw Materials). Il fosforo è infatti materia prima critica per l'Europa in ragione della dipendenza quasi totale dalle importazioni da Paesi extra europei e del bassissimo tasso di riciclo da prodotti a fine vita.

Per quanto riguarda i fanghi, è attualmente in fase di revisione la direttiva 86/278/CEE, in accordo ai principi del "Circular Economy Action Plan" della Comunità europea oltre che alle Strategie europee per la bioeconomia e la biodiversità, che si affianca al piano "Farm to Fork" ed ai nuovo regolamento europeo sui prodotti fertilizzanti. Pur in presenza di un quadro tecnologico ed innovativo confortante, l'effettiva diffusione di percorsi circolari nel settore idrico è ad oggi ancora decisamente scarsa, e necessita dello sforzo di tutti gli operatori del settore affinché possa divenire una normale pratica operativa.

Bibliografia

- Direzione Studi e Ricerche e SRM Le risorse idriche nell'ambito della circular economy ottobre 2017
- ISTAT 2014 6° Censimento Generale dell'Agricoltura Utilizzo della Risorsa Idrica a fini Irrigui In agricoltura
- ISTAT 2019, Utilizzo e Qualità della Risorsa Idrica In Italia 2019 ISBN 978-88-458-1976-6
- The European House - Ambrosetti S.p.A. 2021 Libro Bianco 2021 Valore Acqua per l'Italia 2a Edizione
- The European House - Ambrosetti S.p.A. 2022 Libro Bianco 2022 Valore Acqua per l'Italia 2a Edizione
- Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue 2008/105/Ce Standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque - Modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/Cee, 83/513/Cee, 84/156/Cee, 84/491/Cee e 86/280/Cee, nonché modifica della direttiva 2000/60/Ce
- Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue 2006/118/Ce Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento
- Direttiva Parlamento Europeo e Consiglio Ue 2000/60/Ce Quadro per l'azione comunitaria in materia di acque
- Direttiva Consiglio Ue 91/271/Cee Trattamento delle acque reflue urbane - Proposta di direttiva di modifica direttiva quadro acque (2000/60/Ce), direttiva protezione acque sotterranee (2006/118/Ue) e direttiva standard di qualità ambientale per le acque (direttiva 2008/105/Ce) presentata dalla Commissione Europea il 26 ottobre 2022. Proposta di direttiva di rifusione della disciplina in materia di trattamento delle acque reflue urbane Presentata dalla Commissione europea il 26 ottobre 2022.

L'acqua, fonte di risorse e informazione, al centro delle politiche europee

L'acqua è il principio di tutte le cose. L'acqua è circolarità che tocca la società, i centri urbani, i servizi, l'energia, l'industria e l'agricoltura, ma anche le infrastrutture, le tecnologie, l'ambiente e la salute pubblica, tutto intrinsecamente interconnesso da questo flusso perenne. Questo testo presenta le attività del Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea a supporto delle politiche e delle normative Europee che promuovono la circolarità dell'acqua, una preziosa risorsa da recuperare con tutte le sue ricchezze, ma anche serbatoio di informazione sulla salute pubblica.

DOI 10.12910/EAI2023-004



di Caterina Cacciatori, Roberta Maffettone, Simona Tavazzi, Tanja Casado Poblador, Giulio Mariani, Bernd Manfred Gawlik, Centro Comune di Ricerca, Commissione Europea

L'acqua conserva la memoria delle sostanze con cui è stata a contatto. Questo fatto da sempre ha contribuito alla mitizzazione dell'oro azzurro. Tutte le religioni considerano l'acqua pura come fonte spirituale della vita e l'acqua oscura come forza del male. A livello microscopico, la risorsa idrica porta con sé una traccia umana nel suo percorso. Questa traccia può dirci molto su coloro che ha incontrato, sulle loro abitudini, se eran tristi, oppure ammalati, può raccontarci la loro storia. Come scriveva Victor Hugo ne *I Miserabili* nel 1864, facendo riferimento alle fogne di Parigi, la storia degli uomini si riflette nella fogna, coscienza della città. L'acqua può anche raccontarci quanto è in salute chi ha incontrato nel suo viaggio. Questo **legame tra**

acqua e salute fu intuito già nel 1854, da John Snow, un medico inglese, pioniere del metodo epidemiologico, quando individuò nell'acqua inquinata la causa delle epidemie di colera a Londra^[1]. Questa scoperta, confermata indipendentemente anche da altri studiosi, per esempio, in Germania nella stessa epoca, influenzò in modo determinante la sanità pubblica e la costruzione di impianti di depurazione più efficienti dal XIX secolo. Da allora, **il trattamento dei reflui svolge un ruolo indispensabile per il mantenimento degli standard igienico-sanitari per la protezione della salute umana e dell'ambiente.**

La normativa europea

Nell'Unione Europea, la qualità della risorsa idrica è strettamente

regolata da una serie di direttive e regolamenti raggruppati sotto la Direttiva 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque) che istituisce un campo d'azione comunitario in materia di protezione delle risorse idriche. In questo vasto ambito si annoverano infatti la Direttiva 91/271/CEE sul trattamento delle acque reflue urbane, la Direttiva 2020/2184 riguardante la qualità delle acque destinate al consumo umano, la Direttiva 86/278/CEE per il riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, la Direttiva 2006/7/CE sulla gestione delle acque di balneazione, la Direttiva 2006/118/CE sulla protezione delle acque sotterranee e la Direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientali delle acque superficiali, il cosiddetto Water Acquis.

L'implementazione di questo contesto normativo, insieme agli sforzi politici di ciascuno Stato membro e ai progressi tecnologici, ha portato al miglioramento della qualità dello stato ecologico dei corpi idrici, con il fine ultimo di prevenirne il deterioramento qualitativo e quantitativo, assicurandone un utilizzo sostenibile.

Tuttavia, le cause alla radice dell'inquinamento sono difficili da smantellare, soprattutto se l'acqua viene gestita come risorsa economica da prendere, utilizzare e poi smaltire.

Negli impianti per il trattamento di acque reflue o destinate al consumo umano, per esempio, i trattamenti seguono processi lineari in cui la risorsa acqua viene immessa, distribuita, utilizzata, trattata e restituita all'ambiente generalmente ad una qualità inferiore rispetto a quella originaria al momento di estrazione. La linearità di tali processi non ha considerato la circolarità intrinseca dell'acqua ed è quindi risultata essere un approccio non sostenibile.

Negli ultimi anni l'economia circolare è diventata un elemento costitu-

tivo del nuovo Green Deal europeo nell'ambito del Piano d'azione per l'economia circolare^[2] ed **il settore idrico ha fatto importanti passi avanti nella riprogettazione dei propri processi depurativi e nella rivalutazione dei flussi di rifiuto per garantire una gestione circolare della risorsa idrica.** Basti pensare alla Direttiva sui fanghi di depurazione (Direttiva 86/278/CEE), la più antica legislazione dell'UE relativa all'acqua e al suolo, che stabilisce i requisiti minimi per garantire un utilizzo sicuro dei fanghi come fertilizzante e che, con la recente fase di revisione, integra misure per l'uso sicuro dei fanghi oltre quello agricolo, per affrontare la contaminazione emergente e per promuovere la digitalizzazione nel settore.

Il riutilizzo delle acque reflue

Le acque reflue sono un altro esempio di risorsa solo parzialmente sfruttata in termini, per esempio, di recupero dei nutrienti. Esse, infatti, rappresentano un'importante fonte di azoto e fosforo. Secondo una relazione dell'Agencia Europea

per l'Ambiente (European Environmental Agency, EEA), la quantità di nutrienti disponibili per il recupero dai fanghi di depurazione nei 27 Stati membri è calcolata tra 6900 e 63000 tonnellate di fosforo e 12400 e 87500 tonnellate di azoto, corrispondenti allo 0,6-6% e allo 0,1-1% d'uso^[3]. Il caso del fosforo è particolarmente interessante, considerando che degli 11.2 milioni di tonnellate utilizzati in agricoltura, 2.4 milioni di tonnellate vengono importate da fuori l'Unione Europea^[4,5]. Anche le acque reflue in uscita dagli impianti di trattamento, il cui riutilizzo in agricoltura è regolamentato dal Regolamento (UE) 2020/741 recante prescrizioni minime per il riutilizzo, rappresentano una risorsa nell'ottica dell'economia circolare.

Il Cento Comune di Ricerca (CCR) della Commissione Europea, insieme al Direttorato Generale per l'Ambiente (DG ENV) e a rappresentanti degli Stati membri, a gruppi di stakeholder e ad esperti del settore, ha svolto un ruolo importante sia nella stesura del regolamento, consigliando nella definizione dei criteri mi-



nimi^[6], sia nella redazione di linee guida per l'elaborazione del piano di gestione dei rischi per gli impianti di affinamento connessi al riutilizzo in campo agricolo^[7].

Il regolamento, che si applicherà a decorrere dal 26 giugno 2023, è un grande passo avanti verso una gestione circolare dei reflui, soprattutto considerando i frequenti eventi di siccità vissuti negli ultimi anni nell'intera area mediterranea ed oltre. Tuttavia, la mera presenza di direttive, regolamenti e iniziative non garantisce la loro omogenea implementazione negli Stati membri. La direttiva sui fanghi di depurazione ha ricevuto risposte molto diverse in tutta Europa; la Svezia, per esempio, ha messo in atto un approccio circolare ampiamente sostenuto e partecipativo per il recupero e l'uso dei fanghi in agricoltura, mentre la Germania è prossima a fermare l'applicazione dei fanghi sui campi^[3]. Un comportamento simile è stato osservato anche in relazione all'attuazione del regolamento per il riutilizzo dell'acqua e alle linee guida per il piano di gestione dei rischi.

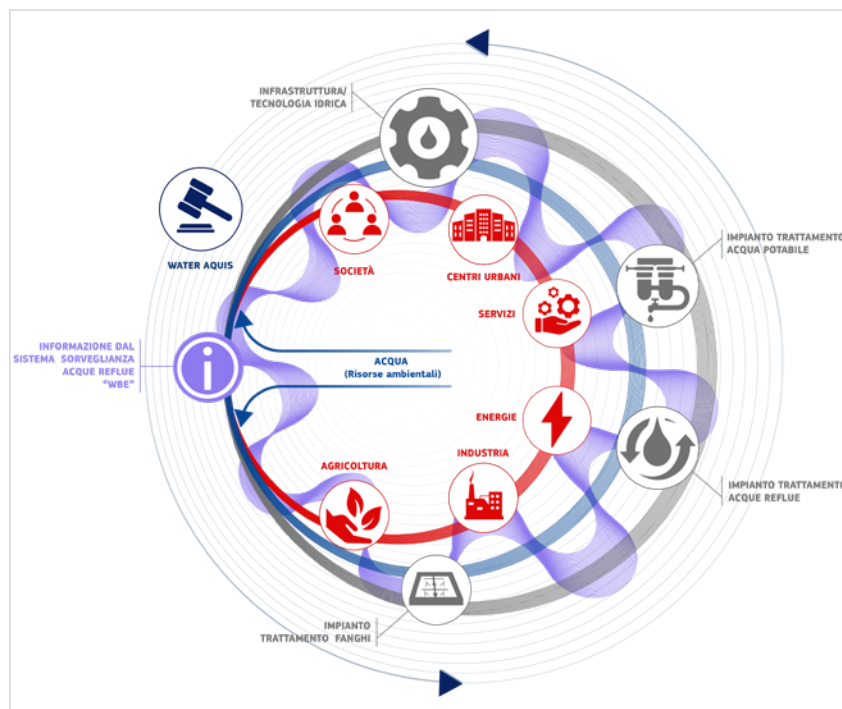
In linea generale, alcuni attori spingono per un approccio politico che consideri l'ambiente una risorsa che garantisca acqua pulita, cibo sicuro e salute umana ed ecosistemica in termini di inquinamento accettabile. Per essi, il quadro normativo garantisce misure minime sufficienti per la protezione della salute umana e degli ecosistemi senza ostacolare il riutilizzo dell'acqua, unica fonte disponibile soprattutto in territori con problemi di siccità. D'altra parte, altri attori sostengono la necessità di misure più rigorose e un approccio precauzionale che limiti, ad esempio, la contaminazione dei corpi idrici e la conseguente perdita di biodiversità e i possibili impatti negativi sulla salute. **Le linee guida elaborate**

dal CCR^[7] forniscono un approccio flessibile finalizzato a garantire un equilibrio tra una prospettiva rigeneratrice e una prospettiva protettiva della salute umana e dell'ambiente. L'utilizzo sicuro di acqua trattata in campo agricolo deve tener conto sia dell'assetto normativo esistente per la salute e la protezione ambientale, sia dell'applicazione di specifici strumenti volti ad identificare rischi aggiuntivi sul sistema in esame senza precludere i benefici derivanti dal riutilizzo.

Acqua e salute

Lo stretto legame tra acqua e salute è stato fortemente riconfermato durante la pandemia di COVID-19 quando la comunità scientifica internazionale ha riconsiderato le acque reflue come serbatoio di conoscenza unico e complementare alle strategie di sorveglianza e alle campagne diagnostiche sulla popolazione, rilanciando l'epidemiologia basata sui reflui, la Wastewater-Ba-

sed Epidemiology (WBE), in inglese. Con la Raccomandazione (UE) 2021/472 del 17 marzo 2021 relativa ad un approccio comune per istituire una sorveglianza sistematica del SARS-CoV-2 e delle sue varianti nelle acque reflue dei paesi dell'Unione^[8], la Commissione Europea ha riconosciuto la necessità della creazione di un sistema sentinella per il monitoraggio del virus SARS-CoV-2 nelle acque reflue. In questo contesto, sotto il coordinamento del CCR^[9] le numerose attività di sorveglianza del virus sviluppatasi a livello nazionale sono state individuate e messe a confronto, favorendo così la creazione di una comunità pan-europea riunita sotto il progetto EU Sewage Sentinel System for SARS-CoV-2 (EU4S) (Sistema Sentinella delle Acque Reflue dell'UE per SARS-CoV-2). **Una rete mondiale di professionisti delle acque reflue, ricercatori, rappresentanti del settore sanitario e responsabili politici si è riunita in Town Halls, una serie**



di grandi riunioni on-line organizzate dal CCR, per scambiare informazioni e best practices sui metodi di analisi e monitoraggio del virus, nonché sulla gestione dei dati a supporto del processo decisionale.

Il CCR, in stretta collaborazione con l'Università di Darmstadt in Germania è stato tra i primi ad utilizzare il sequenziamento genomico per la rilevazione delle varianti di SARS-CoV-2 attraverso il monitoraggio dei reflui aeroportuali. Già nel novembre 2021, il sequenziamento genomico dei reflui aveva permesso la caratterizzazione di tutte le mutazioni della variante Omicron nelle acque reflue provenienti dall'aeroporto di Francoforte prima ancora del primo rapporto clinico confermato da un passeggero in arrivo il 26 novembre dello stesso anno^[10]. Un altro tra i risultati più tangibili dell'attività di coordinamento delle varie sorveglianze nazionali di SARS-CoV-2 svolta dal CCR è costituito dalla pubblicazione di una panoramica di alto livello e best practice su come intraprendere la sorveglianza di COVID-19 nelle acque reflue. Dal titolo originale di "WBE Cookbook", frutto della collaborazione di svariate decine di scienziati ed esperti professionisti del settore, il testo, in preparazione, riferisce tutti gli aspetti operativi dell'implementazione pratica della sorveglianza del virus affiancati da approfondimenti sull'interpretazione dei dati ottenuti in una prospettiva sia operativo-analitica che di interesse verso la salute pubblica. Inoltre, **per favorire la fruizione e l'utilizzo della conoscenza generata da queste attività, il CCR ha sviluppato anche una piattaforma digitale, la EU4S-DEEP, Digital Eu-**

ropean Exchange Platform, (<https://wastewater-observatory.jrc.ec.europa.eu/>). Questo strumento digitale si occupa della raccolta e della condivisione delle migliori pratiche di sorveglianza esistenti e dei risultati da esse originati con lo scopo di creare ed alimentare un ambiente collaborativo internazionale che promuova l'inter-calibrazione degli approcci analitici e la condivisione delle migliori pratiche di attuazione della sorveglianza.

Ma all'epidemiologia delle acque reflue è riconosciuto il potenziale di poter andare anche oltre il rilevamento del SARS-CoV-2, attraverso il monitoraggio di altri agenti patogeni responsabili di malattie insidiose come la poliomielite e influenza e addirittura oltre gli aspetti di salute pubblica, attraverso il monitoraggio di contaminanti, di batteri resistenti agli antibiotici, di sostanze stupefacenti e di prodotti farmaceutici al fine di identificare le azioni necessarie per la salvaguarda della risorsa idrica alla luce del contesto normativo europeo. Per arrivare a questa visione è necessario capire ancora di più quali siano **i processi che definiscono la composizione delle acque reflue.**

Le interazioni fra uomo e acqua

Pertanto, quando si lavora per passare ad un approccio circolare della gestione delle risorse idriche, **il ciclo idrologico dovrebbe diventare un ciclo idro-sociale**, in cui vengono prese in considerazione le interazioni tra uomo e acqua. In un lavoro recentemente pubblicato^[11] viene proposto un approccio alla risorsa idrica basato su un quadro socio-idro-economico che include come

nuovi componenti il coinvolgimento della comunità e la sua risposta comportamentale.

In questa visione, la sensibilità della comunità rappresenta il livello di minaccia che una comunità percepisce come in grado di influenzare la sua qualità di vita e salute, mentre la risposta comportamentale rappresenta le decisioni di gestione del territorio e dell'acqua che vengono prese in risposta a tali minacce.

Entrambe le componenti proposte sono particolarmente rilevanti rispetto all'ultimo grande passo compiuto in termini di rivalutazione dei flussi di acque reflue: la (ri)-scoperta dell'intuizione ottocentesca di John Snow delle acque reflue come specchio della società e fonte di informazioni sulla sua salute. In effetti, abbiamo appena iniziato a rifletterci nello specchio blu e ad immergerci più a fondo. La conoscenza e le informazioni raccolte possono fornire una guida per un approccio più olistico sulla salute umana e degli ecosistemi, ricordandoci che c'è un'acqua e una salute.

L'acqua non è solo informazione, ma anche preziosa risorsa da recuperare in tutte le sue forme.

Acronimi

EEA: Agenzia Europea per l'Ambiente
 CCR: Centro Comune di Ricerca
 CE: Commissione Europea
 CCE: Comunità Economica Europea
 DG ENV: Direttorato Generale per l'Ambiente
 DEEP: Digital European Exchange Platform

Bibliografia

1. J. Snow (1855), "On the mode of communication of cholera" by John Snow, M.D. London: John Churchill, New Burlington Street, England, 1855.
2. Commissione Europea (2020), "Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva". Com/2020/98 final. Link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
3. EEA (2020), "EEA Report, 2022, 5: Beyond water quality: Sewage treatment in a circular economy". Link: <https://www.eea.europa.eu/publications/beyond-water-quality-sewage-treatment>
4. Statista (2020), EU fertilizer imports by nutrient 2020 | Statista. Link: <https://www.statista.com/statistics/1179309/europe-an-union-fertilizer-imports-by-nutrient/>
5. Eurostat (2020), Agri-environmental indicator - mineral fertiliser consumption - Statistics Explained (europa.eu). Link: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption
6. L. Alcade Sanz, B.M. Gawlik (2017) "Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level" EUR 28962 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-77176-7, JRC109291. Link: <http://doi.org/10.2760/887727>
7. R. Maffettone, B.M. Gawlik (2022) "Technical guidance - water reuse risk management for agricultural irrigation schemes in Europe". EUR 31316 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-59112-2, JRC129596. Link: <https://doi.org/10.2760/590804>
8. Commissione Europea (2021) Raccomandazione (UE) 2021/472 della Commissione Europea del 17 marzo 2021 relativa a un approccio comune per istituire una sorveglianza sistematica del SARS-CoV-2 e delle sue varianti nelle acque reflue nell'UE, COM/2020/98 final. Link: <http://data.europa.eu/eli/reco/2021/472/oj>
9. B.M. Gawlik, S. Tavazzi, G. Mariani, H. Skejo, M. Sponar, T. Higgins, G. Medema, T. Wintgens, (2021), "SARS-CoV-2 Surveillance employing Sewage - Towards a Sentinel System", EUR 30684 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-36888-5, JRC125065. Link: <https://doi.org/10.2760/300580>
10. S. Agrawal, L. Orschler, S. Tavazzi, R. Greither, B.M. Gawlik, S. Lackner, (2022), "Genome Sequencing of Wastewater Confirms the Arrival of the SARS-CoV-2 Omicron Variant at Frankfurt Airport but Limited Spread in the City of Frankfurt, Germany", in November 2021. Microbiology Resource Announcements. Link: <https://doi.org/10.1128/MRA.01229-21>
11. Y. Elshafei, M. Sivapalan, M. Tonts, M.R. Hipsey, (2014), "A prototype framework for models of socio-hydrology: Identification of key feedback loops and parameterisation approach. Hydrology and Earth System Sciences", 18(6), 2141-2166. Link: <https://doi.org/10.5194/hess-18-2141-2014>

Water resources across Europe: confronting water stress

Water stress was not perceived as a Europe-wide problem until the early 2000s, with a focus on southern Europe because of the regional climatic conditions. However, the frequency of water stress is increasing, and the affected area is expanding towards central and western Europe. Today, on average, water stress affects every year around 20 % of the European territory and 30 % of the total population.

DOI 10.12910/EAI2023-005



di Nihat Zal, Water resources, water scarcity and droughts expert, European Environment Agency

Water stress occurs when there is insufficient water available to meet the demands of the environment and our society and economy, in terms of quantity or quality. Water stress is a general term combining drought, scarcity, water quality and water accessibility. Drought reflects the shortage of water due to short or long-term precipitation deficits. Water scarcity defines a medium-term water stress condition when the water demand for human needs exceeds the sustainable supply capacity of the natural system in river basins.

Water stress was not perceived as a Europe-wide problem until the early 2000s, with a focus on southern Europe because of the regional climatic conditions. However, the frequency of water stress is increasing, and the affected area is expanding towards central and western Europe. Today, on average,

ge, water stress affects every year around 20% of the European territory and 30% of the total population.

Policy context

The EU Water Framework Directive (WFD) establishes a legal framework at the EU level aiming, inter alia, to achieve sustainable water use based on the water resources available in the long term. The WFD supports integrated water management and sets out provisions to improve the efficiency of water use.

To respond to the increasing occurrence, frequency and impacts of water stress the EU also adopted a communication on water scarcity and drought in an effort to bring more clarity to the policy priorities for addressing water stress. **'A blueprint to safeguard Europe's water resources'** was published in 2012, and, along with the policy provisions put forward in these two stra-

tegic documents, the EU Resource efficiency roadmap, the common agricultural policy (CAP) and the Seventh Environment Action Programme also announced a number of policy mechanisms aiming to protect and enhance European natural capital and water resources.

The implementation of those policies has contributed to some positive developments, for example a decrease in total water abstraction in Europe. Nevertheless, policies addressing water stress remain scattered, and overall progress has been slow.

Currently, some Member States develop and implement drought management plans (complementary to the river basin management plans) under the EU WFD. The implementation of the plans has taken place at variable speeds across the EU Member States and the various WFD thematic areas, and there are still gaps to be addressed in the

next cycles of implementation. **Despite recent measures, more time is needed for all water bodies in Europe to achieve good status, while the final deadline of 2027 is coming near.**

Most recently, the European Green Deal sets ambitious targets and objectives to protect, conserve and enhance the EU's natural capital. The new EU strategy on adaptation to climate change calls for expedited action to safeguard access to freshwater and ensure sustainable use as part of the 'faster adaptation' objective.

The new circular economy action plan and the Water Reuse Regulation explicitly address water stress and water scarcity, respectively, and include provisions for improving resource efficiency in the context of managing water resources. Similarly, the EU biodiversity Strategy for 2030 acknowledges the importance of natural capital to industry and agriculture and sets quantitative targets for ecosystem restoration, including restoring 25 000 km of free-flowing rivers. Furthermore it requests Member States to review water abstraction and impoundment permits and to implement ecological flows, so that they can achieve good status or potential in all water bodies by 2027.

The new European Climate Law, the sustainable finance taxonomy, the farm to fork strategy, the new CAP Pillar II and the Eighth Environment Action Programme all call for increasing resource efficiency, protecting our natural capital and improving human well-being by means of transitioning the European economy to become more sustainable by target years ranging from 2030 to 2050.

In the context of water stress, all of these policy provisions and initia-

tives require strong coordination and collaboration during the implementation phase across sectors and ecosystems. So far, major obstructions to more effective policy implementation are the institutional frameworks and capacity, which are not adequate to promote coordinated, cross-sectoral action and measure progress.

Renewable freshwater resources under a changing climate

Climate change is a major factor influencing the availability of renewable freshwater resources. The last few decades have seen some of the hottest and driest years on record, and the annual average temperature in Europe has already increased to 1.6-1.7°C above the pre-industrial level.

The temperature rise increases potential and actual evapotranspiration, causes more frequent extreme droughts, intensifies heavy precipitation, attenuates snowpack build-up and triggers early snow melting. These effects have led to a decrease in annual precipitation in parts of southern Europe and decreasing river discharges, leading to increasing water stress.

In contrast, in north-eastern and northern Europe, precipitation and the intensity of heavy precipitation in winter and summer is increasing, leading to increasing annual river discharges in those regions. This trend is expected to continue in the coming decades.

A decrease in the depth of the snowpack in the Alps and Carpathian Mountains and earlier snow melt at lower altitudes in the Alps can already be observed, while recent summer droughts have struck areas reaching as far north as the Arctic circle.

Freshwater use under socio-economic change

The population of European urban centres continues to increase, while the population in rural areas decreases. This leads to the development of more peri-urban land to meet additional needs for residences and workplaces.

Moreover, tourism in Europe has reached record levels over the last decade and this has resulted in the rapid conversion of land for the development of touristic facilities and the supporting transport infrastructure. Urban sprawl accelerates in coastal areas, which are also vulnerable to future sea level rise. The expansion in impervious areas and land sealing increases the risks of urban floods and drains away water that could otherwise recharge local aquifers.

On average, the major water consumers are agriculture (58%), electricity production (18%), households and services (13%) and mining, quarrying, construction and manufacturing (11%) in Europe. Water consumption in Europe shows a trend towards decoupling from economic growth. Water consumption in Europe was 16% lower in 2017 than in 1995, while production by economic sectors grew by 20% in terms of net value added. Nevertheless, the issue of water stress continues to escalate causing increasing competition for water among economic sectors.

The observed decreasing trend in water abstraction volumes has so far not translated into an improvement in the quantitative status of water bodies. This may be partly due to the slow process of recovery and also to climate change, which can offset gains and aggravate local pressures. In 2015, 58% of river water bodies

had not achieved good ecological status, for which water abstraction was reported as one of the main pressures in 8% of river water bodies not achieving good ecological status.

Despite some progress, many challenges remain and need further action. There is significant potential to save water across all economic sectors, but large investments are needed to unlock it. Enforcement of ecological flows has improved, yet there is still a long way to go to achieve full implementation of the WFD requirements.

Leakages in the conveyance systems are still more than 25% of the total water supply in many eastern and southern European countries. Unauthorised abstractions are persistent in some Member States. **Furthermore, attention to an enforcement of water legislation is needed to avoid the rebound effects of the implementation of these water-saving measures: a situation in which efficiency gains result in less than a proportional decrease or even in an increase in net resource consumption.**

While local water resources are getting more stressed or depleted, urbanisation increases demand for water, which is often met by implementing storage and water transfer projects. Such projects have significant impacts on hydromorphology.

Promising approaches and measures

The increased seasonal variation in water demand for key socio-economic activities is at odds with the increased seasonal variation in water supply. Moreover, cli-

mate change forces Member States to explore additional measures to ensure their water supplies such as desalination, water reuse, or rain-water harvesting. In this context, it is worth mentioning the new EU Water Reuse Regulation, which sets minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation. The EU is dedicated to innovation as a means to tackle the water scarcity challenges identified such as monitoring of the climate, data management, socio-environmental modelling, improvements in hydrological and drought forecasting, increasing technical water efficiency, tools for controlling water demand and better technologies for enabling and promoting alternative water sources.

Adopting separate policy goals and management practices for each of these systems can create trade-offs. Integrated management responses can generate compromise solutions that deliver working results for sustainable management of both resources. Furthermore, win-win synergies can be explored to reap the benefits from the use of more than one resource: for example, water reuse can reduce the need for groundwater abstraction from overexploited aquifers, as well as the need for fertilisation because of the nutrient content of reclaimed water; the increased energy needed for reclaiming water can be offset by the reduction in energy needed for pumping groundwater and for producing and applying fertilisers, etc. Nature-based solutions need to be further explored and implemented. While the number of options

dedicated to water stress appears limited, the associated approach and stakeholder involvement offer a way forward for integrative solutions to complex problems.

Need for integrated policy responses

Mainstreaming water considerations into other environmental and sectoral policies and finding synergies across them are key to enabling sustainable water management and reducing society's exposure and vulnerability to water stress. One of the key factors contributing to the effectiveness of the EU water directives in progressing towards their objectives is the (binding) cross-references to the WFD's objectives in other EU policies. The new CAP programming cycle for 2021-2027 provides a fresh opportunity to integrate more ambitious environmental safeguards that acknowledge local water resource limitations and scarcity situations.

The new farm to fork strategy illustrates how the European Green Deal aims to promote a transition to more sustainable food systems by incorporating a systemic approach. The European Green Deal and the new EU strategy on adaptation to climate change represent fresh opportunities to tackle this problem, by integrating water stress and drought policy objectives into other policy areas, increasing coherence and speeding up implementation.

** This article is based on the report EEA, 2021. Water resources across Europe - confronting water stress: an updated assessment, No 12/2021. Luxembourg. ISBN 978-92-9480-391-7*

Come affrontare lo stress delle risorse idriche in Europa

Lo stress idrico non è stato percepito come un problema a livello europeo se non a partire dai primi anni 2000, concentrandosi peraltro sull'Europa meridionale a causa delle condizioni climatiche locali. Tuttavia, la frequenza dello stress idrico è in aumento e l'area interessata si sta espandendo verso l'Europa centrale ed occidentale. Oggi lo stress idrico colpisce in media ogni anno circa il 20% del territorio europeo e il 30% della popolazione totale.

Lo stress idrico si verifica quando l'acqua disponibile non è sufficiente a soddisfare le richieste dell'ambiente, della società e dell'economia, in termini qualitativi o quantitativi. E' un termine generale che include scarsità, qualità, accessibilità dell'acqua e siccità, ovvero la carenza di acqua dovuta a un deficit di precipitazioni a breve o lungo termine. La scarsità d'acqua definisce, invece, una condizione di stress idrico a medio termine quando la richiesta di acqua per le esigenze umane supera la capacità di approvvigionamento sostenibile del sistema naturale nei bacini fluviali.

Lo stress idrico non è stato percepito come un problema a livello europeo se non a partire dai primi anni 2000, concentrandosi peraltro sull'Europa meridionale a causa delle condizioni climatiche locali. Tuttavia, la frequenza dello stress idrico è in aumento e l'area interessata si sta espandendo verso l'Europa centrale ed occidentale. Oggi, lo stress idrico colpisce in media, circa il 20% l'anno del territorio europeo e il 30% della popolazione totale.

Lo scenario politico

La **Direttiva Quadro sulle Acque (DQA)** stabilisce un quadro giuridico a livello europeo che mira, tra l'altro, a raggiungere un uso sostenibile dell'acqua, basato sulle risorse idriche disponibili a lungo termine. La **Direttiva Quadro sulle Acque** sostiene la gestione integrata delle acque e contiene disposizioni per migliorarne l'uso efficiente.

Per rispondere all'aumento dell'intensità, frequenza e impatti dello stress idrico, la UE ha adottato anche una politica di comunicazione sulla carenza idrica e la siccità, nel tentativo di rendere più chiare le priorità per affrontare lo stress idrico. Nel 2012 è stato infatti pubblicato "Un piano per salvaguardare le risorse idriche europee" e, oltre alle disposizioni politiche presentate in questi due documenti strategici, anche nella tabella di marcia della UE per l'efficienza delle risorse, nella politica agricola comune (PAC) e nel Settimo Programma d'Azione per l'ambiente sono stati annunciati una serie di meccanismi politici volti a proteggere e valorizzare il capitale naturale europeo e le risorse idriche.

L'attuazione di queste politiche ha contribuito ad alcuni sviluppi posi-

tivi, come ad esempio la diminuzione del prelievo totale di acqua in Europa. Tuttavia, le politiche che affrontano lo stress idrico rimangono frammentarie e i progressi complessivi sono stati lenti.

Attualmente, ai sensi della DQA della UE, alcuni fra gli Stati membri stanno sviluppando e implementando piani di gestione della siccità (complementari ai piani di gestione dei bacini idrografici).

L'attuazione dei piani avviene a velocità variabile in ogni Stato Membro e per le varie aree tematiche della DQA e, di fatto, nei prossimi cicli di attuazione ci saranno ancora lacune da colmare. **Nonostante le recenti misure, è necessario più tempo perché tutti i corpi idrici europei raggiungano un buono stato mentre la scadenza finale del 2027 si avvicina.**

Di recente, il Green Deal europeo ha fissato obiettivi e traguardi ambiziosi per proteggere, conservare e valorizzare il capitale naturale della UE. **La nuova strategia della UE sull'adattamento ai cambiamenti climatici, nell'ambito dell'obiettivo "un adattamento più rapido", sollecita interventi urgenti per salvaguardare l'accesso all'acqua dolce e garantirne un uso sostenibile.** Il nuovo piano d'azione per l'economia circolare e il regolamento sul riutilizzo dell'acqua affrontano rispettivamente i temi dello stress idrico e della scarsità d'acqua e includono disposizioni per migliorare l'efficienza delle risorse nell'ambito della gestione delle risorse idriche.

Allo stesso modo, la Strategia della UE per la biodiversità per il 2030 riconosce l'importanza del capitale naturale per l'industria e l'agricoltura e fissa obiettivi quantitativi per il ripristino degli ecosistemi, tra cui il ripristino di 25.000 km di fiumi a flusso libero. Inoltre, agli Stati membri viene richiesto di rivedere i permessi per l'estrazione dell'acqua e per la protezione degli argini nonché di implementare i flussi ecologici, in modo da raggiungere un buono stato, attuale o potenziale, di tutti i corpi idrici entro il 2027. La nuova legge europea sul clima, la tassonomia della finanza sostenibile, la strategia "farm to fork", il nuovo secondo pilastro della PAC e l'Ottavo Programma d'Azione per l'Ambiente invitano ad incrementare l'efficienza delle risorse,

a proteggere il nostro patrimonio naturale e a migliorare il benessere umano attraverso una transizione dell'economia europea verso una maggiore sostenibilità entro gli anni target che vanno dal 2030 al 2050.

Per quanto riguarda lo stress idrico, tutte queste disposizioni e iniziative politiche richiedono un forte coordinamento e una forte collaborazione, durante la fase di attuazione, tra settori ed ecosistemi. Finora, i principali ostacoli per l'efficace attuazione di dette politiche sono stati costituiti dai quadri istituzionali e da non adeguate capacità nel promuovere azioni coordinate e intersettoriali e a misurarne i progressi.

Risorse d'acqua dolce rinnovabili nel contesto del cambiamento climatico

Il cambiamento climatico è uno dei principali fattori che influenzano la disponibilità di risorse rinnovabili di acqua dolce. Gli ultimi decenni hanno visto alcuni degli anni più caldi e secchi mai registrati e la temperatura media annua in Europa è già aumentata di 1,6-1,7°C rispetto ai livelli preindustriali.

L'aumento della temperatura aumenta l'evapotraspirazione potenziale ed effettiva, provoca siccità estreme più frequenti, intensifica le precipitazioni abbondanti, attenua l'accumulo del manto nevoso e innesca lo scioglimento precoce della neve. Questi effetti hanno portato a una diminuzione delle precipitazioni annuali in alcune zone dell'Europa meridionale e a una riduzione dei deflussi fluviali, con conseguente aumento dello stress idrico.

Al contrario, nell'Europa nord-orientale e settentrionale, le precipitazioni e la forza delle precipitazioni intense in inverno e in estate stanno aumentando, generando un incremento dei deflussi fluviali annuali. Si prevede che questa tendenza continuerà nei prossimi decenni. Si può già osservare una diminuzione dello spessore del manto nevoso sulle Alpi e sui Carpazi e uno scioglimento anticipato della neve alle quote più basse sulle Alpi, mentre recenti siccità estive hanno colpito aree sempre più a nord, fino al circolo polare artico.

L'uso dell'acqua dolce in condizioni di cambiamento socioeconomico

La popolazione dei centri urbani europei continua ad aumentare mentre quella delle aree rurali diminuisce. Questo comporta un maggior sviluppo di aree periurbane, per soddisfare maggiori esigenze abitative e lavorative. Inoltre, nell'ultimo decennio, il turismo in Europa ha raggiunto livelli record: ciò ha comportato una rapida conversione di terreni, per lo sviluppo di strutture turistiche e delle relative infrastrutture di trasporto. L'espansione urbana accelera nelle aree costiere, che sono anche vulnerabili al futuro innalzamento del livello del mare. L'espansione delle aree impermee e dell'impermeabilizzazione dei terreni aumenta i rischi di inondazioni urbane e fa defluire l'acqua che potrebbe altrimenti ricaricare le falde acquifere locali.

In media, in Europa i principali consumatori di acqua sono l'agricoltura (58%), la produzione di energia elettrica (18%), le famiglie e i servizi (13%) e l'industria mineraria, estrattiva, edilizia e manifatturiera (11%). Il consumo di acqua in Europa mostra una tendenza a dissociarsi dalla crescita economica. Nel 2017 il consumo di acqua in Europa era inferiore del 16% rispetto al 1995, mentre la produzione dei settori economici sopra descritti è cresciuta del 20% in termini di valore aggiunto netto. Tuttavia, il problema dello stress idrico continua ad aggravarsi, causando una crescente competizione tra settori economici.

La tendenza osservata alla diminuzione dei volumi di estrazione dell'acqua non si è finora tradotta in un miglioramento dello stato quantitativo dei corpi idrici. Ciò può essere dovuto in parte alla lentezza del processo di recupero ed anche ai cambiamenti climatici, che possono compensare i guadagni e aggravare le pressioni locali.

Nel 2015, il 58% dei corpi idrici fluviali non aveva raggiunto un buono stato ecologico; l'estrazione dell'acqua è stata indicata come uno dei principali fattori di pressione per 8% dei corpi idrici fluviali che non avevano raggiunto un buono stato ecologico.

Nonostante alcuni progressi, rimangono molte sfide aperte che richiedono ulteriori interventi. Tutti i settori economici hanno un notevole potenziale di risparmio idrico, ma sono necessari grandi investimenti per sbloccarlo. L'applicazione dei flussi ecologici è mi-

gliorata, ma c'è ancora molta strada da fare per raggiungere la piena attuazione dei requisiti della WFD.

In molti Paesi dell'Europa orientale e meridionale le perdite nei sistemi di trasporto idrico superano ancora il 25% dell'approvvigionamento totale. In alcuni Stati membri persistono prelievi non autorizzati. Inoltre, è necessario prestare attenzione nell'applicare la normativa in materia di acque per evitare, quando si attuano le misure di risparmio idrico, gli effetti di rimbalzo: una situazione in cui i benefici in termini di efficienza si traducono in una diminuzione meno che proporzionale, o addirittura in un aumento del consumo netto della risorsa.

Mentre le risorse idriche locali sono sempre più sotto stress o in via di esaurimento, l'urbanizzazione aumenta la domanda d'acqua, che spesso viene soddisfatta attuando progetti di stoccaggio e trasferimento. Tali progetti hanno un impatto significativo sull'idromorfologia.

Approcci e misure promettenti

L'aumento della variazione stagionale della domanda di acqua per le principali attività socio-economiche è in contrasto con l'aumento della variazione stagionale dell'approvvigionamento idrico. Inoltre, i cambiamenti climatici costringono gli Stati membri a studiare misure aggiuntive per garantire l'approvvigionamento idrico, come la desalinizzazione, il riutilizzo dell'acqua o la raccolta di acqua piovana. In questo ambito, vale la pena menzionare il nuovo Regolamento UE sul riutilizzo dell'acqua, che stabilisce i requisiti minimi di qualità per riutilizzare l'acqua nell'irrigazione agricola.

La UE si impegna per l'innovazione in quanto strumento per affrontare la sfida della scarsità d'acqua, come ad esempio il monitoraggio del clima, la gestione dei dati, la modellazione socio-ambientale, il miglioramento delle previsioni idrologiche e di siccità, l'aumento dell'efficienza tecnologica nell'uso dell'acqua, gli strumenti per il controllo della domanda d'acqua e le migliori tecnologie per lo sfruttamento e la promozione di fonti idriche alternative.

L'adozione di obiettivi politici e di pratiche di gestione specifiche per ciascuno di questi sistemi può creare situazioni in cui diversi fattori devono essere bilanciati. Le risposte in termini di gestione integrata possono generare soluzioni di compromesso che producono risultati operativi per la gestione sostenibile di entrambe le risorse. Inoltre, è possibile valutare sinergie win-win,

per ottenere benefici dall'uso di più di una risorsa: ad esempio, con il riuso dell'acqua si possono ridurre non solo le estrazioni da falde acquifere eccessivamente sfruttate ma anche le pratiche di fertilizzazione, grazie alle sostanze nutritive contenute nell'acqua recuperata; l'aumento di energia, necessario per il recupero dell'acqua, può essere compensato dal risparmio energetico ottenuto riducendo il pompaggio dell'acqua sotterranea e la produzione e l'applicazione di fertilizzanti, ecc. **Le soluzioni basate su sistemi naturali devono essere ulteriormente esplorate e implementate.** Sebbene il numero di opzioni per rispondere allo stress idrico appaia limitato, l'approccio combinato e il coinvolgimento delle parti interessate costituiscono una via da seguire per trovare soluzioni integrate a problemi complessi.

La necessità di risposte politiche integrate

L'integrazione della questione idrica nelle altre politiche ambientali e settoriali e la ricerca di sinergie tra di esse sono fondamentali per consentire una gestione sostenibile dell'acqua e ridurre l'esposizione e la vulnerabilità della società allo stress idrico. Uno dei fattori chiave che contribuisce all'efficacia delle direttive europee sull'acqua nel raggiungimento dei loro obiettivi è rappresentato dai riferimenti incrociati (vincolanti) agli obiettivi della WFD in altre politiche della UE. Il nuovo ciclo di programmazione della PAC per il 2021-2027 offre una nuova opportunità per integrare forme più ambiziose di salvaguardia ambientale che riconoscano i limiti delle risorse idriche locali e le situazioni di scarsità.

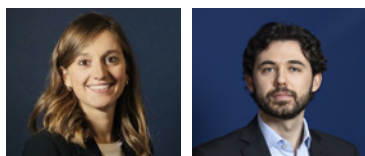
La nuova strategia farm to fork illustra come il Green Deal europeo miri a promuovere una transizione verso sistemi alimentari più sostenibili, incorporando un approccio sistemico. Il Green Deal europeo e la nuova strategia della UE sull'adattamento al cambiamento climatico rappresentano nuove opportunità per affrontare questo problema, attraverso l'integrazione con altri settori strategici degli obiettivi della politica sullo stress idrico e la siccità, aumentandone la coerenza e accelerandone l'attuazione.

* Questo articolo si basa sulla relazione dell'AEA, 2021. Risorse idriche in Europa: come affrontare lo stress idrico: una valutazione aggiornata, n. 12/2021. Lussemburgo. ISBN 978-92-9480-391-7

La risorsa acqua: il nostro passato, presente e futuro

L'acqua è il nostro passato, il nostro presente e, soprattutto, il nostro futuro. Non si possono più rimandare azioni e strategie che indirizzino la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico nel Paese, ponendo la gestione, la tutela e la salvaguardia della risorsa idrica come elemento centrale in questo percorso. Lo spazio e il tempo per intervenire esistono, ma dobbiamo agire in fretta.

DOI 10.12910/EAI2023-006



di **Benedetta Brioschi**, Associate Partner e Responsabile Food&Retail e Sustainability - The European House-Ambrosetti; **Nicolò Serpella**, Project Coordinator, Community Valore Acqua per l'Italia - The European House - Ambrosetti

Partiamo dal passato. L'acqua è la base della civiltà ed è fondamento della storia umana. Dalla preistoria al giorno d'oggi, i rapporti dell'umanità con la risorsa acqua sono stati fondamentali per lo sviluppo delle società e dei sistemi economici: le prime civiltà sono nate lungo i corsi d'acqua ed è stata proprio la gestione della risorsa idrica a chiamare a raccolta le migliori competenze ingegneristiche e architettoniche nei primi insediamenti umani.

Parlare di acqua significa dunque parlare di cultura e non è più possibile rimandare un dibattito serio e approfondito sulla risorsa acqua.

Proprio muovendo da queste considerazioni, **nel 2019 The European House - Ambrosetti ha fondato la**

Community Valore Acqua per l'Italia^[1], una piattaforma di confronto costruttivo e permanente multi-stakeholder dedicata alla gestione della risorsa acqua come driver di sostenibilità, competitività e sviluppo industriale. E lo scorso mercoledì 22 marzo, in occasione della Giornata Mondiale dell'Acqua, si è tenuto l'evento di presentazione finale della IV Edizione del Libro Bianco "Valore Acqua per l'Italia" 2023. Parliamo ora del presente. **L'Osservatorio Valore Acqua ha evidenziato una situazione a luci e ombre con riferimento alla gestione della risorsa acqua in Italia, focalizzandosi sugli elementi principali che concorrono a complicare la preservazione e la tutela di una risorsa sempre più strategica.**

Criticità infrastrutturali

Prima di tutto emergono **rilevanti criticità infrastrutturali** nel Paese, con particolare riferimento **alla vetustà e alla scarsa efficienza della rete**, uno tra i principali motivi che richiedono – indirettamente – un così elevato livello di prelievi alla fonte. **Il 60% rete di distribuzione dell'acqua nazionale ha più di 30 anni, e il 25% ha più di 50 anni, una quota che in alcuni centri urbani raggiunge fino al 40%.**

L'obsolescenza dell'infrastruttura idrica genera a sua volta crescenti difficoltà gestionali e un'elevata quota di **perdite idriche**, unita ad altri fattori come i regimi di pressione, le caratteristiche morfologiche del territorio, dei terreni di posa e dei materiali costituenti le tubazioni.

¹ Sono partner della IV edizione della Community Valore Acqua per l'Italia A2A, ACEA, Acquedotto Pugliese, Celli Group, Gruppo Hera, Intesa Sanpaolo, Intesa Sanpaolo Innovation Center, Iren, MM, SMAT, ANBI – Associazione Nazionale Consorzi di Gestione e Tutela del Territorio e Acque Irrigie, Schneider Electric, Engineering, Suez, Xylem, AcegasApsAmga, Alfa Varese, Barchemicals, Brianzacque, Consorzio Idrico Terra di Lavoro, Crédit Agricole, CVA – Compagnia Valdostana Acque, Fisia Italimpianti, Irritec, IWS – Integrated Watercare Solutions, Livenza Tagliamento Acque, Maddalena, Padania Acque, RDR, SIT e SOTECO. Sono partner scientifici della Community Utilitalia e Fondazione Utilitatis.

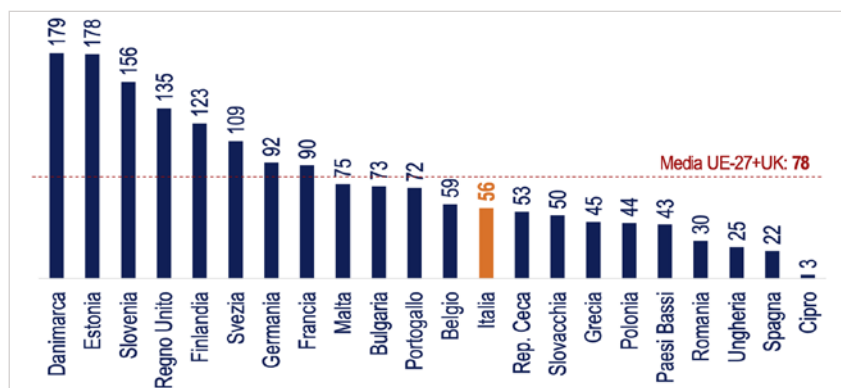


Figura 1. Tasso di investimenti nel Servizio Idrico Integrato nei Paesi UE-27+UK (Euro per abitante), 2021. Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Utilitatis e EurEau, 2022. N.B. Il dato non è disponibile per i Paesi dell'Unione Europea non riportati nel grafico (fonte EurEau).

Secondo i dati del Blue Book 2023, a confronto con l'ultima edizione del rapporto dell'Associazione europea EurEau "Europe's water in figures", le perdite percentuali in Italia raggiungono il **41,2%** del totale, quasi il doppio della media europea (25%), posizionando il Paese **quart'ultimo** in UE-27+UK. Anche osservando la misura relativa alle **perdite idriche lineari**, che consente di valutare la performance infrastrutturale relativizzandola sulla lunghezza della rete e non soltanto sui volumi di acqua immessi, vede l'Italia scendere in ultima posizione nel quadro UE-27+UK, con 9.072 m³ di acqua dispersa e non contabilizzata al km ogni anno.

I gap infrastrutturali sono anche provocati da un **limitato livello di investimenti** nel Servizio Idrico Integrato, pari a **56 Euro pro-capite**, un valore – a confronto con i dati EurEau – pari a poco più del 70% della media europea (78 Euro).

Uno dei principali motivi di tale limitato livello di investimenti nel settore è la **tariffa idrica**, pari ad oggi a circa 2,1 Euro per m³, la metà di quella francese e il 40% di quel-

la tedesca. Anche a causa di questo, **spesso la tariffa non è sufficiente a garantire e a rafforzare il livello di investimenti necessario per migliorare le infrastrutture del settore.**

Inoltre, **un prezzo basso per l'acqua potabile** non solamente limita la crescita degli investimenti, ma può anche portare a una più **scarsa consapevolezza** da parte dei cittadini riguardo al loro consumo d'acqua, **de-responsabilizzandolo**. Infatti, non solo il Paese è tra i più idroesigenti d'Europa considerando i prelievi di acqua totali, ma è anche in vetta alla classifica dei consumi idrici a livello civile: con un consumo di 220 litri per abitante al giorno, l'Italia si posiziona infatti 1° Paese a livello europeo in questo indicatore, contro una media europea di 165 litri.

Il "paradosso del cittadino responsabile"

Tra le cause di questo posizionamento, **l'Osservatorio Valore Acqua ha indagato come la scarsa percezione e consapevolezza sul valore dell'acqua da parte dei cittadini siano effettivamente fattori significativi.**

Attraverso la survey somministrata

alla popolazione italiana dalla Community, si evince come nonostante il **96%** dei cittadini italiani dichiarati di adottare sempre o talvolta comportamenti sostenibili, tra cui un uso responsabile dell'acqua, **esiste una scarsa consapevolezza sul suo effettivo consumo**, evidenziando quello che è stato definito come il **"paradosso del cittadino responsabile"**, solo il **21%** della popolazione è a conoscenza dei volumi d'acqua consumati mediamente in un giorno per abitante, con il **72%** che lo sottostima.

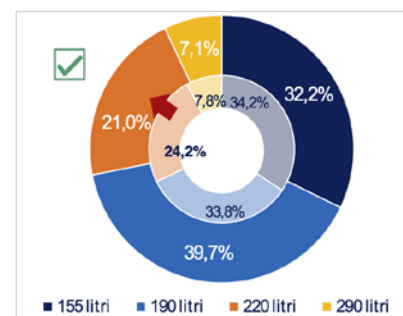


Figura 2. Risposta alla domanda "Secondo Lei, a quanto ammonta il consumo medio giornaliero di acqua in Italia?" (% sul totale), 2022 vs. 2021. Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati survey Community Valore Acqua per l'Italia ai cittadini italiani, settembre 2022. N.B. I valori appartenenti al cerchio interno fanno riferimento alla survey somministrata nell'edizione precedente della Community (anno 2021).

Ci sono però anche **buone notizie**. **Il nostro Paese può contare su una filiera dell'acqua rilevante, in grado di generare un valore economico significativo sui territori di riferimento, mobilitare investimenti e attivare occupazione qualificata lungo tutte le diverse fasi^[2].** La Community Valore Acqua per l'Italia ha realizzato e aggiornato il primo database contenente dati economici pluriennali di tutte le aziende

² Rientrano nel perimetro dell'analisi tutti gli attori attivi lungo la filiera estesa dell'acqua nel Paese: le attività economiche per le quali l'acqua rappresenta un input produttivo primario (settore agricolo, industrie e settore energetico), le sette fasi del Servizio Idrico Integrato (captazione, potabilizzazione, aduzione, distribuzione, fognatura, depurazione e riuso), sia per gli operatori privati sia per i gestori in economia, e i fornitori di input per il funzionamento della filiera (provider di tecnologia e software e fornitori di macchinari e impianti).

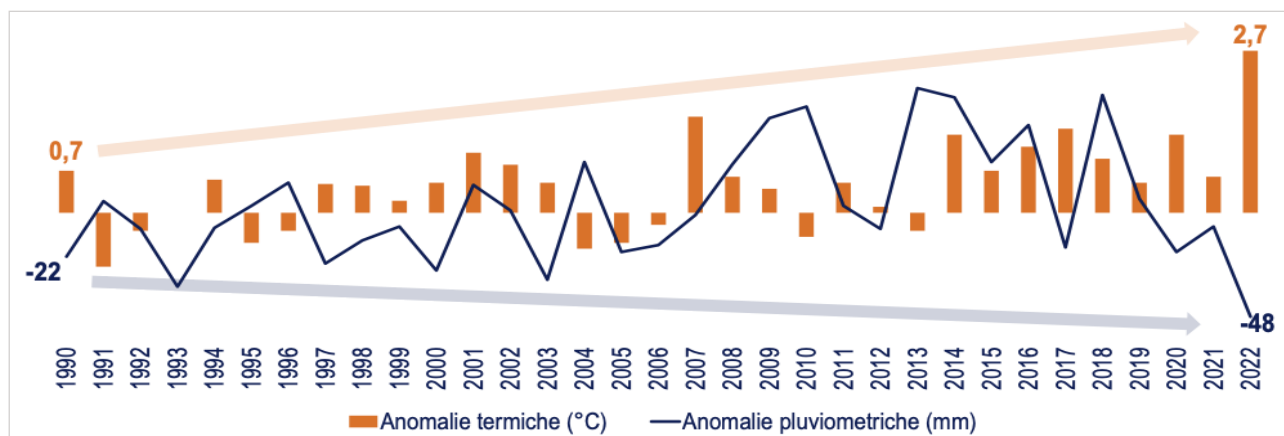


Figura 3. Anomalie termiche e anomalie pluviometriche annuali rispetto alla media 1981-2010 in Italia (var. in °C e mm), 1990-2022. Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Commissione Europea, Copernicus, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, CNR-ISAC, Climate Change Service e Coldiretti, 2023.

operanti nella filiera estesa dell'acqua in Italia, per un totale di oltre 50 milioni di osservazioni e circa 1,8 milioni di aziende, solo in Italia.

Esulando da un principio generale secondo cui "senza acqua non può esserci vita" e contestualizzando l'effettiva funzione della risorsa all'interno di un sistema economico complesso, è possibile quantificare il contributo della risorsa idrica alla generazione di Valore Aggiunto – e quindi di PIL – in Italia.

Nel 2021, l'acqua è stata l'elemento abilitante per la generazione di 320 miliardi di Euro di Valore Aggiunto in Italia. In altre parole, senza la risorsa acqua il 18% del PIL italiano non potrebbe essere generato.

Stress idrico e impatto del cambiamento climatico

Ma il futuro è già alle porte. **Nel 2022, l'Italia è stato uno dei Paesi europei maggiormente colpiti dagli effetti del cambiamento climatico e ha registrato rispettivamente 132 giorni di anomalie climatiche, ben al di sopra della media europea di 33 giorni. In pratica, il nostro Paese ha sperimentato anomalie climati-**

che per il 42% del 2022.

Il 2022 rappresenta l'anno più caldo e meno piovoso della storia italiana³⁾, con anomalie termiche che hanno raggiunto i +2,7 °C rispetto alla media 1981-2010 e anomalie pluviometriche che sono state pari a -48 mm nell'anno. L'aumento delle temperature e la riduzione delle piogge hanno contribuito a rendere l'Italia il **1° Paese in Europa e il 44° nel mondo per estensione di territorio con un tasso di stress idrico⁴⁾ superiore all'80%**. Per la sua posizione al centro del Mediterraneo, l'Italia risulta tra i Paesi che sta subendo le conseguenze più tangibili dei cambiamenti climatici. Se da un lato si registra una riduzione della frequenza e quantità delle precipitazioni, dall'altro la loro intensità è in aumento. Le piogge intense in Italia sono aumentate del **+45,4%** all'anno negli ultimi 15 anni (passando da un valore medio di 45 nel periodo 2005-2009 a 275 nel 2015-2019) e gli **allagamenti** nelle città sono cresciuti annualmente del **+27,7%** (da una media di 3 nel periodo 2005-2009 a 54 nel 2015-2021).

A fronte della riduzione delle piog-

ge, attualmente il **21%** del territorio nazionale è a **rischio di desertificazione** (con picchi del 70% in alcune zone come la Sicilia) e gli eventi siccitosi, sempre più frequenti, stanno colpendo le principali fonti idriche del Paese. A conferma dalla grande esposizione al rischio climatico del nostro Paese, il Joint Research Centre della Commissione Europea ha quantificato gli impatti economici in seguito all'aumento di fenomeni di **dissesto idrogeologico**, con diverse ipotesi di aumento della temperatura media al 2100. L'Italia, senza azioni di adattamento, riporterebbe perdite di circa 3 miliardi di Euro ogni anno.

L'acqua è il nostro passato, il nostro presente e, soprattutto, il nostro futuro. Non si possono più rimandare azioni e strategie che indirizzino la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico nel Paese, ponendo la gestione, la tutela e la salvaguardia della risorsa idrica come elementi centrali in questo percorso. Lo spazio e il tempo per intervenire esistono, ma dobbiamo agire in fretta.

³⁾ A livello mondiale, l'anno con le temperature maggiori è stato il 2016.

⁴⁾ Lo stress idrico è definito come il rapporto tra i prelievi totali di acqua e la disponibilità di acque superficiali e sotterranee.

Gestione delle risorse idriche: criticità e scenari

Il contributo analizza i numerosi aspetti ai quali occorrerà prestare attenzione negli anni a venire per recepire le più recenti norme comunitarie e contribuire a rendere la gestione delle risorse idriche coerente con i principi dello sviluppo sostenibile e dell'economia circolare. A livello di distretto idrografico andrà perseguita con maggiore determinazione la riforma della pianificazione, in particolare sostituendo al bilancio idrico, quale strumento per la regolazione tra domanda e offerta, la pianificazione della domanda d'acqua, intervenendo sulle concessioni in atto, valutandone gli impatti e introducendo nei canoni i costi ambientali. Alla mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di acqua potrà concorrere il riutilizzo delle acque reflue urbane, a condizione che siano rimosse le notevoli incertezze ancora presenti, promuovendo specifici studi in aree rappresentative. Il sistema dei Servizi Idrici Integrati e dei piani connessi potrà modificarsi con la progressiva adozione delle novità presenti nella imminente revisione della Direttiva 91/271/CE, in particolare in ragione dell'obiettivo di limitare gli impatti delle acque piovane e dei reflui prodotti dai piccoli agglomerati. Infine, alla circolarità del settore contribuiranno le modifiche che saranno apportate agli impianti di depurazione, destinati a trasformarsi in fabbriche verdi, con recupero di acque da destinare a successivi usi e di composti di pregio.

DOI 10.12910/EAI2023-007



di Enrico Rolle, Fondazione Sviluppo Sostenibile e Fabio Trezzini, Gruppo 183

La corretta gestione delle acque è da sempre uno dei cardini di sviluppo dei territori. Nel nostro paese, il legislatore ha dedicato alle risorse idriche particolare attenzione sin dai primi anni dello scorso secolo, costruendo progressivamente un quadro normativo di grande spessore, sul quale è stato agevole inserire le norme più recenti, prevalentemente di provenienza comunitaria. **Negli anni a venire, all'attuale sistema di regole sarà necessario apportare integrazioni e modifiche per tenere conto delle necessità emergenti dallo sviluppo dei territori, del procedere delle conoscenze scientifiche, che tra l'altro porte-**

ranno ad individuare nuovi e più avanzati obiettivi, in particolare di qualità, nonché della necessità di limitare gli effetti negativi di eventi poco prevedibili, quali quelli legati alla crisi climatica.

Aspetti ai quali sarà necessario porre attenzione sono:

- L'affermarsi di un nuovo modo di concepire l'utilizzo delle risorse idriche, dettato dalla consapevolezza che esse sono limitate e conseguentemente ogni azione che le riguarda deve essere valutata in termini di sostenibilità.
- Le opportunità, sempre più ampie, di applicare anche all'acqua i principi dell'economia circolare, principi che hanno profondamente modificato in questi ultimi decenni, ad esempio, le modalità di gestione dei rifiuti.
- La consapevolezza che i ritardi accumulati in alcuni settori, ad esempio quello dei servizi idrici, o per la soluzione di alcuni problemi, come la gestione dei fanghi di depurazione, debbano essere al più presto colmati, avviando anche azioni di carattere straordinario con il diretto coinvolgimento dello Stato.
- Le conseguenze dei cambiamenti climatici sulla qualità e sulla disponibilità delle risorse idriche. Nel caso di stress idrico, l'approvvigionamento di acqua potrà diventare incostante, rendendo più difficile assicurare a

città, industrie e aziende agricole il fabbisogno idrico necessario a superare i periodi di carenza di acqua. In tale prospettiva il ricorso a risorse idriche non convenzionali dovrà essere opportunamente incentivato.

- L'entrata in vigore di alcune nuove norme, quali il regolamento sul riutilizzo delle acque reflue urbane, e il probabile completarsi nel corso dell'anno della revisione della direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane, che introdurrà nuovi obblighi, orientando tra l'altro il settore verso la neutralità climatica.
- La realizzazione nei tempi preventivati degli interventi del PNRR, in particolare di quelli volti garantire la sicurezza dell'approvvigionamento e la gestione sostenibile delle risorse idriche lungo l'intero ciclo.

Rilanciare e consolidare gli strumenti della pianificazione di bacino

In questi giorni vengono diffusi dati allarmanti sulla ridotta disponibilità d'acqua nel bacino del Po. Gli indicatori idro-meteo-climatici e le analisi integrate presentate dalle regioni del distretto e dai numerosi portatori d'interesse nel corso della prima riunione del 2023 dell'Osservatorio Permanente sugli utilizzi idrici all'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po proiettano un quadro idrico complessivo di manifesta sofferenza. Grandi laghi Alpini ai minimi storici e nel Biellese e Novarese sono già in azione le autobotti.

A questo grande tema si affiancano le considerazioni sintetizzate sopra che complessivamente confermano l'esigenza di **rilanciare e consolidare gli strumenti della pianificazione di bacino**.

Per far ciò occorre intervenire secondo **due distinte direttrici**. La prima finalizzata ad un **adeguamento**

della normativa, anche rispetto alla governance territoriale, a causa dei mutamenti climatici. Sarebbe necessario, quindi, mettere mano alla legge per incrementare le possibilità di adattamento alle crisi idriche e le opportunità di difesa. In particolare, **è necessario superare il concetto di pianificazione del bilancio idrico**, in sostanza come far fronte alla domanda d'acqua, per imboccare la strada della pianificazione degli usi, della ottimizzazione delle risorse, della eliminazione degli sprechi, in poche parole, della pianificazione della domanda d'acqua.

La seconda si riferisce invece al necessario **adeguamento dei metodi e degli strumenti della pianificazione**. La Commissione Europea ha rilevato relativamente di recente l'inadeguatezza dei Piani delle maggiori Autorità distrettuali italiane attraverso la Comunicazione COM (2019), 95 final e l'EU Pilot 9722/20/ENVI. Entrambe le comunicazioni indicano una situazione di non conformità sistemica persistente e significativa rispetto in particolare all'articolo 5 che impone agli Stati membri di effettuare un esame dell'impatto delle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sulle acque sotterranee per ciascun distretto idrografico.

È stato certamente avviato un percorso finalizzato all'adeguamento del sistema, ma le indicazioni della Commissione comportano senza dubbio anche una radicale riorganizzazione degli strumenti e della governance che potrà essere ottenuta solo nel tempo, purché progressivamente si vada nella giusta direzione. Rimandando alle due comunicazioni citate per i dettagli, varrà qui la pena di sottolineare l'importanza e l'impegno che comporterebbe raggiungere obiettivi come ad esempio **l'armonizzazione dei diversi approcci metodologici adottati dalle**

single Regioni, oppure la revisione del sistema delle concessioni d'uso della risorsa, rafforzando la disponibilità delle necessarie informazioni, riconosciute come estremamente carenti dalla stessa Commissione, o ancora l'analisi degli impatti sulle risorse o l'internalizzazione dei costi ambientali nel contesto dell'analisi economica degli usi.

Le nuove norme sul riutilizzo delle acque

La crescente pressione sulle risorse idriche, dovuta in parte all'aumento della domanda e in parte alla minore disponibilità per effetto dei cambiamenti climatici, ha portato il Parlamento europeo e il Consiglio ad emanare un provvedimento volto a promuovere il riutilizzo delle acque reflue urbane. Il regolamento in questione, (UE) 2020/741, che mira appunto ad agevolare e incoraggiare la pratica del riutilizzo di tali acque a fini irrigui in agricoltura, dovrà essere applicato dai paesi membri a partire dal 26 giugno 2023. Aspetti peculiari del regolamento sono la fissazione di requisiti di qualità delle acque reflue urbane per il riutilizzo in condizioni di sicurezza, l'introduzione di prescrizioni in materia di monitoraggio, valutazione e gestione dei rischi per la salute umana e per l'ambiente, nonché la fissazione di procedure amministrative chiare e trasparenti. Per agevolarne la corretta applicazione, la Commissione ha di recente pubblicato una Comunicazione dal titolo "Orientamenti a sostegno della corretta applicazione del Regolamento (UE) 2020/741".

Il riutilizzo delle acque reflue urbane a fini irrigui, appare tuttavia ancora gravato da notevoli incertezze, alle quali occorrerà prestare la giusta attenzione se si vogliono raggiungere percentuali significative di riutilizzo. In primis, dovranno

essere effettuati i necessari interventi strutturali, sia sulle reti di distribuzione delle acque depurate per raggiungere i punti di utilizzo, che sui sistemi di accumulo, con il fine di gestire lo scostamento temporale tra la produzione, continua, ed il consumo, discontinuo. Il riutilizzo diretto di acque reflue depurate e affinate può poi potenzialmente confliggere con altri usi in alcune aree del Paese. Va quindi definito il ruolo che la pianificazione distrettuale e regionale deve avere nella gestione dei progetti di riutilizzo delle acque reflue, nel contesto più ampio dell'analisi economica sull'utilizzo idrico e della pianificazione del bilancio idrico.

Sulla qualità delle acque destinate al riutilizzo irriguo, appare poi opportuno valutare la compatibilità delle prescrizioni del nuovo regolamento con le norme che attualmente regolano il riutilizzo delle acque reflue nel nostro paese.

Ai fini operativi occorre infine garantire la sostenibilità economica del riutilizzo, limitando da un lato gli incrementi dei costi per il comparto irriguo, associati ai maggiori fabbisogni infrastrutturali ed ai maggiori oneri in termini di gestione e controllo del sistema, e dall'altro lato, evitando ogni possibile distorsione di mercato dovuta a timori e diffidenza dei distributori e consumatori verso il consumo di prodotti irrigati con acque reflue non convenzionali.

La revisione della Direttiva sulla gestione delle acque reflue urbane

E' in fase avanzata di elaborazione una proposta della Commissione Europea di revisione dei contenuti della Direttiva 91/271/CE sulle acque reflue urbane, con l'obiettivo di affrontare alcuni aspetti della gestione delle acque reflue urbane che, dalle attività di monitoraggio

condotte dalla Commissione e dalle segnalazioni degli stati membri, non risultavano ancora coerenti con importanti azioni avviate dalla Commissione in materia di neutralità climatica, di risparmio energetico, di circolazione di microinquinanti, e altre di minore rilievo.

Come indicato nei documenti della Commissione, **la direttiva intende progressivamente rendere il settore delle acque reflue neutro sotto il profilo energetico, orientarlo verso la neutralità climatica, responsabilizzarlo rispetto al tema dell'immissione di microinquinanti tossici negli ambienti naturali e renderlo parte rilevante del sistema pubblico di monitoraggio del rischio sanitario.** Gli Enti preposti alla organizzazione del Servizio Idrico Integrato dovranno conseguentemente rivedere, come raccomandato dalla Commissione sin dal 2019, la pianificazione d'ambito (elenco degli interventi, aspetti economico-finanziari, monitoraggio) al fine di introdurre nella gestione delle acque reflue urbane, coerentemente con le scadenze temporali previste nel provvedimento, le misure necessarie per raggiungere gli obiettivi prima richiamati. Concorreranno in modo importante alla protezione delle acque superficiali e sotterranee nelle aree urbane, **l'inclusione nei piani di gestione anche delle acque piovane**, che spesso raggiungono, attraverso gli scaricatori di piena delle reti fognarie, i corpi idrici senza subire alcun trattamento e, nelle aree extra urbane, l'inclusione nel campo di applicazione della Direttiva dei centri con meno di 1000 A.E.

Al raggiungimento dei nuovi obiettivi, dovranno concorrere in modo rilevante gli impianti di depurazione, che dovranno essere progressivamente riconvertiti in fabbriche verdi.

I depuratori come 'fabbriche verdi'

In un'ottica di economia circolare, gli impianti di trattamento delle acque reflue, in linea peraltro con le indicazioni contenute nel PNRR, dovranno essere trasformati in bioraffinerie, ovvero piattaforme integrate in grado di recuperare e valorizzare i componenti di pregio presenti nelle acque reflue, non solo l'acqua, ma anche sostanze ad alto valore aggiunto, energia (rinnovabile) e bio-prodotti. La valorizzazione dei fanghi di depurazione si integra perfettamente in tale quadro di trasformazione, consentendo il recupero di carbonio, elementi nutrienti (principalmente azoto e fosforo) ed energia. Il recupero delle risorse materiali ed energetiche concorreranno anche a ridurre le emissioni di gas serra (l'impronta di carbonio) e i consumi energetici. A conferma della crescente consapevolezza dell'importanza strategica dell'acqua nello sviluppo di una economia circolare, da alcuni anni sono state avviate sperimentazioni in scala dimostrativa, con risultati particolarmente promettenti in particolare per i:

- trattamenti anaerobici avanzati per il recupero di energia,
- processi a scambio ionico per il recupero di fertilizzanti, con formazione di struvite (fosfato esaidrato di ammonio e magnesio), un ottimo fertilizzante a lento rilascio,
- trattamenti per la produzione di sostanze organiche quali il recupero di cellulosa e la produzione di polioidrossialcanoati, composti precursori di bioplastiche,
- processi per il recupero del fosforo.

Per tali processi è possibile pensare ad un trasferimento in impianti in scala reale entro un tempo relativamente breve.

BIGBANG ISPRA, nell'ultimo trentennio la disponibilità idrica nazionale è diminuita del 20%

È decisamente un trend in calo quello registrato in Italia a livello di disponibilità di risorsa idrica. Nell'ultimo trentennio climatologico 1991-2020, con un valore che ammonta a più di 440 mm, la disponibilità di acqua diminuisce del 20% rispetto al valore di riferimento storico di 550 mm., circa 166 km³ registrato tra il 1921-1950. Anche le stime sul lungo periodo (1951-2021) evidenziano una riduzione significativa, circa il 16% in meno rispetto al valore annuo medio storico.

Questa riduzione, dovuta agli impatti dei cambiamenti climatici, è da attribuire non solo alla diminuzione delle precipitazioni, ma anche all'incremento dell'evaporazione dagli specchi d'acqua e dalla traspirazione dalla vegetazione, per effetto dell'aumento delle temperature.

Sono le stime del BIGBANG, il modello idrologico realizzato dall'ISPRA che analizza la situazione idrologica dal 1951 al 2021 fornendo un quadro quantitativo e qualitativo delle acque in Italia. Ancora in corso di valutazione l'anno 2022.

Le proiezioni climatiche future evidenziano, sia su scala globale che locale, possibili impatti dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico e sulla disponibilità di risorsa idrica, dal breve al lungo termine. Tale condizione non potrà mutare, se non saranno messe in campo efficaci azioni di riduzione delle pressioni antropiche, sia sul versante delle emissioni dei gas a effetto serra, sia su quello della gestione della risorsa idrica, in un'ottica di adattamento e sostenibilità dei relativi usi.

La siccità 2022, con un deficit di precipitazione, liquida e solida, e la persistenza di elevate temperature, ha di fatto ridotto la disponibilità di risorsa e le riserve idriche per i diversi usi (civile, agricolo, industriale) e per il sostentamento degli ecosistemi e dei servizi che essi erogano, evidenziando ancor più la necessità di affrontare le problematiche connesse alle pressioni antropiche. I nostri studi hanno già da tempo evidenziato un aumento statisticamente significativo della percentuale del territorio italiano soggetto a condizioni di siccità estrema su scala temporale annuale. Le analisi sul bilancio idrico nazionale, condotte dall'Istituto in collaborazione con l'Istat, hanno inoltre evidenziato il ruolo significativo dei prelievi di acqua dai corpi idrici che, anche in anni non siccitosi e con larga disponibilità di acqua superiore alla norma, possono determinare condizioni di stress idrico. Ciò è avvenuto per l'Italia, ad esempio, nell'estate del 2019.

Sintesi dei dati

Fiumi e laghi

È buona la situazione dello stato ecologico delle acque superficiali interne - fiumi e laghi. In base alle prime analisi condotte a livello nazionale che pongono a confronto i dati relativi alla classificazione di stato dei corpi idrici per il periodo 2016-2021 con quelli dei 6 anni precedenti, oltre il 43% dei corpi idrici raggiunge l'obiettivo di qualità buono e superiore, mentre si raggiunge lo stato chimico buono per il 77%. Diminuisce, arrivando al 10%, la percentuale dei corpi idrici ancora in stato sconosciuto quindi non ancora analizzati sia per l'ecologico che per il chimico. Rimangono invariate le percentuali relative allo stato di qualità dei fiumi, mentre sembra essere migliorato lo stato dei laghi.

Acque di transizione e marino costiere

Rispetto ai precedenti sei anni, nel periodo 2016-2021 si riduce anche la percentuale delle acque di transizione (le acque che si trovano in prossimità di una foce di un fiume, parzialmente di natura salina, ma sostanzialmente influenzate dai flussi di acqua dolce) e marino costiere, ancora non classificate. Aumentano i corpi idrici in stato ecologico buono ed elevato di circa 10 punti percentuali (66% per le acque marino costiere e 15% per le acque di transizione), ma crescono anche quelli in stato chimico non buono (49% per le marino costiere 57% per le acque di transizione). Occorre considerare che dal 2015 la classificazione dello stato chimico include anche il monitoraggio di alcuni parametri negli organismi vegetali e animali presenti nell'ecosistema, non più solo nelle acque. Rimane invariata la percentuale di corpi idrici in stato buono per le acque marino costiere (52%), mentre tale percentuale raggiunge il 39% per le acque di transizione.

Corpi idrici sotterranei

Buono lo stato chimico del 70% dei corpi idrici sotterranei nel periodo 2016-2021, valore in aumento rispetto al 58% dei sei anni precedenti e risulta in netto calo la percentuale di corpi idrici ancora non classificati (3%) rispetto al precedente 17%. Anche la classificazione dello stato quantitativo è stata estesa alla maggior parte dei corpi idrici sotterranei, con percentuali di non classificati in netta riduzione. I corpi idrici classificati in stato quantitativo buono raggiungono il 79% del totale, quelli in stato scarso il 19%.

Migliorare l'uso dell'acqua in agricoltura: i possibili scenari

Il settore agricolo detiene il potenziale per risparmiare sostanziosi volumi idrici e, di conseguenza, per contribuire a risolvere i rilevanti problemi di degradazione e di bilancio tra domanda e disponibilità idrica. A tal fine occorrono sostanziali cambiamenti nelle infrastrutture e nelle modalità di gestione dell'acqua in agricoltura tenuto conto che l'approccio che viene attualmente applicato non è sempre adeguato

DOI 10.12910/EAI2023-008



di **Nicola Lamaddalena**, Vice Direttore del Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes, CIHEAM – Bari

In tutto il bacino del Mediterraneo, compresa l'Italia, esiste una diffusa crisi idrica che si manifesta nel mancato bilancio tra disponibilità di risorsa e domanda della stessa. Tutti i paesi si trovano, quindi, ad affrontare problemi di sicurezza alimentare e sostenibilità ambientale sempre più gravi in un comune scenario di incertezza climatica, di incremento demografico, di cambio dello stile di vita delle popolazioni e di una crescente insufficienza di acqua, di suolo e di risorse finanziarie per mobilitare investimenti necessari alla realizzazione di nuove infrastrutture.

Il settore agricolo, caratterizzato dai maggiori prelievi, detiene il potenziale per risparmiare sostanziosi volumi idrici. Per far ciò, occorre prevedere sostanziali modifiche sia nelle infrastrutture esistenti (e in quelle eventualmente da realizzare) che nelle modalità di gestione di queste. Il ruolo dell'irrigazio-

ne sarà sempre più importante in quanto solo attraverso tecniche irrigue adeguate e ben concepite si potranno aumentare le produzioni pur nel rispetto del bilancio tra "disponibilità e domanda". Anche se, molto spesso, estesi territori sono serviti da sistemi irrigui in pressione, le prestazioni di questi sono ben al di sotto delle attese. Ciò è dovuto a molteplici fattori quali: i) modifica sostanziale delle colture rispetto a quelle previste durante la fase di progettazione, ii) utilizzo di algoritmi di calcolo spesso basati su metodi empirici piuttosto che analitici, iii) attività di esercizio, manutenzione e gestione non adeguate, iv) caratteristiche tecniche delle varie apparecchiature idrauliche non adeguate, v) caratteristiche di portata e pressione sugli idranti non in linea con le necessità delle reti aziendali servite, vi) mancanza di regole di contribuzione adeguate (spesso basate sulla superficie irrigata e non sui volumi

realmente prelevati), vii) modalità di distribuzione non adeguate alle necessità degli agricoltori (turnata piuttosto che a domanda), etc.

Promuovere programmi di modernizzazione

In tale ottica, al fine di migliorare le prestazioni dei sistemi irrigui è necessario promuovere programmi di modernizzazione, sia tecnica che istituzionale, adeguati ed integrati.

La FAO ha messo a punto una metodologia strutturata per identificare e prioritizzare gli interventi di modernizzazione su sistemi a pelo libero (MASSCOTE, FAO 2007) e, attualmente sta lavorando al fine di adattare detta metodologia ai sistemi irrigui in pressione (MASSPRES, FAO, in corso di pubblicazione). Con riferimento a questi ultimi, la prestazione idraulica è stata definita in base alle caratteristiche di portata e/o pressione disponibili agli idranti rispetto a quelle necessarie per il cor-

retto funzionamento delle reti aziendali servite. Dette caratteristiche non sono costanti e non sono facilmente prevedibili a causa della forte variabilità spaziale e temporale del comportamento degli utenti che aprono e chiudono i propri idranti in funzione delle esigenze idriche delle colture oltre che delle proprie esigenze. Si fa quindi riferimento a modelli ed approcci stocastici, proposti nella metodologia MASSPRES, uno dei quali è quello pubblicato dalla FAO (I&D Paper n. 59, 2000). Attraverso detti modelli è possibile simulare numerose pressioni disponibili sugli idranti che andranno confrontate con la pressione minima necessaria per il buon funzionamento della rete aziendale. Se la probabilità di occorrenza della pressione minima richie-

sta è troppo bassa, allora si potranno identificare delle zone di crisi che permetteranno, a loro volta, di identificare gli interventi (strutturali e/o gestionali) da attuare per migliorare il funzionamento dei sistemi. A titolo di esempio si riporta di seguito l'analisi effettuata su un sistema irriguo di circa 3000 ha in pressione esistente nell'Italia del Sud (Lamadadena, 2005). L'analisi, i cui risultati sono stati collegati ad un sistema GIS (Figura 1a) mostra che nella rete si verificano aree di crisi abbastanza estese (idranti rossi) quando gli utenti irrigano durante le ore di punta della giornata (Portata di 1200 l/s). Al contrario, se gli utenti irrigano durante le ore notturne, la pressione aumenta considerevolmente a seguito di una più limitata portata

transitante nella rete. Si evince infatti che le aree di crisi scompaiono quasi del tutto (Figura 1b).

La registrazione dell'idrogramma delle portate (Figura 2) risulta quindi fondamentale per poter avere le informazioni necessarie alla identificazione degli interventi.

In questo caso, un facile intervento di modernizzazione gestionale adottabile dall'Ente Gestore potrebbe essere quello di semplicemente informare gli utenti delle zone critiche sulla opportunità di evitare irrigazioni durante le ore di punta. A fronte di questa penalizzazione, potrebbe essere applicata una riduzione contributiva a detti utenti (solo a quelli!). Per poter attuare detta soluzione, gli idranti devono essere equipaggiati con sistemi di erogazione elettronici (Figura 3), già peraltro molto diffusi e utilizzati con successo in Italia (Quaderni del Consorzio per la Bonifica della Capitanata, 2005) e anche nel sud del Mediterraneo (progetto KfW-Tunisia, 2016).

Altro aspetto importante per i sistemi irrigui consorziali riguarda le caratteristiche idrauliche degli idran-

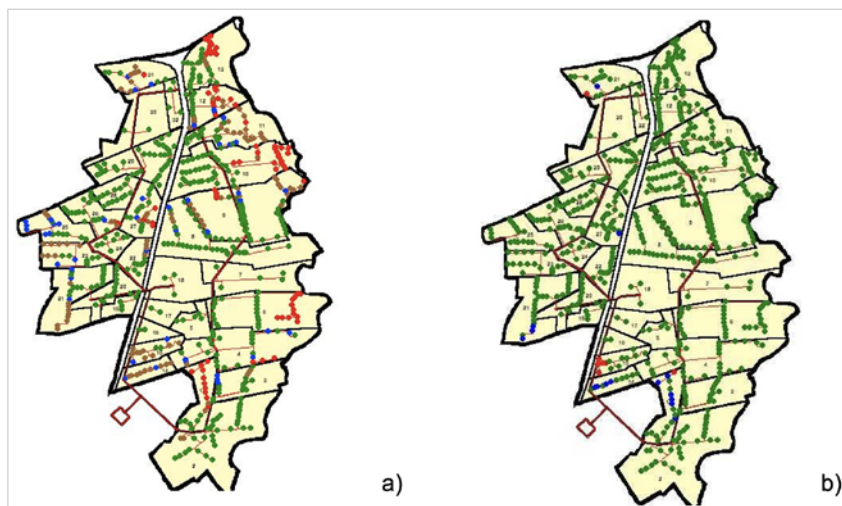


Figura 1 – Individuazione delle aree con deficit di pressione (portata: a) 1200 l/s; b) 700 l/s).

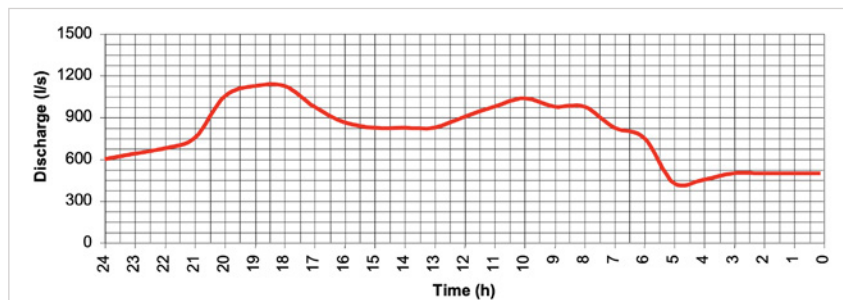


Figura 2 – Idrogramma tipo dei prelievi durante il periodo di punta.



Figura 3 – Idranti automatici con schede elettroniche.

ti. Queste sono fondamentali per il buon funzionamento di tutta la rete di distribuzione collettiva e anche per gli impatti sulle reti aziendali utilizzate dagli agricoltori. Daccache et al. (2010) hanno mostrato che sugli idranti dove si verificano variazioni di pressione considerevoli, con valori al di sotto della pressione minima prevista in fase progettuale, l'uniformità di distribuzione dell'acqua sull'azienda può variare enormemente, con un impatto sulla efficienza aziendale che può variare dal 80% (quando la pressione sull'idrante è elevata, cioè durante la notte) al 62% (quando la pressione sull'idrante è bassa, cioè durante le ore di punta) (Figura 4).

Le condizioni di efficienza peggiorano sensibilmente quando negli idranti non sono presenti i limitatori di portata (Lamaddalena e Pereira, 2007; Calejo et al., 2008) e/o quando le caratteristiche tecniche di questi non sono adeguate.

In molti comprensori irrigui la modalità di distribuzione è di tipo turnato. Questa pratica risulta spesso molto limitante e poco adeguata sia alle esigenze irrigue delle colture che alle esigenze degli utenti. Zaccaria et al. (2010) hanno messo a confronto la modalità di distribuzione irrigua turnata applicata in un sistema irriguo della Puglia, con la modalità di distribuzione "a domanda", come alternativa per migliorare l'uso della

to gli utenti prelevano tutta la risorsa disponibile durante il turno anche quando questa non è strettamente necessaria) e anche con condizioni di stress per la coltura (Figura 5a). Al contrario, nell'ipotesi di irrigazione a domanda, il prelievo totale di acqua risulterebbe pari a 369 mm senza perdite né condizioni di stress per la coltura (Figura 5b). Detta modalità di distribuzione andrebbe quindi preferita. Ovviamente, perché tale modalità possa essere applicata con successo è necessario creare le giuste condizioni quali: i) contribuzione basata sul volume di acqua effettivamente prelevato, ii) prestazione del sistema irriguo adeguata alle esigenze degli utenti, iii) elevata affidabilità della rete di distribuzione collettiva, iv) bilancio idrico corretto e aggiornato che consenta di identificare con esattezza il momento dell'intervento irriguo.

Se la rete collettiva ha problemi di sottodimensionamento delle tubazioni allora vanno identificati gli interventi strutturali da attuare.

A tal proposito è fondamentale identificare gli algoritmi di calcolo più idonei da utilizzare per poter effettuare interventi corretti ed economici. Nel passato (quando non si sono utilizzati metodi empirici, che sono invece sempre da evitare), si è fatto riferimento ad algoritmi basati su funzioni obiettivo che minimizzano il costo della rete rispetto ai vincoli (fisici e idraulici) imposti.

Più recentemente sono stati sviluppati nuovi algoritmi che si basano su indicatori che consentono, simultaneamente, di minimizzare il costo della rete e di massimizzare la prestazione di questa. Detti algoritmi consentono di identificare interventi di modernizzazione strutturale che spesso sono meno costosi di quelli ottenuti con le metodologie classiche, con una prestazione

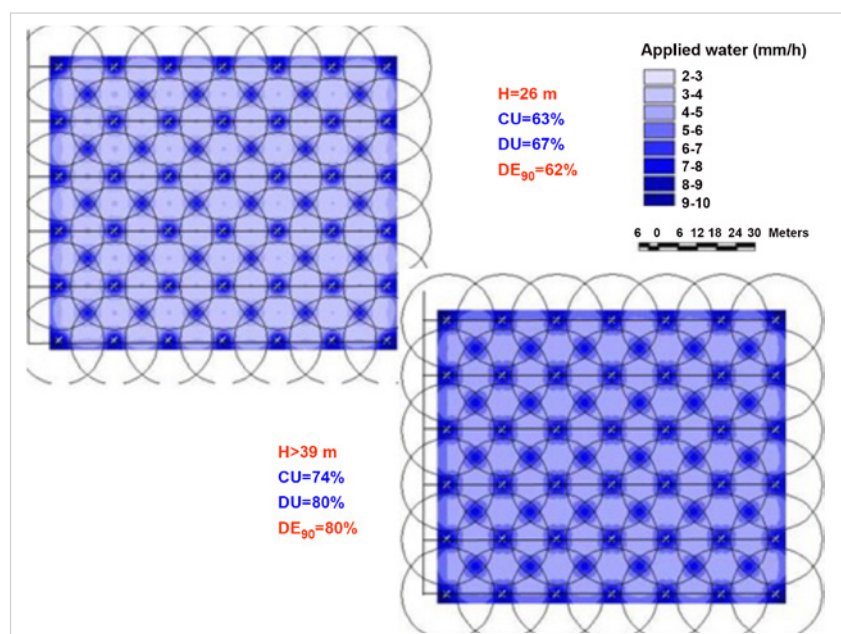


Figura 4 – Efficienza di distribuzione aziendale in funzione del carico sull'idrante.

Creare le giuste condizioni per la distribuzione dell'acqua

Si può quindi ottenere un aumento di efficienza pari al 25% suggerendo agli agricoltori che si trovano nelle zone svantaggiate di programmare le irrigazioni durante le ore notturne.

risorsa idrica disponibile. Dalla Figura 5 si evince come, nel caso di irrigazione della vite da tavola, con la modalità turnata applicata dall'ente gestore, il prelievo di acqua è pari a 504 mm, con perdite di acqua dovute ad eccesso di irrigazione (in quan-

confrontabile o addirittura migliore (Lamaddalena et al., 2011).

L'impatto dei costi dell'energia

Come già detto, molto spesso i grandi comprensorio irrigui, al fine di aumentare le efficienze di distribuzione, sono progettati con tubazioni in pressione atte a servire metodi irrigui ad aspersione e/o a micro-portata, con esercizio a domanda. Tuttavia, spesso questi sono dotati di stazione di sollevamento in testa alla rete che generano consumi energetici con costi crescenti nel tempo. **La lievitazione delle tariffe dell'energia elettrica, quindi, incide pesantemente sul bilancio degli Enti Gestori e, conseguentemente, sul reddito degli agricoltori.** È necessario quindi, al fine di **ridurre il più possibile i consumi energetici,**

indagare sulla opportunità di utilizzare nuove tecnologie e nuovi approcci quali, per esempio, la regolazione con pompe a velocità variabile. Una serie di studi condotti in Marocco, in Spagna e in Italia, hanno dimostrato che detta metodologia consente una riduzione del consumo energetico dal 16% al 30% (Ait Kadi et al, 1998; Lamaddalena and Khila, 2012 e 2013; Moreno et al. 2010 a, b; Diaz et al. 2009). A causa degli andamenti climatici osservati, **la regione Mediterranea è stata individuata come una delle più sensibili alla desertificazione.** Ciò impone una nuova sfida per i progettisti e i gestori delle infrastrutture irrigue in quanto la domanda di acqua, specie nei periodi di punta, è destinata ad aumentare nel prossimo futuro, a fronte di una sempre minore di-

sponibilità. Sono quindi sempre più necessarie le misure tecniche e/o gestionali descritte in questo lavoro insieme a quelle brevemente sintetizzate di seguito.

Misure Tecniche - di solito molto costose, ma facili da implementare – quali: corretta manutenzione delle reti, riabilitazione strutturale con aumento localizzato delle dimensioni delle tubazioni, utilizzo di pompe locali per aumentare la pressione nelle zone critiche, utilizzo di metodi aziendali di irrigazione a basso consumo energetico, bilanci affidabili nello spazio e nel tempo.

Misure Gestionali - più economiche ma di più difficile realizzazione – quali: sistemi di contribuzione adeguati, partecipazione e collaborazione tra gli utenti per l'uso sostenibile della risorsa idrica, aumento dei controlli, riorientamento delle politiche verso la gestione integrata delle risorse idriche, promozione dell'uso di acqua non convenzionale (per es.: acque reflue trattate), promozione di varietà colturali tolleranti alla siccità, irrigazione deficitaria, pacciamatura, **Gestori e progettisti, insieme, dovrebbero valutare quali di queste misure sono tecnicamente ed economicamente adeguate, e quindi stabilirne le priorità. In tutto ciò, il ruolo del servizio di assistenza tecnica e della formazione a tutti i livelli, sia operativi che decisionali sono rilevanti.** Infine, lo sviluppo e l'utilizzo di nuove tecnologie possono svolgere un ruolo fondamentale affinché la domanda idrica possa essere bilanciata dalla disponibilità ma per far sì che questo accada è indispensabile mettere a punto Policy e strumenti di Governance adeguati. I Consorzi di Irrigazione Italiani rappresentano un ottimo esempio da replicare (Lamaddalena et al., 2004).

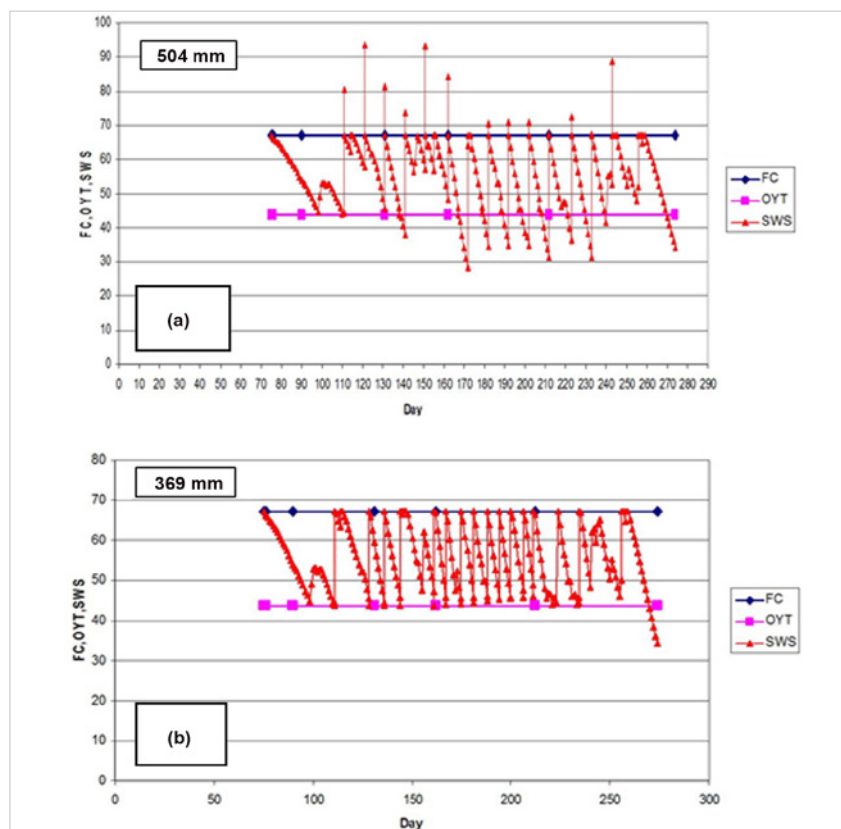


Figura 5 – Confronto tra modalità di distribuzione Turnata (a) e a domanda (b).

Bibliografia

- Ait Kadi M, Bouabe Z, El Yacoubi Z. (1998). Study on the possibility of energy saving in an irrigation system equipped with pumping station. *Riv Irrig Dren* 45:25-30
- Calejo MJ, Lamaddalena N, Teixeira JL, Pereira LS. (2008). Performance analysis of pressurized irrigation systems operating on-demand using flow driven simulation modelling. *Agric Water Manag* 95:154-162. doi:10.1016/j.agwat.2007.09.011
- Quaderni del Consorzio per la Bonifica della Capitanata (2005). Ammodernamento e innovazione tecnologica nelle reti irrigue e delle opere di bonifica. Atti del convegno: 55° Fiera Internazionale dell'agricoltura e della Zootecnica (Foggia).
- Daccache A, Lamaddalena N, Fratino U. (2010). On-demand pressurized water distribution system impacts on sprinkler network design and performance. *Irrig Sci* 28:331-339. doi: 10.1007/s00271-009-0195-7
- Daccache A., Weatherhead K and Lamaddalena N. (2010). Climate change and the performance of pressurized irrigation water distribution networks under Mediterranean conditions: impacts and adaptations. *Outlook on Agriculture*. Vol 39, No4, 277-284.
- Diaz JAR, Luque RL, Cobo MTC, Montesinos P, Poyato EC (2009). Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurized irrigation networks. *Biosyst Eng* 104:552-561. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.09.00
- D'Urso G., Vuolo F., De Michele C., Bianchi B. Cutting M. (2015). Satellite-based irrigation advisory services: A common tool for different experiences from Europe to Australia. *Journal of Agricultural Water Management*, Volume 147, Pages 82-95
- FAO, I&D Paper, 59 (2000). Lamaddalena N, Sagardoy JA. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ah860e/ah860e.pdf>.
- FAO, Water Report n. 25 (2003). GROUNDWATER MANAGEMENT: The search for practical approaches
- FAO, I&D Paper n. 63 (2007). Renault D., Facon T., Wahaj R. Modernizing irrigation management, the MASSCOTE approach.
- Lamaddalena N., Billi, A., Todorovic, M., Hamdy, A., Bogliotti, C., Quarto, A. (2004). "Participatory water management in Italy: case study of the consortium "Bonifica della Capitanata". *Options Méditerranéennes, Série B: Etudes et Recherches (CIHEAM)*
- Lamaddalena N, (2005). Modeling and new technologies: tools to be combined for improving irrigation systems management. In: 2nd International Conference on "Cybernetics Technologies Systems and Applications (CITSA 2005)" jointly with the "11th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis (ISAS 2005)". Orlando, Florida, July 14 - 17, 2005
- Lamaddalena N, Khila S (2012) Energy saving with variable-speed pumps in on-demand irrigation systems. *Irrig Sci*. doi: 10.1007/s00271-011-0271-7
- Lamaddalena N, Pereira LS (2007) Assessing the impact of flow regulators with a pressure-driven performance analysis model. *Agric Water Manag* 90:27-35
- Lamaddalena N., Khadra R, Tlili Youssef, (2011). Reliability-based pipe size computation in on-demand irrigation systems. *Journal of WATER RESOURCES MANAGEMENT*. DOI 10.1007/s11269-011-9919-6
- Lamaddalena N, (2014). La modernizzazione delle infrastrutture irrigue: opzioni ingegneristiche. Relazione Generale. Comunicazione orale - Conferenza Nazionale ANBI - Roma, luglio 2014.
- Lamaddalena N., Khadra R., Fouial, A. 2015. Use of localized loops for the rehabilitation of on-demand pressurized irrigation distribution systems. *IRRIGATION SCIENCE*, Volume: 33, Issue: 6 Pages: 453-468
- Lamaddalena N, (2018). Irrigazione comprensoriale: stato dell'arte e prospettive. In: Quaderni di Economia Montana, n. 35. A cura di: V. Bagarello, V. Ferro, G. Giordano. EdiBios, Cosenza.
- Moreno MA, Corcoles JI, Tarjuelo JM, Ortega JF (2010a) Energy efficiency of pressurized irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosyst Eng* 107:349-363. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.09.009
- Moreno MA, Ortega JF, Corcoles JI, Martinez A, Tarjuelo JM. (2010b). Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrig Sci* 28:445-460. doi:10.1007/s00271-010-0206-8
- Zaccaria D.; Oueslati I.; Neale C. M. U.; Lamaddalena N. (2010). Flexible delivery schedules to improve farm irrigation and reduce pressure on groundwater: a case study in southern Italy, *IRRIGATION SCIENCE*, Volume: 28, Issue: 3 Pages: 257-270, DOI: 10.1007/s00271-009-0186-8
- Zucaro R., Pontrandolfi A., Dodaro G.M., Gallinoni C., Pacicco C.L., Vollaro, M. (2011). INEA, Atlante Nazionale dell'Irrigazione.

Le interviste

Per le infrastrutture idriche passi in avanti ma servirebbero 10 miliardi



Intervista con **Andrea Guerrini**, componente del Collegio ARERA e presidente di WAREG

L'acqua è una risorsa indispensabile per il sostentamento degli equilibri naturali e per tutte le attività antropiche. Tuttavia, secondo la Commissione UE almeno l'11% della popolazione europea e il 17% del suo territorio sono colpiti da scarsità di risorse idriche. E fra i paesi più a rischio c'è l'Italia con uno stress idrico fra i più elevati, pari al 24% secondo il Water Exploitation Index (WEI, definito dal rapporto su base annua tra il prelievo idrico e le risorse idriche rinnovabili) e un grave problema di perdite. L'ARERA in quanto Autorità di regolazione per energia, reti e ambiente ha competenze in materia di regolazione e controllo dei servizi idrici dal 2011. Ad Andrea Guerrini, componente dell'Autorità di regolazione per l'energia, le reti e l'ambiente ARERA e presidente dell'Associazione dei regolatori europei per l'acqua abbiamo chiesto di tracciare un bilancio dei risultati ottenuti in questi anni e delle eventuali criticità che permangono?

Siamo a metà strada. La spinta della regolazione è evidente. Oggi ci sono chiari modelli tariffari per la copertura dei costi e c'è una progressione delle tariffe per scaglioni di consumo, introdotta con il testo integrato dei corrispettivi per i servizi idrici (TICSI).

Certo, l'Italia rimane uno dei paesi con i consumi più elevati. Questo, in parte, è legato al fatto che il prezzo è ancora basso e non manda un segnale di attenzione al risparmio idrico: in pratica siamo poco attenti perché la spesa incide poco e utilizziamo l'acqua potabile anche per usi impropri, che potrebbero essere coperti con acque depurate o con acque non potabilizzate. Inoltre visto che ci sono le infrastrutture e l'acqua arriva a casa comodamente, risulta sempre più facile e conveniente rispetto ad altre forme di approvvigionamento.

Indiscutibilmente, poi, una criticità rimane quella della misurazione. Se non si sa quanto si consuma è difficile adottare comportamenti di risparmio. La strada è quella dell'installazione di contatori per singola utenza. Con il TIMSI, il testo regolatorio della misura, si sono imposte regole per gli edifici di nuova costruzione, ma resta ancora una gran parte del Paese in cui il misuratore è uno solo per tutto il condominio e il rapporto tra i consumi e le bollette lo conosce solo l'amministratore.

“ Nel settore idrico siamo a metà strada. La spinta della regolazione è evidente, ”

Dall'ultima relazione di ARERA emerge un miglioramento delle perdite dal 43,7% del 2016 all'attuale 40,7% attuale e una riduzione delle interruzioni. Tuttavia, si tratta ancora di percentuali elevate, con picchi in particolare nel Sud Italia. Quali sono a suo giudizio le misure più urgenti per affrontare questa situazione?

L'inversione di tendenza è il dato più interessante. Questa è dovuta all'attenzione posta sulla qualità tecnica del servizio. La riduzione delle perdite negli anni è evidente, ma a questa velocità ci metteremmo trent'anni per arrivare al livello dei migliori Paesi europei, che si attesta in media intorno al 10%. Una parte della spinta può arrivare dalla tassonomia UE, che identifica il livello delle perdite come una delle caratteristiche per gli investimenti sostenibili. In sostanza i gestori che vorranno presentare come finanziabili, bancabili, i propri



investimenti, dovranno necessariamente misurare la percentuale delle perdite e gli altri elementi della qualità tecnica, rimanendo al di sotto delle soglie prefissate dalla normativa.

Nel PNRR sono previsti 2 miliardi per infrastrutture idriche e 600 milioni per fognature e depurazione. Sono sufficienti?

L'Italia, come abbiamo detto, ha bisogno di una massiccia sostituzione dei tubi, che certamente non può essere coperta con 2 miliardi. Basti considerare che nel 2020 con la nostra ricognizione avevamo stimato un fabbisogno minimo di 10 miliardi. È comunque un segnale positivo, che sostiene il percorso di efficienza operativa che molti gestori hanno avviato, ad esempio, con la digitalizzazione.

“L'Italia ha bisogno di una massiccia sostituzione di tubi,”

Sul tema acqua il Presidente del Consiglio Giorgia Meloni ha affermato che “il governo intende affrontare i problemi strutturali del comparto” a partire dalla “siccità che i cambiamenti climatici hanno reso un problema sempre più ricorrente e a tratti emergenza-

le”. **“Vogliamo mettere a sistema risorse e interventi in capo a vari ministeri e realizzare una unica strategia pluriennale a livello nazionale”, con un “primo obiettivo di incrementare la capacità di stoccaggio delle acque piovane, ancora fermo a un inaccettabile 11%”. Inoltre, “una corretta regimazione delle acque consente di rispondere in modo efficace anche al dissesto”. Quale può essere il ruolo dell'ARERA in questo contesto?**

Non solo la carenza idrica, ma anche gli eccessi sono un problema. Siccità e alluvioni sono due facce della stessa medaglia e sulla gestione delle acque meteoriche c'è da aggiungere che il sistema di fognatura e depurazione è spesso messo in crisi dalle piogge improvvise, parte delle quali confluiscono nei depuratori mandandoli in saturazione. Quando si pensa a politiche pubbliche per l'acqua, bisogna avere un approccio a 360 gradi. L'acqua per uso civile è il 30% dei consumi, la parte prevalente è nell'agricoltura e una percentuale minore per i servizi industriali.

Occorre ragionare sulle connessioni tra i vari settori, ad esempio incentivando l'uso delle acque depurate in agricoltura e per questo non basta la direttiva europea sul riuso delle acque, occorre un impegno istituzionale a vari livelli per una reale applicazione sul territorio che tenga conto anche della definizione del soggetto che deve sostenere i costi di tali interventi.



“Siccità e alluvioni sono due facce della stessa medaglia,”

Nel metodo tariffario l'ARERA ha introdotto due strumenti innovativi come il Piano per le opere strategiche (POS) e lo 'schema regolatorio di convergenza'. Come operano esattamente e possono contribuire alla riduzione del fenomeno del "water service divide", ancora presente nel Paese?

Sono due strumenti diversi per le stesse finalità, che cercano di abbracciare le condizioni di partenza davvero molto differenziate nel nostro Paese. Il primo, il Piano Opere Strategiche, più utile per quelle realtà in cui il servizio è già avanzato e allineato con le indicazioni regolatorie. Si tratta di strumenti che consentono di migliorare i 6 indicatori della qualità tecnica che ARERA ha predisposto e sui quali le aziende vengono premiate o penalizzate per i propri livelli di efficienza.

L'altro, lo schema regolatorio di convergenza, è agli antipodi: un modello ipersemplificato per consentire, ai soggetti che non hanno mai regolato il servizio e avuto rapporti con l'Autorità, di analizzare i primi dati contabili ed entrare in un regime minimo di misurazione dell'efficienza del servizio. Solo in questo modo, infatti, potranno pianificare investimenti e adeguamenti tariffari. Alcuni comuni lo hanno già avviato e il metodo, lentamente, comincia a dare i suoi frutti.

L'ARERA è membro fondatore e presiede WAREG, l'associazione di autorità pubbliche con responsabilità di regolazione economica dei servizi idrici e di fognatura a livello nazionale e regionale in Europa. Quali sono gli obiettivi e i risultati ottenuti?

L'associazione ha acquisito sempre più consapevolezza rispetto al proprio ruolo istituzionale in Europa e sta continuando a perseguire l'obiettivo di inserire la regolazione nei provvedimenti UE sui temi idrici. Nell'energia è avvenuto con un processo top-down, nel settore idrico sono i regolatori dei vari Paesi che suggeriscono al legislatore europeo gli elementi tecnici da considerare per incrementare la qualità e l'universalità del servizio.

Chiaramente altri obiettivi arrivano dall'attualità. La crisi dell'energia, con l'impennata dei costi che viviamo da oltre un anno, ha imposto un diverso approccio anche ai gestori idrici. Se da un lato i regolatori hanno adottato, verso i gestori, forme di sostegno alla spesa simili a quelle adottate per i consumatori, dall'altro le aziende hanno riconsiderato le proprie scelte in campo energetico, puntando alla riduzione dei consumi e investendo sull'efficienza energetica e sull'uso delle rinnovabili per alimentare il ciclo idrico.

“La crisi dell'energia, con l'impennata dei costi, ha imposto un diverso approccio anche ai gestori idrici,”

A suo giudizio quanto è importante una strategia di gestione della domanda globale che promuova stili di vita e processi produttivi sostenibili e crei incentivi concreti per il risparmio, la conservazione e la resilienza delle fonti e delle relative infrastrutture idriche? In altri termini, quanto sono importanti le azioni per incrementare la consapevolezza dei cittadini ed in generale degli operatori e utenti del servizio idrico integrato e l'introduzione di eventuali meccanismi incentivanti, per ridurre gli sprechi e favorire comportamenti e usi più virtuosi tesi alla salvaguardia della risorsa idrica?

Sono sicuramente utili tutte le modalità informative e di sensibilizzazione che aumentino la consapevolezza degli utenti sui propri consumi, ma è evidente che – e mi ricollego a quanto detto in apertura – per ridurre i consumi bisogna prima misurarli, essere coscienti di quanto, come e quando, utilizziamo l'acqua.

La misurazione e i contatori singoli sono lo strumento concreto sul quale dovrebbero poggiare le campagne informative. Una volta stabilito un legame tra utente singolo, contatore, gestore, sarà anche più facile per i gestori utilizzare prodotti comunicativi capillari per promuovere comportamenti virtuosi e certificare le riduzioni dei consumi.



Nel settore acqua oggi più luci che ombre



Intervista con **Giordano Colarullo**, Direttore generale di Utilitalia

L'acqua è una risorsa indispensabile per il sostentamento degli equilibri naturali e per tutte le attività antropiche. Tuttavia, già oggi in diversi stati UE la scarsità d'acqua è un problema grave: secondo la Commissione UE almeno l'11% della popolazione europea e il 17% del suo territorio sono colpiti da scarsità d'acqua. E fra i paesi più a rischio appare l'Italia, Paese ad elevata vulnerabilità climatica, con una scarsa capacità di adattamento ad eventi legati al cambiamento climatico e un grave problema di perdite, pari a circa il 40% dell'acqua immessa in rete anche se con differenze fra Nord (32%) e Sud (50%). Dottor Colarullo, quali sono a suo giudizio le misure più urgenti per affrontare questa situazione?

Purtroppo, il nostro Paese soffre di un ritardo infrastrutturale che non è di origine recente. Negli anni '50, '60, '70 abbiamo investito pochissimo e oggi paghiamo il lascito degli scarsi investimenti; inoltre per decenni l'Italia è stata caratterizzata da grande ricchezza di acqua e di acqua di qualità facendo sì che nel DNA degli italiani si sia inserito un elemento del tutto erroneo, ovvero di non percepire l'acqua come un bene molto prezioso.

A ciò si è sommato l'acceso dibattito politico sull'acqua come bene pubblico o privato, deviando rispetto alle vere problematiche sottostanti che riguardano l'aver una capacità industriale e di gestione. Oggi la sfida che abbiamo di fronte è il recupero accelerato del gap infrastrutturale, comprese le perdite, ma anche la depurazione e la fognatura. In generale, però, si cominciano a vedere più luci che ombre rispetto al passato, tenuto conto che nell'arco di un decennio, dal 2012 al 2022, gli investimenti sono quadruplicati, passando da 1 a 4 miliardi.

“Oggi la sfida è il recupero accelerato del gap infrastrutturale comprese le perdite, la depurazione e la fognatura,,

A che cosa è dovuto questo salto in avanti?

Un primo elemento positivo è stato sicuramente la presenza di un'autorità indipendente di settore, l'ARERA, che ha introdotto un nuovo regime tariffario favorendo la trasparenza e regole certe. E poi c'è stato un miglioramento progressivo della governance in buona parte d'Italia, non tutta, ma in buona parte sì, attraverso l'attuazione della riforma del '94, introdotta dalla Legge Galli che nelle sue varie declinazioni ed evoluzioni oggi viene rispettata più o meno nei 2/3 del Paese. Nel restante 1/3, prevalentemente al Sud d'Italia, purtroppo questo non avviene ancora e ne paghiamo lo scotto. Tuttavia, anche su questo fronte ci sono buone notizie. Ad esempio, la Calabria sembra ormai instradata verso una 'normalizzazione' e vi sono andamenti positivi anche in Sicilia e Campania che dovrebbero progressivamente andare a regime. Resta comunque il fatto che le tariffe sono un aspetto molto importante ma non l'unico: c'è anche un tema di governance che è fondamentale rafforzare.

Per fronteggiare le criticità sopra citate e non solo, nel PNRR sono previsti 2 miliardi per infrastrutture idriche e 600 milioni per fognature e depurazione. Sono sufficienti?

In senso stretto sono sicuramente pochi, tenuto conto che, come comparto, investiamo 4 miliardi l'anno mentre per il PNRR si parla di 2,6 miliardi in totale, spalmati su 5 anni. Però anche in questo caso vorrei dare una lettura positiva, perché non è il denaro pubblico che deve risolvere tutti i problemi. Quelli del PNRR sono fondi che vanno ad affiancarsi ai ricavi da tariffa, con due vantaggi specifici. Il primo è di alleviare il peso sulla tariffa. Il secondo è che per alcuni gestori il fatto di aver vinto e di avere avuto accesso ai fondi PNRR avendo superato il vaglio tecnico, mostra una capacità progettuale e dà un segnale anche a quei soggetti - come le banche, in primo luogo - che dovranno finanziare altri investimenti. Quindi quei 2,6 miliardi sono un buon booster, perché - in estrema sintesi - sono pochi ma bastano ad aiutare il comparto e contribuiscono a risolvere i problemi del Paese.

“Non è il denaro pubblico a dover risolvere tutti i problemi, ma i 2,6 miliardi del PNRR sono un buon booster,”

Sul tema acqua il Presidente del Consiglio Giorgia Meloni ha affermato che “il governo intende affrontare i problemi strutturali del comparto”, a partire dalla “sicché che i cambiamenti climatici hanno reso un problema sempre più ricorrente e a tratti emergenziale”. “Vogliamo mettere a sistema risorse e interventi in capo a vari Ministeri e realizzare una unica strategia pluriennale a livello nazionale” con un “primo obiettivo di incrementare la capacità di stoccaggio delle acque piovane ancora fermo a un inaccettabile 11%”. Inoltre, “una corretta regimazione delle acque consente di rispondere in modo efficace anche al dissesto”. **Quale può essere il ruolo di Utilitalia in questo contesto?**

Sono proposte che accogliamo con molto favore. E del resto, in questa direzione si era già mosso il Ministero delle Infrastrutture. Come associazione possiamo svolgere un ruolo utile mettendo a punto un piano pluriennale, dando una valutazione tecnica anche nella selezione dei progetti PNRR - come abbiamo fatto in fase di

pianificazione del PNRR - con una visione chiaramente nazionale, complessiva e di affiancamento agli organi pubblici. Abbiamo fatto raccolte di dati e svolto un'azione di sensibilizzazione anche nei confronti di quelle realtà che sono più difficili da raggiungere o che sono troppo impegnate nell'attuazione degli investimenti già in corso. Quindi il nostro è fondamentalmente un ruolo di volano, di hub. Abbiamo raccolto investimenti per 14 miliardi di proposte di progetti nell'ambito PNRR, poi ne sono stati finanziati 2,6, ma noi abbiamo avuto un ruolo abbastanza cruciale rispetto, per esempio, alla predisposizione dei bandi, degli avvisi. Questo ruolo di hub è centrale affinché le linee di policy possano estrinsecarsi al meglio, essere più efficaci e fare sì che gli attori economici rispondano al meglio e in rapidità.

Ad oggi appare evidente la necessità di una gestione di tipo industriale del servizio idrico integrato per garantire standard accettabili di prestazioni e di investimenti, con le utility che rivestiranno un ruolo sempre più rilevante, agendo anche da “catalizzatori” degli investimenti europei. Il Sud Italia per contro ha ancora una gestione frammentata, con molte gestioni comunali in economia, e una situazione carente in termini di qualità del servizio oltre che di trasmissione dei dati relativi alle performance ambientali e di servizio delle gestioni idriche (rif. ARERA). Come si può superare questo divario tra Nord e Sud Italia?

Il punto centrale, oggi, è di introdurre una governance che permetta l'ingresso di una gestione industriale che non sia frammentata e che sia in grado di promuovere i necessari investimenti infrastrutturali. Quindi è fondamentale superare una governance emergenziale per permettere l'affidamento a soggetti industriali. Si tratta di un passaggio essenziale per affrontare il gap infrastrutturale nel nostro comparto. Quindi non è tanto una questione di risorse finanziarie ma di creare condizioni di mercato che siano favorevoli per attirare soggetti industriali.

“Creare le condizioni di mercato per attirare soggetti industriali,”



Il nuovo Blue Book sull'acqua realizzato dalla Fondazione Utilitatis in collaborazione con Cassa Depositi e Prestiti e ISTAT evidenzia che in Italia gli investimenti sono ancora molto lontani dalla media europea di 100 euro pro capite mentre il consumo acqua potabile resta eccessivo rispetto alle medie europee. Quali azioni sarebbero necessarie per colmare questo gap?

Il tema è simile a quello che dicevamo prima ed è legato al tipo di gestione adottato. È vero che oggi in Italia non viene raggiunta la media europea di 100 euro pro capite di investimento e siamo intorno al 50% circa di quel valore. Tuttavia, se andiamo a considerare alcune zone del Paese, il livello di investimento pro capite supera i 60 e anche i 70 euro, avvicinandosi molto alle medie europee. E, come ho già detto in precedenza, il Paese si sta muovendo nella giusta direzione passando da 1 miliardo complessivamente investito nel 2012 a circa 4 miliardi nel 2022. Anche in questo caso per ridurre o azzerare i gap di investimenti l'unica soluzione efficace è mettere gestori industriali nelle aree dove restano le gestioni in economia. Oggi abbiamo ancora 8 milioni circa di italiani che vengono serviti da una gestione diretta dei comuni che non sono in grado di effettuare gli investimenti necessari, rimanendo il più delle volte sotto ai 10 euro pro capite. Quindi da un lato occorre rafforzare le gestioni industriali esistenti, è necessario affinché si portino tutte a un livello più alto, e dall'altro superare le gestioni dirette dei comuni e farle confluire finalmente nei soggetti industriali in modo che tutto quanto il Paese possa superare le gestioni in economia e avere un livello di investimenti adeguati.

Quali sono gli interventi prioritari per fornire una adeguata risposta alle nuove esigenze di tutela (es. introduzione di nuovi standard di qualità per i contaminanti emergenti) e per definire nuove modalità di gestione e recupero dei prodotti di scarto, valorizzando i percorsi di chiusura dei cicli e favorendo, ove possibile, la declinazione degli approcci di economia circolare?

Prima di tutto occorre una strategia One Health, cioè con una visione complessiva e olistica. E poi occorre muoversi a vari livelli: da un lato promuovendo una governance che poggi su una gestione sia industriale che a livello di distretto, quindi, anche sul rafforzamento e il maggiore coordinamento del governo del distretto. Un secondo livello riguarda la capacità infrastruttura-

le e il terzo livello l'approccio orientato al rischio, che vede la necessità di commisurare gli investimenti per minimizzare il rischio, compatibilmente con la capacità economica. Quindi parliamo dei Water Safety Plan che riguardano in particolare le fonti di approvvigionamento, sostanzialmente la possibile intrusione di sostanze contaminanti e di nuovi contaminanti, come microplastiche e PFAS. A mio avviso questo comporta la necessità e la capacità di gestire il rischio anche risalendo la filiera. Dunque, si torna al problema olistico, di cercare di agire sulle criticità anche a monte, in modo da ridurre sia l'uso che la produzione di certe sostanze, prima che entrino nel ciclo vitale.

“Dai fanghi di depurazione una vera miniera d'oro,”

Altri aspetti di rilievo riguardano il riutilizzo delle acque reflue e la definizione di modalità di smaltimento e riutilizzo sostenibile dei fanghi di depurazione. Quali azioni sarebbero necessarie in quest'ambito?

Anche in questo caso vorrei evidenziare gli aspetti positivi. Siamo davanti a una vera e propria “miniera d'oro”, ovviamente fra virgolette, a condizione di inquadrare quello che era la fine di un ciclo, quello idrico, come l'inizio di un ciclo di ricchezza, costituito da materiali, ammendanti agricoli e altre sostanze utili. Tutto ciò è particolarmente importante per un Paese come il nostro che ha meno risorse minerarie e naturali rispetto ad altri e si ritrova molto esposto agli effetti dei cambiamenti climatici e alla progressiva mancanza di acqua. In questo contesto, una prima azione fondamentale riguarda la normativa, a cominciare dal DM 185 del 2003 sul riuso delle acque, che va rivisto anche alla luce del Regolamento europeo. Si tratta di un decreto ministeriale che prevede parametri piuttosto stringenti che vanno al di là della tutela della salute stessa. Quest'intervento sarà centrale per il riuso dell'acqua, come del resto la sistemazione del DL 99 del 92 sui fanghi. Noi siamo favorevoli all'uso ottimale delle tecnologie, affinandole costantemente, per non sprecare l'opportunità di usare fanghi di qualità anche in agricoltura. Naturalmente questa è solo una parte ma è essenziale porre mano alle normative per poter dare un valore di pro-

dotto a tutto quello che riusciamo a estrarre: dalla cellulosa, al fosforo, all'azoto e tutto quello che è possibile. Una volta il costo dell'estrazione era elevatissimo, oggi siamo in una fase in cui le tecnologie e i costi di produzione ci mettono condizione di estrarre il fosforo con un costo molto più contenuto. Quindi è fondamentale che lo sviluppo tecnologico accompagni questo processo, affiancandolo con norme abilitanti, puntando molto sull'innovazione o sull'applicazione di innovazioni tecnologiche già in essere, affinché si possa procedere su scala e arrivare a costi più contenuti, rendendo economica l'estrazione delle risorse e facendo della fine di un ciclo l'inizio di un nuovo ciclo.

“E' essenziale porre mano alle normative per dare un valore di prodotto,,

A suo giudizio quanto è importante una strategia di gestione della domanda globale che promuova stili di vita e processi produttivi sostenibili e crei incentivi concreti per il risparmio, la conservazione e la resilienza delle fonti e delle relative infrastrutture idriche? In altri termini, quanto sono importanti le azioni per incrementare la consapevolezza dei cittadini ed in generale degli operatori e utenti del servizio idrico integrato e l'introduzione di eventuali meccanismi incentivanti, per ridurre gli sprechi e favorire comportamenti e usi più virtuosi tesi alla salvaguardia della risorsa idrica?

Sono azioni fondamentali. Perché non possiamo più permetterci il lusso di pensare solo a grandi risposte infrastrutturali che sono molto importanti ma non sono le uniche possibili. Di fatto, il comportamento di ciascun individuo diventa rilevante in un contesto in cui occorre risalire la filiera, sia in termini di risparmio, sia nell'uso di materiali che siano meno impattanti o magari più riutilizzabili. Tutto questo va a comporre dei tasselli di una strategia vincente complessiva.

La sensibilizzazione è assolutamente centrale anche per sfatare alcune convinzioni errate a livello di opinione pubblica. Ad esempio, da uno studio che abbiamo fatto sulla percezione della risorsa acqua emerge che gli italiani hanno un atteggiamento totalmente sbagliato rispetto alla salubrità dell'acqua del rubinetto, nel senso che non la bevono e preferiscono acquistare l'acqua minerale pensando che sia migliore. Invece è totalmente vero il contrario, perché generalmente, dove c'è un gestore industriale, il livello di controllo sull'acqua del rubinetto è elevatissimo. Ma non solo. L'indagine rivela che vi è una totale non percezione della scarsità del bene acqua. Il combinato disposto di questi due atteggiamenti porta a un'enorme uso dell'acqua del rubinetto per motivi diversi, per lavare l'auto, annaffiare il giardino e così via, con un consumo che è il doppio della media europea e fra i più elevati al mondo.

“La sensibilizzazione è essenziale,,

Quindi lei è favorevole a una campagna di informazione e sensibilizzazione

La ritengo fondamentale, anche per abbattere i nostri record negativi. Noi abbiamo fatto alcune azioni in questa direzione, ad esempio la scorsa estate con un decalogo delle buone pratiche e le aziende si stanno impegnando nei loro territori. Credo però che serva un ragionamento un po' più ampio. A mio avviso deve esserci una campagna istituzionale dove partecipiamo anche con le imprese, ma con un chiaro coinvolgimento dello Stato, perché le persone devono percepire che queste azioni non sono per un interesse individuale ma di tutta la collettività. Una campagna è già stata fatta quest'estate dalla Presidenza del Consiglio ma servirebbe qualche cosa di più ampio per insistere sull'importanza di modificare i nostri comportamenti. Perché se non andiamo in questa direzione non andiamo da nessuna parte.

L'approccio ENEA alla gestione sostenibile e circolare dell'acqua

L'acqua è una risorsa fondamentale per la vita e deve essere preservata e gestita ed utilizzata in maniera efficiente e sostenibile. I periodi di siccità sempre più lunghi e frequenti impongono la gestione sempre più attenta di questa preziosa risorsa e fanno emergere la necessità di implementare pratiche per la sua protezione, risparmio, riciclo e valorizzazione. Le attività ENEA sono indirizzate a favorire la gestione sostenibile dell'acqua, a partire dalla caratterizzazione, il monitoraggio e la protezione dei corpi idrici superficiali e sotterranei, a cui si accompagna lo sviluppo di misure innovative per l'efficientamento di tutte le fasi della catena del valore della risorsa idrica, che vanno dall'approvvigionamento alla distribuzione fino a toccare gli utilizzi in ambito agricolo, civile e industriale, giungendo poi alla gestione del fine vita, con processi di valorizzazione delle acque reflue e dei fanghi derivanti dal loro trattamento. ENEA, tramite il Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), è impegnata nello sviluppo e l'implementazione di tecnologie e metodologie per l'uso e la gestione efficiente della risorsa idrica con applicazioni e soluzioni innovative integrate e specifiche per differenti contesti di applicazione: dall'ambito urbano e residenziale, ai processi produttivi, alle aree urbane ed industriali e al territorio in generale.

DOI 10.12910/EAI2023-009

di **Claudia Brunori**, Vice Direttrice per l'Economia Circolare del Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali; **Luigi Petta**, Responsabile Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA

La scarsità delle risorse naturali rende necessaria una transizione verso un sistema di gestione e utilizzo delle risorse più sostenibile e a basse emissioni. Questo implica anche un profondo ripensamento del modello economico attuale e una transizione verso un modello economico innovativo per uno sviluppo sostenibile in grado di coniugare la valorizzazione del capitale economico (investimenti e ricavi), del capitale naturale (risorse primarie e impatti ambientali) e del capitale sociale (lavoro e benessere). Tale modello innovativo deve integrare i principi di sostenibilità economica, ambientale e sociale e deve essere applicato a tutti i settori della produzione di

beni e servizi, oltre che per la conservazione e l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, per garantire un migliore e più equo benessere del genere umano nell'ambito dei limiti del pianeta.

L'Economia Circolare è un modello economico innovativo rigenerativo e improntato ad un uso più efficiente delle risorse (materie prime, cibo, acqua, etc.), in cui si dà maggiore valore alle risorse, se ne allunga la vita e si persegue un approccio collaborativo, combinando vantaggio ambientali, economici e sociali. L'approccio alla circolarità è esteso ad ogni tipo di risorsa inclusa l'acqua. Secondo questo approccio occorre un'inversione di paradigma nella gestione della risorsa idrica parten-

do dalla tutela delle risorse naturali e proseguendo nell'efficientamento delle fasi di approvvigionamento, distribuzione e consumo, oltre che nella gestione e valorizzazione delle acque reflue. Le attuali modalità di gestione della risorsa idrica sono generalmente caratterizzate da approcci e tecnologie poco sostenibili e risultano necessari interventi per l'adeguamento infrastrutturale e, soprattutto, l'introduzione di pratiche gestionali in ottica di chiusura dei cicli. La transizione verso l'economia circolare richiede, per essere efficace, di essere realizzata mediante approcci integrati multidisciplinari e con il coinvolgimento di tutti gli attori della catena di valore: imprese, istituzioni, società civile.

ENEA possiede competenze decennali nel settore maturate in progetti a varia scala di respiro nazionale ed internazionale, realizzati sul territorio e in stretta collaborazione con amministrazioni pubbliche locali e centrali e imprese, e possiede competenze multidisciplinari per l'uso efficiente delle risorse, che consentono di mettere a sistema il know-how e le infrastrutture presenti nei diversi Centri di Ricerca.

Le attività di ENEA per l'uso e la gestione efficiente dell'acqua

Per fronteggiare le rilevanti sfide che riguardano la gestione della risorsa idrica, l'ENEA, tramite il Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), sviluppa, implementa e promuove l'eco-innovazione dei sistemi di gestione e consumo per l'uso sostenibile e circolare dell'acqua. ENEA promuove inoltre l'implementazione di soluzioni e tecnologie innovative basate sull'effettivo "valore" dell'acqua, che tengano conto delle opportunità di migliorarne l'uso e favorire il recupero e lo sfruttamento di risorse rilevanti rappresentate non

solo dalla stessa risorsa acqua, ma anche dai nutrienti, minerali, metalli ed energia contenuti nelle acque reflue, favorendone il riuso. Tanto in ambito municipale che produttivo, la gestione sostenibile della risorsa idrica richiede da un lato la razionalizzazione e l'efficientamento degli usi e, dall'altro lato, il trattamento appropriato dei flussi di scarico mediante l'ottimizzazione delle linee di trattamento depurative e favorendo la chiusura dei cicli ed il riutilizzo. Tutto ciò secondo approcci che, ove possibile, consentano la separazione all'origine dei flussi di acque reflue ed il trattamento appropriato e decentralizzato di ciascuno di essi, come alternativa ai convenzionali sistemi di tipo centralizzato basati sul concetto di collettamento unificato e depurazione end-of-pipe. Il focus ENEA è dedicato alla descrizione degli approcci multidisciplinari adottati tramite la collaborazione trasversale di diversi laboratori alla presentazione di alcune applicazioni specifiche suddivise per tipologia e contesto di applicazione, come di seguito descritte.

Gestione della risorsa idrica a livello territoriale e tutela degli ecosistemi

L'attuale contesto determinato dalle crescenti pressioni antropiche e dagli effetti sempre più evidenti dei cambiamenti climatici, con fenomeni più frequenti ed estesi di scarsità idrica e di siccità, rende urgente e rilevante l'esigenza di tutela e protezione della risorsa idrica, che rappresenta uno degli obiettivi strategici di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

Tra i temi di studio e ricerca portati avanti da ENEA rientra la gestione della risorsa idrica a livello territoriale mediante approcci riferiti ai bacini idrografici, procedendo alla caratterizzazione e mitigazione del rischio di contaminazione di corpi idrici superficiali e sotterranei in differenti contesti, oltre ad attività di studio e descrizione del bilancio idrico in contesti territoriali di riferimento (es. bacini fluviali, lacustri, piccole isole, etc.). Alla tutela della risorsa acqua si accompagna quella dei servizi ecosistemici ad essa connessi, promuovendo lo sviluppo di politiche di governance e di riquali-



ficazione ambientale in costante relazione con gli Enti e le Amministrazioni di governo del territorio. Nel focus ENEA sono descritte le attività di sviluppo e ricerca per il monitoraggio e la tutela delle biodiversità degli ecosistemi di acque interne e per la loro riqualificazione, con particolare riferimento ai microinquinanti emergenti.

Applicazioni in contesto civile ed urbano

Le città saranno sempre più il luogo principale dove si giocherà la partita della sostenibilità. Oltre tre quarti dei cittadini europei vive in aree urbane e dipende dalla disponibilità d'acqua pulita nelle città, che consumano circa un quinto del totale d'acqua dolce estratta. L'uso razionale dell'acqua nei contesti urbani richiede in primis misure per la gestione separata e la raccolta delle acque meteoriche mediante reti e sistemi di collettamento dedicati, evitando la confluenza di tali flussi nei sistemi depurativi e riducendo pertanto i costi di trattamento, oltre a favorire il recupero della risorsa per scopi urbani (es. irrigazione verde pubblico, servizi antincendio). Analogamente, l'implementazione di infrastrutture verdi (i.e. Nature Based Solutions, NBS) e l'incremento della permeabilità delle superfici rappresentano misure volte a migliorare la qualità delle acque e limitare gli effetti alluvionali dei deflussi urbani, che si verificano con frequenza sempre maggiore come effetto dei cambiamenti climatici. Nel focus ENEA si illustrano diverse soluzioni implementate a livello urbano, che vanno dall'utilizzo di NBS ad approcci di ottimizzazione e separazione dei flussi in ambito residenziale che, al pari dell'efficientamento energetico, andrebbero inclusi nell'ambito delle iniziative di incentivazione della riqualificazione edilizia, atteso il sem-

pre maggior rilievo assunto dalla risorsa idrica sia dal punto di vista ambientale, che economico. Vengono inoltre citate le iniziative portate avanti da ENEA in linea con il recente Piano d'Azione europeo per l'economia circolare per la formazione e informazione dei consumatori, nell'ambito di Urban Living Labs e School Living Labs, con l'obiettivo di migliorare il livello di consapevolezza e promuovere modelli di consumo più sostenibili e circolari. Sempre in tale ambito, si descrivono alcuni tool messi a punto per la misurazione dell'impronta idrica associata a diverse tipologie di prodotti, anche in funzione del territorio di produzione, con la proposta di etichette di circolarità a supporto dei consumatori nella scelta di prodotti a minor consumo di risorse primarie.

Applicazioni in contesto agroindustriale

Il consumo di acqua nel settore agro-alimentare è indubbiamente quello percentualmente più rilevante, con una quota che, in ambito nazionale, si colloca ben al di sopra del 50% dei consumi idrici complessivi. La fase agricola della filiera agroalimentare è quella che in misura maggiore risente degli effetti della carenza idrica dovuta all'attuale contesto di cambiamento climatico. ENEA sviluppa ed implementa tecnologie e metodologie per la gestione efficiente delle risorse idriche nel settore agricolo e lungo le filiere agroalimentari, con particolare riferimento allo sviluppo di opzioni tecnologiche e sistemi volti al risparmio, all'efficienza ed al recupero e riciclo della risorsa, favorendo l'innovazione di settore ed il suo trasferimento al sistema produttivo. Le azioni ENEA si traducono in attività di analisi, sviluppo tecnologico, verifiche sperimentali, monitoraggio, disseminazione, il tutto nell'ottica

dell'interconnessione o Nexus tra energia, acqua e produzione di cibo, con lo scopo ultimo di incrementare la resilienza del sistema agroalimentare.

Nel presente focus sono citate alcune delle attività progettuali che vedono impegnata l'ENEA. Tra queste, assumono particolare rilevanza le attività relative alla valorizzazione dei reflui delle industrie alimentari (con recupero di acqua, nutrienti e materie prime) e al riutilizzo degli effluenti depurati in ambito agricolo, come possibile misura di contrasto alla siccità ed in linea con l'aggiornamento in corso del quadro di riferimento normativo, che vedono ENEA impegnata nello sviluppo ed implementazione su scala reale di impianti pilota in grado di favorire il riutilizzo sicuro e sostenibile delle acque reflue depurate per uso irriguo.

Sistemi di depurazione smart ed efficienti

I sistemi e i processi di depurazione comunemente impiegati in ambito sia municipale che produttivo sono, nella maggior parte dei casi, poco efficienti e poco sostenibili (sia dal punto di vista ambientale che economico), in quanto basati su tecnologie datate e non sviluppate secondo i principi di efficienza e circolarità, ma con il principale obiettivo del conseguimento degli standard di qualità richiesti allo scarico. Un rinnovato approccio gestionale, in linea con le attuali proposte di adeguamento normativo sia in ambito europeo che nazionale, deve essere finalizzato alla sostenibilità di lungo termine, ponendo in primo piano il riutilizzo delle acque depurate, il recupero di materie prime seconde, l'efficienza energetica e le altre opportunità di valorizzazione.

Per quanto riguarda i trattamenti depurativi, le attività ENEA riguar-

dano la definizione di approcci innovativi in ottica di economia circolare e la verifica sperimentale o in campo di approcci e/o biotecnologie di processo per il miglioramento delle efficienze depurative, anche in relazione ai cosiddetti contaminanti emergenti (incluse le microplastiche), l'efficientamento energetico delle linee di trattamento, il recupero di materia.

Il focus riguarderà l'efficientamento dei sistemi di depurazione, con particolare riferimento ai seguenti aspetti: lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie innovative per migliorare l'efficienza funzionale ed energetica dei trattamenti depurativi e favorire la rimozione ed il recupero dell'azoto e del fosforo; la determinazione e la rimozione di microplastiche e contaminanti emergenti dalle acque reflue; lo studio di approcci innovativi e lo sviluppo di strumenti software dedicati all'efficienza energetica dei processi depurativi mediante il benchmarking e labelling delle prestazioni energetiche, con l'obiettivo di conseguire l'autosufficienza dei processi.

Processi innovativi per la valorizzazione delle risorse e la gestione dei fanghi di depurazione

Relativamente alla valorizzazione dalle acque reflue ed in generale dalle matrici organiche di scarto, tra cui rientrano anche i fanghi di depurazione, le attività ENEA riguardano lo sviluppo di tecnologie e la conduzione di iniziative finalizzate al recupero degli elementi nutrienti, oltre allo sviluppo di filiere e processi innovativi per la loro valorizzazione energetica. All'interno del focus viene approfondito il tema del recupero di azoto e fosforo dai reflui come esempi di buone pratiche di recupero in ottica di economia circolare. Per quanto riguarda il fosforo, sin dal 2017 è riconosciuto dalla Commissione Europea come Critical Raw Material in quanto materia prima necessaria alla vita per la quale siamo totalmente dipendenti da importazione da Paesi extra europei. Con riferimento allo scenario italiano, si stima che attraverso i processi depurativi si disperdano circa 43.000 t di P/anno pari ad 1/3 del fosforo complessivamente uscente dal ciclo antropico. Il recupero di fosforo dai cicli depurativi appare dunque

al contempo sia una esigenza che un'opportunità e rappresenta una delle tematiche che confluiscono nell'ambito della Piattaforma Italiana del Fosforo, che ENEA coordina in qualità di soggetto attuatore indicato dal MASE. Il focus comprende inoltre un approfondimento sul tema della gestione sostenibile dei fanghi di depurazione, che vede ENEA impegnata in attività di studio e valutazione a livello territoriale con l'individuazione di possibili scenari di ottimizzazione a livello regionale, basati sulla digestione anaerobica e tali da limitare il ricorso allo smaltimento in discarica e favorire l'applicazione dei principi di economia circolare mediante il recupero di materia ed energia. Per quanto concerne le azioni sito-specifiche, relative sia a singoli siti produttivi, che ad impianti di depurazione centralizzati, ENEA porta avanti lo studio, la valutazione e lo sviluppo di tecnologie per la gestione dei fanghi in ottica di economia circolare ed in linea con il mutato contesto ambientale, economico e normativo.

per info: claudia.brunori@enea.it

Valorizzazione della risorsa idrica: la comunicazione a vantaggio di consumatori e aziende

Il paper illustra un esempio di approccio seguito da ENEA per proporre e diffondere strategie di circolarità dedicate al mondo produttivo e ai territori in relazione al tema della risorsa idrica, a supporto della transizione da un modello economico lineare ad uno circolare. Un focus particolare è dedicato alla comunicazione a vantaggio di consumatori e aziende per la valorizzazione della risorsa idrica.

DOI 10.12910/EAI2023-010

di **Luigi Sciubba, Marco Ferraris, Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Luigi Petta**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui; **Francesca Cappellaro, Carolina Innella**, Sezione Supporto al coordinamento delle attività sull'Economia Circolare, **Valentina Fantin, Silvia Sbaffoni, Pier Luigi Porta**, Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali - ENEA

Per supportare la transizione da un modello economico lineare ad uno circolare occorre implementare sia strategie di circolarità dedicate al mondo produttivo, alle città e territori, sia azioni di educazione verso stili di vita sostenibili, come evidenziato nella seconda missione del PNRR “Rivoluzione verde ed ecologica” che dedica al coinvolgimento delle comunità l'intero paragrafo “Divulgazione di cultura e consapevolezza dei temi e delle sfide ambientali attraverso l'adozione di comportamenti virtuosi, anche attraverso il coinvolgimento di studenti, insegnanti, famiglie e stakeholder locali” ^[1].

Per diffondere il tema della circolarità della risorsa idrica, il laboratorio Tecnologie per l'uso e la gestione efficiente di acqua e reflui dell'ENEA, in collaborazione con il Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali e con la sezione Supporto al coordinamento delle attività sull'Economia Circo-

lare, ha intrapreso una serie di attività articolate su diversi livelli:

- i) sviluppo di un **sistema di comunicazione ambientale** volontario per aziende e consumatori
- ii) info-formazione verso studenti ed insegnanti con approccio **School Living Lab** e
- iii) coinvolgimento partecipato dei cittadini, attraverso la realizzazione di **Urban Living Lab (ULL)**, una metodologia indirizzata a creare un ambiente di innovazione che facilita la partecipazione dell'utente nei processi di open-innovation ^[2,3].

Sistema di comunicazione ambientale per le aziende

Il **sistema di comunicazione ambientale volontario**, per prodotti non alimentari e non energetici, è stato sviluppato sulla base di due set di indicatori: il primo sulla circolarità (obbligatorio) e il secondo sull'uso della risorsa idrica (opzionale). Per lo sviluppo di tale sistema si è seguito un approccio di ciclo di

vita, considerando i materiali di cui è costituito il prodotto, la fase d'uso e il fine vita.

A questo scopo, è stato realizzato un sistema di comunicazione ambientale, con l'obiettivo sia di supportare le aziende nella riduzione degli impatti dei prodotti in un'ottica di eco-progettazione e di economia circolare (agendo sulla fase di scelta dei materiali e dei componenti che li costituiscono), sia di ridurre gli impatti complessivi delle catene di fornitura. Il sistema, basato su un set di indicatori di circolarità e di uso della risorsa idrica, è integrato in un software (Piattaforma di Reciproco: <https://simulatore.reciproco.enea.it>), che permette di comunicare la circolarità di un prodotto attraverso un QR code. **Il sistema è stato inoltre testato in alcune aziende italiane appartenenti ai settori del tessile, della carta e dell'edilizia; i risultati ottenuti possono essere utilizzati per una comunicazione nei confronti sia del consumatore finale sia delle aziende in un'ottica B2B.**



Figura 1: Sintesi grafica del metodo proposto per la valutazione degli impatti ambientali dell'uso della risorsa idrica nei processi produttivi.

Valutazione degli impatti ambientali dell'uso industriale della risorsa idrica

In questo ambito ci si è posti il fine di fornire ai consumatori e alle aziende strumenti per l'interpretazione degli impatti ambientali indiretti, in particolare sulla risorsa idrica, associati ai processi di produzione dei beni di mercato. L'auspicio è di sensibilizzare i cittadini e orientare le aziende verso l'adozione di idonei modelli di consumo e di produzione in linea con processi di transizione mirati a minimizzare il relativo contributo allo stress idrico, per prevenirne e mitigarne gli impatti negativi sui fabbisogni umani diretti, nonché sui fabbisogni idrici dell'ambiente e degli ecosistemi naturali.

Per questo, si è cercato innanzitutto di fornire un quadro di sintesi a livello nazionale degli impatti dei consumi, soprattutto industriali, sullo stato della risorsa idrica tramite un set di indicatori ed indici sintetici di stress idrico (Figura 1). Tali indicatori sono stati calcolati a partire da dati reperiti dalla piattaforma del tool Aqueduct 3.0, sviluppato dal World Research Institute, relativi alla disponibilità ed utilizzo della risorsa per tutti i sottobacini idrici italiani. In seguito, per le imprese selezionate per il test, sono stati rac-

colti ed ulteriormente elaborati i dati di prelievo ed uso di acqua a livello aziendale al fine di misurare il loro impatto sulla risorsa idrica locale.

Le elaborazioni degli indicatori definiti hanno delineato un quadro completo e sintetico dello stato della risorsa idrica e del suo sfruttamento in Italia, considerando non soltanto i dati puramente quantitativi, ma anche le fluttuazioni intra e inter-annuali e la situazione nei periodi più critici dell'anno. Per tenere conto degli aspetti qualitativi, per i casi di studio selezionati, si è fatto riferimento alla classificazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici dei bacini e sottobacini in cui operano gli stabilimenti indicati dalle aziende. Tramite il software di georeferenziazione open source Quantum Gis, sono state quindi elaborate una serie di mappe degli indici di sintesi proposti in modo da rendere fruibile e facilitare l'interpretazione dei risultati. **Il quadro emerso a livello nazionale, sulla base dei dati del periodo 1960-2014, evidenzia una differenza significativa dello stato della risorsa idrica tra le regioni del nord, caratterizzate in larga misura da valori contenuti degli indicatori di stress e le regioni del centro-sud, sottoposte a situazioni di rischio medio elevato, con picchi di estrema criticità soprattutto in**

Sicilia e in Puglia. Si segnala però che nell'anno 2022 è emersa una tendenza verso una situazione critica anche per la gran parte dei bacini del nord, almeno nei mesi estivi. Complessivamente, sulla base dell'applicazione ai casi studio analizzati, **si ritiene che il metodo proposto sia idoneo a fornire a imprese e consumatori informazioni utili e di interpretazione relativamente semplice e diretta per la comprensione degli impatti ambientali indiretti associati ai processi di produzione dei beni di mercato.**

School Living Lab per gli studenti

Il tema comune del risparmio e riutilizzo idrico è stato portato avanti anche nelle iniziative divulgative; partendo dalla constatazione che **l'Italia, con i suoi 200 litri di consumo quotidiano di acqua pro capite, è una nazione con stress idrico medio-alto,** si sono attuate azioni divulgative per proporre modelli di consumo più sostenibili, dall'ambito domestico, con la riduzione degli sprechi idrici per le attività quotidiane di pulizia della casa e igiene personale, fino all'ambito civile infrastrutturale, con la promozione di sistemi per il riutilizzo delle acque grigie depurate a scopo irriguo e del recupero delle acque piovane per impieghi di tipo non potabile.

ENEA ha svolto attività formativa nelle scuole in stretta collaborazione con due Istituti tecnici del Comune di Bologna, l'IIS Aldini-Valeriani (industriale) e l'IIS Arrigo Serpieri (agrario), scuole tecniche in cui la gestione della risorsa idrica è un punto cardine della formazione degli studenti. In questi istituti, **i ricercatori ENEA hanno condotto diversi seminari sull'economia circolare e sul risparmio idrico, stimolando l'interesse e la creatività degli studenti, in un processo di apprendimento il più possibile partecipativo e inclusivo.** Alla fine di questo percorso, gli studenti della 4E dell'IIS Serpieri hanno rielaborato in forma di poster i concetti sull'uso delle acque reflue depurate a scopo irriguo, mentre gli alunni dell'indirizzo Chimica e Materiali dell'IIS Aldini hanno portato avanti ricerche e sondaggi sul risparmio idrico, che sono stati poi presentati nel corso di un evento organizzato presso il loro istituto in occasione della Giornata Mondiale dell'Acqua del 22 marzo 2022, incontro in cui sono intervenuti anche i ricercatori ENEA (Figura 3).



Figura 2: Locandina dell'Urban Living Lab Bologna.

Urban Living Lab per i cittadini

Per quanto riguarda il coinvolgimento attivo dei cittadini per una smart governance, si è realizzato un percorso di Urban Living Lab nella Città Metropolitana di Bologna dedicato al tema dell'acqua (Figura 2). L'ULL ha previsto le seguenti fasi:

- 1. Fase di scouting:** coinvolgimento degli stakeholder (associazioni di consumatori e cittadini in forma associata) e studio del territorio.
- 2. Fase di ascolto/esplorazione:** somministrazione e analisi di un questionario per i cittadini sui bisogni del territorio, con particolare attenzione al tema acqua per l'individuazione di possibili focus degli incontri. Dalle risposte è emerso che la maggior parte degli intervistati risulta molto interessata alla gestione della risorsa idrica e ritiene importante fornire alle persone maggiori informazioni su come risparmiare acqua attraverso la diffusione di buone pratiche e di sistemi virtuosi come la raccolta delle acque piovane.
- 3. Fase di partecipazione:** svolgimento di un 1° e 2° incontro con i cittadini, incentrati su capacity building (info-formazione e consapevolezza), scambio di esperienze da parte dei partecipanti e dei ricercatori (cross fertilization), individuazione delle tematiche di interesse.

L'approccio partecipativo del percorso si è concretizzato, col supporto di una società di facilitazione, nell'esplorazione delle conoscenze, degli interessi e delle aspettative dei partecipanti (1° incontro) e nella metodologia dei **World-Cafè** (2° incontro), in cui ricercatori, facilitatori e cittadini hanno discusso liberamente, intorno a tavoli tematici, di questioni riguardanti la risorsa acqua, come il riutilizzo idrico in agricoltura, le perdite nelle reti idriche, l'impronta idrica.

4. Fase esecutiva: svolgimento di un 3° e 4° incontro, destinati alla co-progettazione di modelli e possibili azioni sul risparmio idrico e sull'economia circolare da realizzare sul territorio. In questa fase è stato sfruttato il metodo **Open Space Technology** (3° incontro) per la co-ideazione e l'elaborazione delle proposte progettuali sul risparmio idrico (4° incontro) in stile **canvas**, in vista della loro presentazione in occasione dell'evento finale del progetto, che si è svolto nel mese di ottobre 2022.

Da questo percorso sono emerse tre proposte progettuali, riguardanti due macro-temi particolarmente sentiti, quello delle richieste alle autorità competenti in materia di

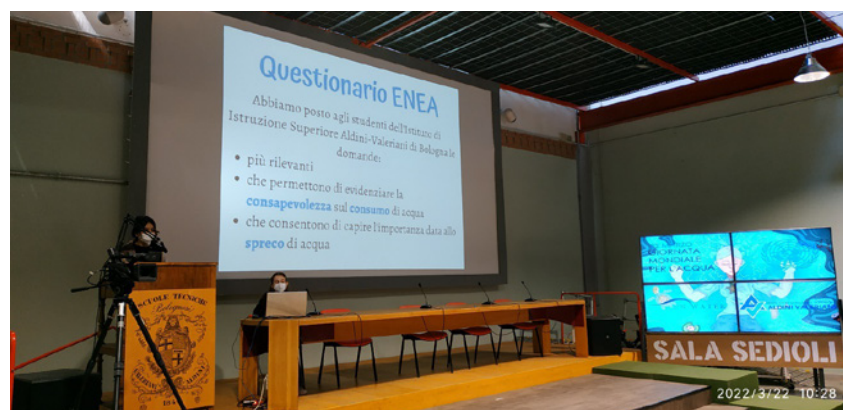


Figura 3: Presentazione del questionario sui consumi idrici realizzato dagli alunni dell'IIS Aldini Valeriani.



acqua e quello della divulgazione e consapevolezza sul tema idrico. Infatti, la prima proposta, intitolata **“La trasparenza dell’acqua”** ha come obiettivo la richiesta agli enti preposti di una maggiore informazione sul tema della gestione e delle perdite nella rete idrica, evidenziando

una sempre maggiore volontà di informazione e di collaborazione con le istituzioni da parte degli utenti; la seconda, **“Case dell’acqua in Wikipedia”** ha portato all’aggiornamento dell’omonima voce sull’enciclopedia libera online, mentre la terza **“Acqua: un bene limitato e**

prezioso” ha evidenziato l’importanza della sensibilizzazione nelle scuole sul tema acqua, andando così simbolicamente a chiudere il ciclo, congiungendo i soggetti coinvolti in queste attività, ovvero i cittadini e gli studenti.

per info: luigi.sciubba@enea.it

Bibliografia

1. PNRR-Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza #NextGenerationItalia www.governo.it
2. F.Pifferi, E.Cook, M.Giorgini (2019) “Ingredienti per l’intelligenza collettiva: come favorire il flusso vitale che rende un gruppo efficace” ISBN 1674285019
3. B.Bergvall-Kåreborn, C. Ihlstrom Eriksson, A. Stahlbrost, J. Svensson(2016) “A Milieu for Innovation – Defining Living Labs” <http://pure.ltu.se/portal/files/3517934/19706123>.

Fronteggiare la siccità: il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura

Il ricorso alle acque reflue depurate come fonte idrica non convenzionale è una pratica sempre più necessaria a contrasto dei sempre più frequenti fenomeni di carenza idrica per la crescente domanda in ambito agricolo, industriale e civile. La ricerca ENEA punta allo sviluppo di dimostratori e buone pratiche per contribuire alla messa a punto della filiera del riutilizzo in piena scala. Ad oggi, in Italia, il potenziale di riutilizzo idrico raggiunge il 23% del volume degli effluenti; tuttavia, solo il 4% del totale delle acque reflue depurate è effettivamente destinato a riutilizzo in agricoltura per cause soprattutto di natura tecnica, legate a carenze infrastrutturali e normative.

DOI 10.12910/EAI2023-011

di **Gianpaolo Sabia, Luigi Sciubba, Luigi Petta**, *Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA*

La crescente domanda idrica in ambito agricolo, industriale e civile è, insieme al cambiamento climatico, una delle principali cause della scarsità di acqua e del peggioramento della sua qualità a livello mondiale^[1]. **Il riutilizzo delle acque trattate negli impianti di depurazione in ambito agricolo, settore ad elevata idro-essigenza e stagionalità d'uso, rappresenta un'interessante soluzione per alleviare le crescenti pressioni sulla risorsa^[2], chiuderne il ciclo e concorrere all'apporto di nutrienti alle colture, tutti aspetti di rilevanza e in piena linea con i principi di economia circolare^[3].**

A tal fine, la qualità e la quantità delle acque reflue depurate devono essere accuratamente valutate per garantire il rispetto dei limiti normativi allo scarico finale nei corpi idrici recettori e la minimizzazione dei rischi associata all'implementazione di pratiche di riutilizzo. Occorre, inoltre, bilanciare opportunamente la domanda e l'offerta ed, in tale ottica, appare indispensabile una puntuale analisi da un lato delle

esigenze del settore agricolo su base territoriale e, dall'altro lato, della potenzialità del comparto depurativo tenendo conto, per quest'ultimo, del numero e della taglia degli impianti, del livello di trattamento perseguito e relativa ubicazione spaziale. Tale analisi rappresenta un elemento valutativo imprescindibile per la verifica della fattibilità tecnica ed economica delle pratiche di riutilizzo idrico in ambito agricolo considerando l'intera filiera del riuso (produzione, stoccaggio, distribuzione, utilizzo finale), a livello sia nazionale che regionale.

Uno scenario normativo in fase di evoluzione

In Italia, il potenziale di riutilizzo idrico raggiunge il 23% del volume degli effluenti, corrispondente alla quota di acque reflue che viene sottoposta a trattamenti di affinamento terziario; tuttavia, solo il 4% del totale delle acque reflue depurate è effettivamente destinato a riutilizzo in agricoltura. Le cause di questa situazione sono soprattutto di natura tecnica, legate a carenze in-

frastrutturali e di natura normativa, in quanto l'attuale disciplina nazionale, il D.M. 185/2003^[4], impone dei requisiti particolarmente stringenti e non differenziati in base all'utilizzo finale previsto, che rendono la pratica del riutilizzo particolarmente onerosa per gli operatori. A livello europeo lo scenario appare simile, pur con notevoli differenze tra i vari Paesi, con un valore medio del 2,4% di riutilizzo rispetto alla totalità dei reflui prodotti, evidenziando un potenziale di risorsa non convenzionale non sfruttata di almeno 6 volte superiore.

Lo scenario normativo risulta attualmente in fase di evoluzione con l'applicazione del recente Regolamento Europeo 741/2020^[5], che definisce i requisiti minimi per il riutilizzo idrico in ambito agricolo, superando di fatto le restrizioni delle precedenti normative e introducendo una suddivisione delle acque reflue depurate in quattro classi sulla base di valori limite per soli 5 parametri chimico-fisici e biologici (dalla A alla D), con la possibilità di riutilizzare effluenti di diversa qualità in

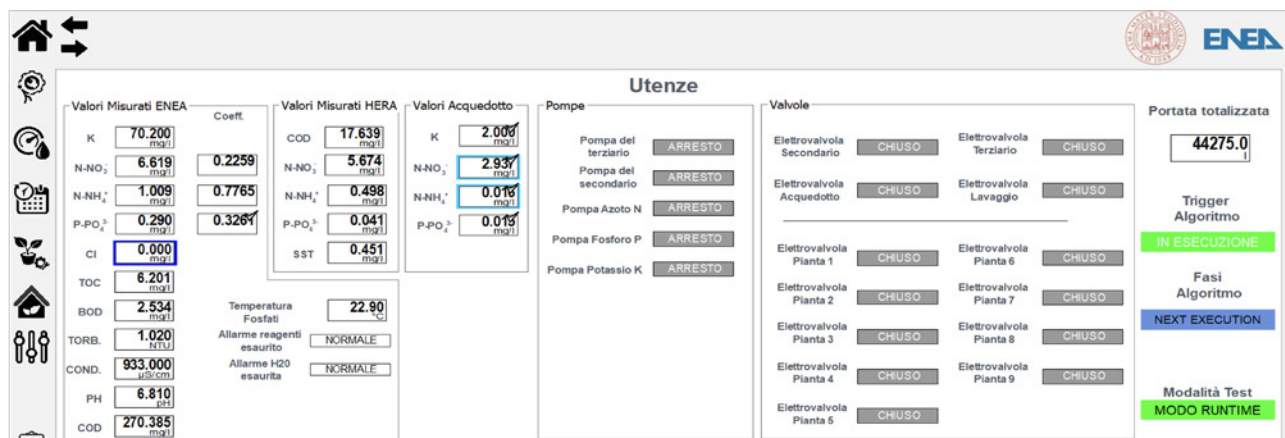


Figura 1: Interfaccia grafica della centralina di monitoraggio online della qualità dei reflui, con l'indicazione dei parametri misurati on-line (K, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄³⁻, Cl, TOC, BOD, Torbidità, Conducibilità, pH, COD) mediante le sonde costituenti il prototipo di monitoraggio.

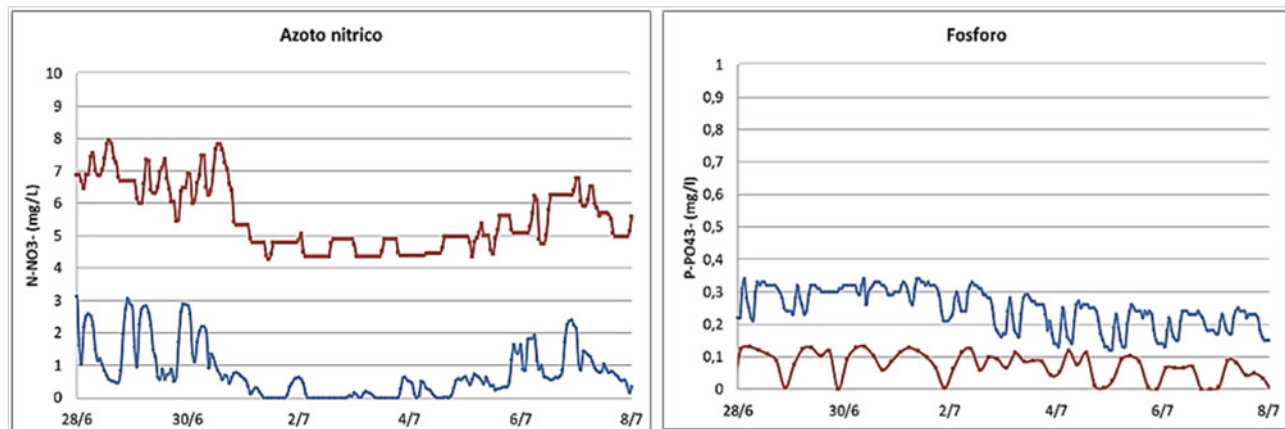


Figura 2: Andamento nel tempo della concentrazione di azoto nitrico (N-NO₃) e fosfato (P-PO₄³⁻) negli effluenti secondari (in blu) e terziari (in rosso), ad evidenza delle differenti caratteristiche qualitative delle due tipologie di effluenti presi in esame.

funzione della tipologia di coltura da irrigare e delle relative tecniche irrigue. In questo modo, si consente il riutilizzo anche di acque di qualità inferiore e allo stesso tempo si garantisce la sicurezza della pratica di riutilizzo perfino per gli scopi più delicati (come l'irrigazione di colture da consumare crude). Nello stesso regolamento si presta inoltre grande attenzione ai contaminanti emergenti (CE) e alle microplastiche (MP), sostanze di cui tenere conto nell'ambito della fase di analisi di rischio da condurre ai fini dell'individuazione di prescrizioni supplementari di monitoraggio in aggiunta

ai requisiti minimi in ottica di protezione dell'ambiente, salute umana e animale. Peraltro, l'esigenza di ricorrere a pratiche di riutilizzo idrico ed i vantaggi nel preservare la risorsa, vengono nuovamente ribaditi nella attuale proposta di revisione della normativa concernente il trattamento delle acque reflue urbane^{16, 71}.

Il progetto VALUE CE-IN

In tale contesto, il laboratorio Tecnologie per l'uso e la gestione efficiente di acque e reflui dell'ENEA, ha coordinato il progetto VALUE CE-IN (Valorizzazione di acque reflue e fanghi in ottica di economia

circolare e simbiosi industriale), finanziato dal bando POR-FESR 2014-2020 della Regione Emilia-Romagna e dal Fondo per lo Sviluppo e la Coesione e finalizzato all'implementazione di approcci e tecnologie di economia circolare su larga scala e di simbiosi industriale, per la gestione delle acque trattate e dei fanghi di depurazione prodotti.

In relazione al tema del riutilizzo idrico in agricoltura, i ricercatori ENEA hanno valutato il bilancio dell'"offerta" di acque reflue depurate in Emilia-Romagna, tenendo in considerazione il livello di trattamento garantito, e della "doman-

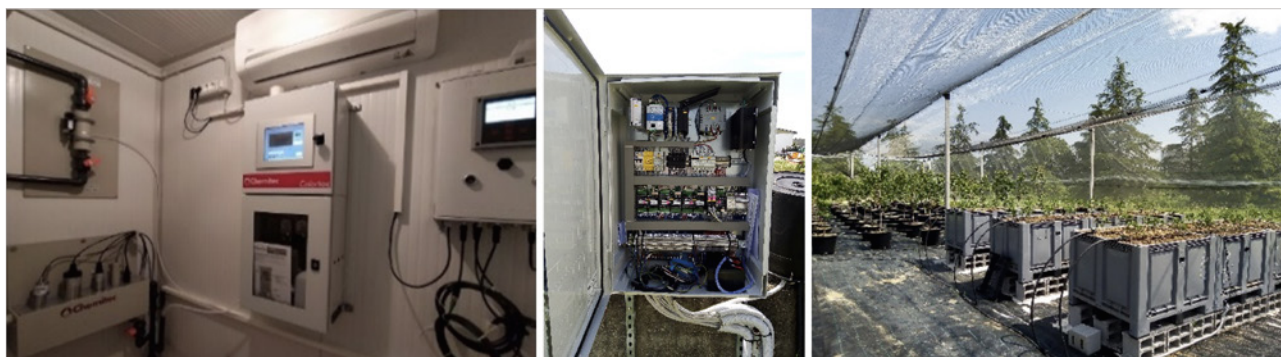


Figura 3: Da sinistra: a) Prototipo di monitoraggio real time della qualità delle acque reflue depurate, in allestimento containerizzato per l'alloggiamento delle sonde di misura per l'analisi dei reflui campionati; b) centralina di controllo per l'elaborazione dati e implementazione logiche fertirrigue; c) parcella coltivata sperimentale con piantumazioni in vaso di pomodoro e pesco irrigate con effluenti depurati (a cura del Partner di progetto CIRI FRAME di UNIBO).

da" irrigua regionale, quest'ultima desunta sulla base dei fabbisogni delle principali colture presenti e della loro estensione sul territorio. Secondo le stime effettuate, i quasi 200 depuratori dotati di trattamenti per l'affinamento terziario dei reflui, forniscono circa 408 Mm³/anno di effluenti trattati che potrebbero essere sfruttati a scopo irriguo per soddisfare le necessità idriche delle colture, stimata in 555 Mm³/anno. Pertanto, almeno in linea teorica, **gli effluenti depurati potrebbero coprire, direttamente o indirettamente, fino al 73% dei fabbisogni irrigui, garantendo il minor sfruttamento delle fonti idriche tradizionali.**

Al contempo, le pratiche di riutilizzo in ambito agricolo offrono il vantaggio di un apporto implicito alle colture di nutrienti in forme assimilabili quali azoto (sotto forma di ammonio e di nitrato) e fosforo (come ortofosfato) e potassio, con conseguenti risparmi nei piani di concimazione e contenimento dell'uso di fertilizzanti chimici di sintesi. Le stime condotte in ambito regionale quantificano i possibili apporti di azoto (N) e fosforo (P), pari rispettivamente al 9% ed al 3% degli apporti attualmente forniti con i fertilizzanti di sintesi, con conseguenti risparmi di tipo sia economico che ambientale. Le valuta-

zioni qualitative e quantitative sono state replicate e approfondite per lo specifico caso-studio della provincia di Forlì-Cesena (FC), evidenziando come i 33,7 Mm³ di acqua prodotti annualmente dai 4 principali depuratori della provincia, potrebbero ampiamente coprire, dal punto di vista quantitativo, la richiesta idrica di 22,6 Mm³ delle colture tipiche praticate nella provincia romagnola, con una percentuale di soddisfacimento del 150%; inoltre tali effluenti potrebbero coprire il 17% del fabbisogno annuale di N e il 3% di quello di P.

Un prototipo dimostrativo per monitorare in continuo la qualità delle acque reflue depurate

In ambito progettuale è stato inoltre sviluppato un prototipo dimostrativo finalizzato al monitoraggio in continuo e online della qualità delle acque reflue depurate (effluenti secondari e terziari, Figure 1, 2, 3), presso il depuratore municipale di Cesena, ed alla attuazione di logiche di fertirrigazione con l'impiego di tali effluenti su diverse colture all'interno di parcella coltivate presso lo stesso impianto. L'analisi dei dati acquisiti grazie al prototipo di monitoraggio ha permesso di valutare in modo continuativo durante l'arco

della sperimentazione di 18 mesi, la classe di qualità delle acque reflue trattate presso l'impianto tenendo conto dei requisiti minimi previsti dal Reg. 741/2020. In riferimento al secondo semestre del 2021, è emerso che gli effluenti trattati a valle del terziario ricadevano per circa il 10% nella classe A, per il 50% in classe B, per il 27% in classe C e il restante 13% in classe D, essendo dunque nella totalità idonei al riutilizzo irriguo. **La valutazione condotta è stata estesa anche alle acque reflue trattate a valle dei trattamenti secondari nell'ipotesi teorica di possibilità del loro riutilizzo in ambito agricolo.** Per queste si è rilevato come, per lo stesso periodo, i livelli di qualità raggiunti portavano ad indicare per il 7% la classe C e per il 45% la classe D, mentre per il restante 48% non venivano soddisfatti i requisiti necessari per il riutilizzo, principalmente a causa dell'elevata concentrazione di *Escherichia coli*.

Le valutazioni effettuate confermano la fattibilità e l'opportunità dell'impiego delle acque reflue depurate a scopi irrigui, in primo luogo a beneficio delle aree agricole poste in prossimità degli impianti di depurazione, per la crescita di colture adatte alla classe di qualità degli effluenti, portando

a numerosi vantaggi dal punto di vista della sostenibilità economica ed ambientale. Infatti, l'impiego di acque reflue comporterebbe minori pressioni sulle riserve idriche e, allo stesso tempo, garantirebbe una continuità temporale di fornitura a tutela della produttività dei sistemi agricoli in contrasto a periodi di siccità ed in generale alle variazioni della disponibilità idrica legata ai cambiamenti climatici.

L'implementazione di pratiche di riutilizzo anche ai settori civile ed industriale, oltre che a quello agricolo, rappresenta oggi un percorso essenziale ai fini della tutela e della preservazione della risorsa, in pieno accordo con i principi dell'economia circolare. A tal riguardo va peraltro richiamata la predisposizione a livello nazionale del DPR sul riutilizzo delle acque reflue urbane, proposto dal Ministero dell'Ambien-

te e Sicurezza Energetica (MASE) ed in consultazione fino al 31 marzo 2023, con il fine di allineare la disciplina nazionale alle prescrizioni del Regolamento 741/2020 ed armonizzare, in generale, il quadro normativo in materia prevedendo norme inerenti alla regolamentazione di pratiche di riutilizzo per il settore civile, industriale ed ambientale.

per info: gianpaolo.sabia@enea.it

Bibliografia

1. Rebelo A., Quadrado M., Franco A., Lacasta N., Machado P. (2020) "Water reuse in Portugal: new legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization". *Water Cycle* 1 (2020): 41-53
2. Schwaller C., Keller Y., Helmreich B., Drewes J.E. (2021) "Estimating the agricultural irrigation demand for planning of non-potable water reuse projects". *Agricultural water management*. 244 (2021): 106529
3. COM (2020) 98 final. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva. Bruxelles, 11 marzo 2020.
4. D.M. 185/2003. Decreto Ministeriale del 12 giugno 2003 n.185. Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26 comma 2, del D.lgs. 11 maggio 1999, n.152.
5. Regolamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 maggio 2020 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua.
6. Direttiva 91/271/CEE del Consiglio del 21 maggio 1991 concernente il trattamento delle acque reflue urbane.
7. COM (2022) 541 final 2022/0345 (COD) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast).

Recupero di materie dalle acque reflue in ottica di economia circolare

Le acque reflue rappresentano una potenziale fonte di elementi nutritivi, materie prime seconde ed energia. L'Unione Europea importa oltre il 90% del fosforo minerale che è principalmente utilizzato per la produzione di fertilizzanti. Nonostante negli ultimi anni si sia assistito allo sviluppo di tecnologie per il recupero di nutrienti da rifiuti e reflui, queste stanno ancora trovando scarsa applicazione su larga scala. Il presente lavoro descrive il tema del recupero di azoto e fosforo dai reflui come esempi di buone pratiche in ottica di economia circolare.

DOI 10.12910/EAI2023-012

di **Alessandro Spagni, Marco Ferraris, Gianpaolo Sabia**, Laboratorio T4W - Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui, **Roberta De Carolis**, Divisione Uso efficiente delle risorse e chiusura dei cicli - Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi produttivi e territoriali (SSPT) - ENEA

Le acque sono definite reflue (o di rifiuto) quando, a seguito dei diversi utilizzi, contengono sostanze in concentrazione tale da renderle non più idonee all'impiego e vengono pertanto smaltite. La depurazione delle acque reflue ha come obiettivo principale il loro trattamento per permetterne lo scarico in opportuni corpi recettori salvaguardando la salute dell'uomo e la qualità ambientale. Gli impianti di trattamento reflui oggi in uso sono stati progettati e realizzati con obiettivi esclusivamente rivolti alla rimozione degli inquinanti per rispondere alle richieste legislative.

Le acque sono oggi per lo più utilizzate in modo "lineare": sono, infatti, prelevate dall'ambiente, utilizzate (una sola volta) e reimmesse nell'ambiente con caratteristiche qualitative di solito peggiori (o almeno diverse) di quelle di origine (EEA, 2022).

Diverse sostanze contenute nelle acque di rifiuto sono però potenzialmente risorse che, mediante opportuni trattamenti, possono fornire materie prime seconde ed energia (Spagni et al., 2016; 2019) (Figura 1).

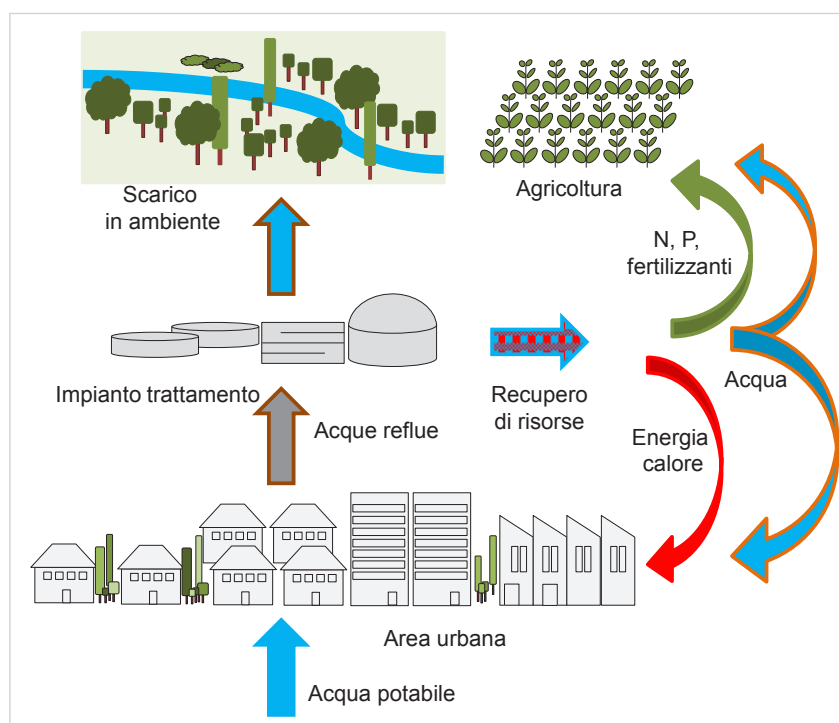


Figura 1. Ipotesi semplificata di recupero risorse dalle acque reflue (EEA, 2022).

Tra queste, sicuramente l'acqua stessa che dopo opportuni trattamenti, eventualmente specifici per ogni singola destinazione d'uso, può essere riutilizzata per scopi irrigui, civili ed industriali (Asano et al., 2007).

Le acque reflue presentano, inoltre, quantità significative di nutrienti (azoto e fosforo) che possono essere recuperate per un utilizzo come fertilizzanti (EEA, 2022).

Occorre ricordare, però, che tutte le

possibili tecnologie per il recupero di risorse delle acque reflue devono necessariamente prestare attenzione al mantenimento delle capacità depurative del processo di trattamento, così da rispettare le norme legislative. Nel presente lavoro viene descritto il tema del recupero di azoto e fosforo, come esempio delle principali materie che possono essere riciclate dalle acque reflue in ottica di economia circolare.

Recupero del fosforo

L'Unione Europea importa oltre il 90% del fosforo (P) minerale che è principalmente utilizzato per la produzione di fertilizzanti (circa 65%), di additivi alimentari e per altri prodotti chimici quali ad esempio la produzione di detersivi (Hukari et al., 2015). Come conseguenza, nel 2014 l'Unione Europea ha inserito la fosforite nella lista delle materie prime essenziali (Critical Raw Materials, Commissione Europea, 2014), a cui ha fatto seguito il fosforo nel 2017 (Commissione Europea, 2017). Allo stesso tempo, circa il 15% dell'input di fosforo europeo è perso nei rifiuti solidi, nei fanghi di depurazione e nelle loro ceneri. Inoltre, una frazione consistente (anche del 50% a seconda delle caratteristiche

del terreno e della natura di fosforo utilizzato nel fertilizzante) del fosforo aggiunto al terreno come fertilizzante non è assimilato dalle piante e viene accumulato nel suolo o è rilasciato nei corpi idrici superficiali contribuendo ai fenomeni di eutrofizzazione (Hukari et al., 2015; Van Dijk et al., 2016).

Su scala europea si individua una percentuale media di fosforo in uscita dagli impianti di trattamento delle acque reflue sotto forma di fanghi di depurazione e flussi di acqua trattata pari a circa il 40% della totalità del fosforo perso nel ciclo antropico, e a circa il 24% del quantitativo complessivamente acquistato (Canziani et al., 2018). Secondo quanto elaborato da Van Dijk et al. (2016), per lo scenario italiano, il fosforo perduto attraverso i soli processi di depurazione delle acque reflue è pari a circa 43.000 t/anno, ovvero il 33% di fosforo complessivamente uscente dal ciclo antropico. In generale, il contributo pro capite di fosforo in Europa in termini di carico di massa specifico nelle acque reflue varia tra 0,65 e 4,80 g/abitante al giorno, con una media di circa 2,18 g/abitante al giorno.

Le acque reflue provenienti dagli impianti di trattamento reflui possono

contenere, quindi, da 5 a 15 mg/L di fosforo totale, dove l'Italia si colloca più prossima al limite inferiore del range (PIF, 2020).

Recupero di azoto

L'azoto è un nutriente essenziale che sostiene la crescita di piante e colture. Tuttavia, elevate concentrazioni sono nocive per la salute e dannose per l'ambiente. Un eccessivo rilascio di azoto nell'ambiente può essere una fonte importante di inquinamento idrico, contribuendo, come per il fosforo, ai fenomeni di eutrofizzazione. Le acque reflue urbane contengono significative quantità di azoto per lo più in forma organica e come ammoniaca. Per tale motivo, gli impianti di trattamento delle acque reflue, solitamente, prevedono opportuni trattamenti per la sua rimozione e rilascio in atmosfera come azoto molecolare (N₂). Allo stesso tempo, nella produzione di fertilizzanti, l'azoto atmosferico è fissato chimicamente ad ammoniaca attraverso il processo Haber-Bosch (altamente energivoro). Appare quindi evidente come sia opportuno introdurre un cambio di paradigma nella gestione dei carichi di azoto dei reflui, passando dalla rimozione al recupero (Spagni et al., 2016).

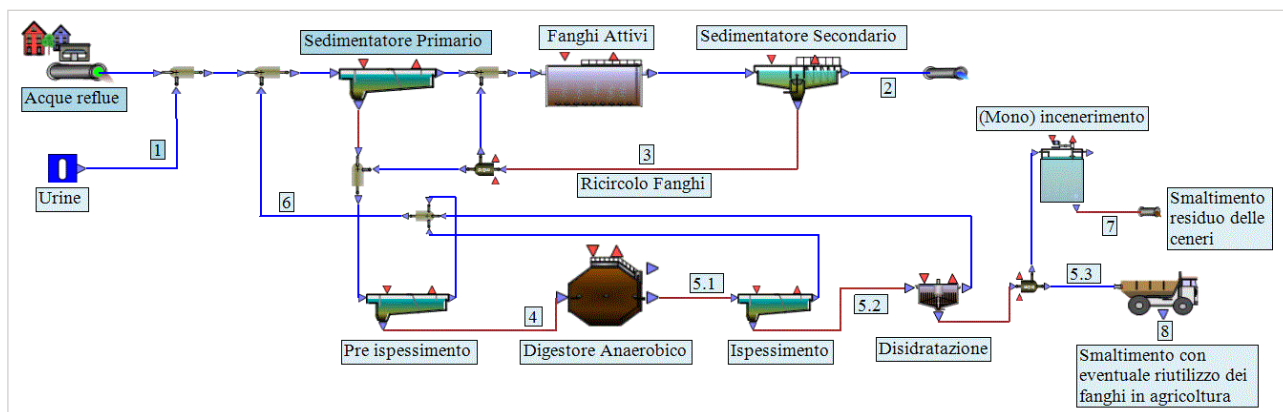


Figura 2. Schema di flusso semplificato di un impianto di trattamento reflui dove sono riportati (coi numeri) i punti potenziali per il recupero del fosforo.

Aspetti tecnologici connessi al recupero di fosforo e azoto

Negli ultimi anni si è assistito allo sviluppo di tecnologie per il recupero di fosforo da rifiuti e reflui; molte di tali tecnologie sono già state applicate in piena scala dimostrando la fattibilità del processo. Ciononostante, il recupero di fosforo a livello europeo non ha ancora trovato applicazione su larga scala (Canziani e Di Cosmo, 2018; Hukari et al., 2015). La figura 2 riporta lo schema di flusso semplificato di un impianto di trattamento delle acque reflue urbane con evidenziati i possibili punti di recupero del fosforo. Individuare la sezione di intervento determina la quantità di fosforo che è potenzialmente possibile recuperare. Ad esempio, intervenire sui fanghi consente di recuperare circa il 30-50% del fosforo in ingresso, mentre tale valore può salire oltre il 90% dopo incenerimento. Similmente, anche le tecnologie che possono essere messe in campo differiscono dalla matrice (acqua, fanghi, ceneri) di partenza utilizzata per il processo di recupero del fosforo (Canziani e Di Cosmo, 2018; PIF, 2020). Tra i numerosi processi di recupero del fosforo sviluppati negli ultimi anni, la pre-

cipitazione e cristallizzazione della struvite ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) è da considerare una tecnologia matura (e qui descritta a titolo di esempio). Il processo è favorito dall'aumento del pH verso valori basici e dal dosaggio di composti magnesiaci come $MgCl_2$ e MgO . La realizzazione del processo di precipitazione e cristallizzazione della struvite è favorito negli impianti di depurazione che praticano la rimozione biologica del fosforo rispetto agli impianti con rimozione chimica dove il fosforo da recuperare è legato con altri metalli. Tramite la precipitazione della struvite, assieme al fosforo, è possibile rimuovere e recuperare anche significative quantità dell'azoto ammoniacale contenuto nei reflui.

Il recupero di azoto dai reflui ha trovato applicazione solo per flussi che presentano concentrazioni elevate dell'elemento come nel caso di reflui industriali o effluenti di digestori anaerobici.

La tecnologia di elezione per il recupero dell'azoto prevede lo stripping dell'ammoniaca contenuta nel refluo e successiva precipitazione tramite acido. Lo stripping dell'ammoniaca è favorito dall'aumento del pH e della temperatura che favori-

sce il trasferimento dell'azoto dalla fase liquida a quella gassosa. Nella colonna di assorbimento, il contatto in controcorrente fra la fase gassosa contenente ammoniacale e una soluzione di acido solforico o di acido nitrico porta alla formazione di solfato di ammonio o di nitrato di ammonio che possono essere utilizzati come fertilizzante.

Considerazioni conclusive

Il contenuto delle acque reflue non può più essere trascurato in un mondo in evoluzione verso la continua limitazione di disponibilità di risorse ed in una società con comportamenti coerenti ai principi dell'economia circolare.

Affinché ciò avvenga, occorre però considerare un'innovativa modalità di gestione integrata delle diverse fasi del ciclo idrico che consenta di conservare la risorsa acqua per gli scopi civili (e.g. potabile), di mantenere un adeguato livello di rimozione degli inquinanti presenti nei reflui e, infine, di valorizzare le risorse (materie prime seconde ed energia) contenute in questi ultimi.

per info: alessandro.spagni@enea.it

La Piattaforma Italiana del Fosforo

La Piattaforma Italiana del Fosforo (PIF) è stata costituita a seguito della Legge 27 dicembre 2017, n. 205, come strumento di coordinamento con le politiche europee con la finalità, tra le altre, del raggiungimento dell'autosufficienza su base nazionale del ciclo di questo elemento. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, ha individuato ENEA come gestore. La Piattaforma è costituita da stakeholder attivi nel ciclo del fosforo (Tavolo Tematico) e vede la partecipazione di centri di ricerca, istituzioni pubbliche e private, aziende e associazioni per la difesa dell'ambiente. Come per altre iniziative simili, la Piattaforma nasce a valle dell'analoga europea (European Sustainable Phosphorus Platform - ESPP <https://phosphorusplatform.eu/>) ed è articolata in gruppi di lavoro che affrontano la tematica dal punto di vista tecnologico, normativo ed economico (De Carolis et al., 2019). La Piattaforma, inoltre, costituisce una buona pratica nell'ambito della Piattaforma Italiana degli Stakeholder dell'Economia Circolare (ICESP). Sul sito <https://www.piattaformaitalianafosforo.it/> sono disponibili i risultati ottenuti nel primo anno di attività. Un nuovo Accordo di collaborazione è stato siglato da parte di ENEA con il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica per il biennio 2023-2024.

Riferimenti bibliografici

- Asano T., Burton F.L., Leverenz H.L., Tsuchuhashi R., Tchobanoglous G., 2007. Water reuse: issues, technologies and applications. Metcalf & Eddy inc., 1616 pag.
- EEA, 2022. Beyond water quality – sewage treatment in a circular economy. European Environmental Agency, EEA Report, 05/2022.
- Canziani R., Di Cosmo R., 2018. Stato dell'arte e potenzialità delle tecnologie di recupero del fosforo dai fanghi di depurazione. *Ingegneria dell'Ambiente* 5(3): 149-170. doi.org/10.32024/ida.v5i3.p01.
- Commissione Europea, 2014. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni Concernente la revisione dell'elenco delle materie prime essenziali per l'UE e l'attuazione dell'iniziativa "materie prime". Bruxelles, 26.5.2014 Com(2014) 297 final.
- Commissione Europea, 2017. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni Concernente l'elenco 2017 delle materie prime essenziali per l'UE. Bruxelles, 13.9.2017 Com(2017) 490 final.
- De Carolis R., Spagni A., Cappucci S., Claps S., 2019 La piattaforma italiana del fosforo. *Energia, Ambiente e Innovazione*, 3/2019, 141-144. DOI 10.12910/EAI2019-058.
- Hukari S, Nättorp A, Kabbe C (eds) (2015) Phosphorus recycling-now! Building on full-scale practical experiences to tap the potential in European municipal wastewater. P-REX Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency. European Commission no. 308645, P-REX. (2017, February 13). Main P-REX deliverables. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.242550>
- PIF, 2020. Le tecnologie disponibili per il recupero del fosforo. Report del Gruppo di Lavoro 2, Tecnologie e Buone Pratiche della Piattaforma Italiana del Fosforo (PIF). 172 pag.
- Spagni A., Ferraris M., Mattioli D., Petta L., Brunori C., 2016. Water-energy nexus: la parte oscura del ciclo dell'acqua, cambiamenti climatici ed economia circolare. *Energia, Ambiente e Innovazione*, 82-87. DOI 10.12910/EAI2016-012.
- Spagni A., Mattioli D., Pica R., 2019. Linee guida per la produzione di energia dalla depurazione delle acque. *Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione*. Report. 75 pag.
- Van Dijk K.C., Lesschen J.P., Oenema O., 2016. Phosphorus flows and balance of the European Union member states. *Science of Total Environment*, 542: 1078-1093.

I microinquinanti organici e le microplastiche nel ciclo integrato delle acque

I microinquinanti emergenti di origine antropica in acque reflue e acque dolci superficiali sono oggetto di numerosi studi per comprendere gli effetti su ecosistemi e salute umana e per identificare tecnologie idonee a rimuoverli. Per contribuire ad ampliare lo stato di conoscenze sulla diffusione delle MPs, ENEA ha condotto attività sperimentali presso impianti di trattamento con caratteristiche differenti per quanto riguarda quantità e tipologia di reflui trattati e per i processi impiegati nel trattamento.

DOI 10.12910/EAI2023-013

di **Roberta Guzzinati, Simone Busi, Stefania Casu, Carmela Maria Cellamare, Luigi Petta**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui; **Maria Sighicelli, Patrizia Menegoni, Francesca Lecce**, Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici - ENEA

La tutela della risorsa idrica dall'inquinamento legato a sostanze di origine antropica rappresenta una delle principali sfide da affrontare per salvaguardare ambiente e salute umana. In tale contesto, una posizione di rilievo è occupata dallo studio della distribuzione di microinquinanti emergenti (MIE) nelle acque reflue e nelle acque dolci superficiali.

I MIE comprendono un ampio numero di composti di origine sintetica o naturale presenti in traccia nelle acque (concentrazioni di ng/L). Queste sostanze mostrano una certa mobilità all'interno dei vari comparti ambientali e possono avere la tendenza ad accumularsi, **diventando una potenziale fonte di pericolo per l'uomo e l'ecosistema**. Comprendono composti persistenti, biologicamente attivi, di nuova generazione o di recente utilizzo, ma anche composti già presenti in ambiente da lungo tempo i cui effetti sono stati evidenziati solamente negli ultimi

periodi. Tra i MIE di sintesi rientrano le microplastiche (MPs), categoria rappresentata da ogni tipologia di frammento di materiale plastico avente diametro (o lato più lungo) compreso tra 1 μm e 5 mm.^[1, 2]

Per alcune di queste sostanze non è ancora disponibile un numero sufficiente di dati scientifici che consenta di valutare il rischio di effetti eco-tossicologici in relazione alla concentrazione. Inoltre, allo stato attuale, in particolare per le MPs, non esistono metodiche standardizzate di campionamento e analisi e ciò porta a dover confrontare dati estremamente differenti tra loro.

Ad oggi, questi limiti impediscono che la maggior parte dei MIE rientrino nei programmi di monitoraggio di qualità delle acque a livello comunitario o nazionale per la regolamentazione della concentrazione soglia, sebbene le ultime bozze di revisione delle direttive e delle leggi nazionali di settore ne prevedano l'inserimento tra i parametri di controllo. **La raccolta di dati significa-**

tivi ed informazioni risulta quindi indispensabile per identificare le fonti di emissione e conoscere la distribuzione nei vari comparti ambientali, ai fini della successiva definizione di linee guida per il monitoraggio e di policy adeguate a livello europeo e nazionale, come già evidenziato dalla nuova

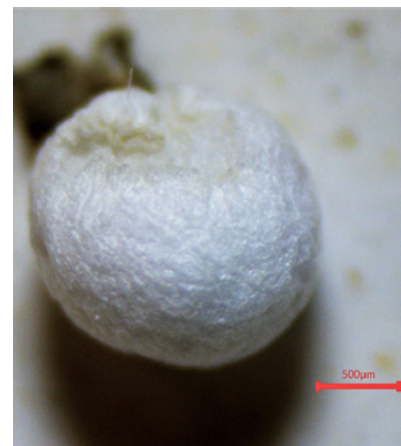


Fig. 1: Identificazione morfologica allo stereomicroscopio di una microparticella rinvenuta in un campione di un impianto di trattamento reflui.

Direttiva UE 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano^[3].

Le attività ENEA

Il Laboratorio Tecnologie per l'uso e la gestione efficiente di acqua e reflui del Centro di Ricerche ENEA di Bologna e il Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici del Centro di Ricerche ENEA Casaccia hanno collaborato per implementare metodiche di campionamento e di analisi di MPs e MIE nella linea acque dei depuratori e nei corpi idrici recettori. I dati ottenuti hanno fornito una stima delle concentrazioni dei contaminanti esaminati e fornito informazioni in merito all'efficacia dei trattamenti di depurazione dei sistemi depurativi analizzati.

Per quanto riguarda il comparto depurativo, sono stati analizzati il destino e il comportamento di MPs e di alcune classi di MIE organici ad esse associati (ftalati e bisfenolo A) all'interno di alcuni impianti di depurazione di acque reflue municipali in scala reale. **Gli impianti di depura-**

zione delle acque di scarico collettano quotidianamente, attraverso la rete fognaria o il dilavamento, grandi volumi di reflui di origine municipale ma anche produttiva, che possono contenere classi di sostanze intrinsecamente legate alle attività umane e industriali. I processi chimico-fisici e biologici che avvengono in questi impianti sono indispensabili per l'abbattimento della sostanza organica e dei nutrienti, ma non sempre sufficienti a degradare altri contaminanti^[4]. La letteratura scientifica riporta che gli impianti di trattamento delle acque reflue, grazie alla presenza di tecnologie convenzionali e innovative, pur essendo in grado di rimuovere molti tra MIE e MPs presenti nei reflui influenti, possono al contempo rappresentare potenziali fonti di immissione in ambiente dal momento che le tecnologie di trattamento applicate non sono specifiche per la loro rimozione^[5]. I MIE e le MPs residui possono quindi raggiungere i corpi idrici superficiali attraverso i cospicui volumi di effluenti in

uscita, oltre che risultare trattenuti nei fanghi di supero prodotti. Relativamente al settore dei corpi idrici, ENEA in questi anni ha maturato una notevole esperienza sul monitoraggio delle MPs nei principali laghi e fiumi italiani, immissari ed emissari lacustri con l'obiettivo di valutare le diverse fonti d'immissione delle MPs nell'ambiente acquatico. I fiumi attraversano ampie porzioni di territorio trasportando ciò che ricevono in termini di rifiuti, mal gestiti a livello urbano o portati dal dilavamento delle acque meteoriche, e di scarichi depurati e no. I depuratori, in particolare, ricevono tutto ciò che proviene direttamente dalle abitazioni, incluse le MPs. In particolare, l'analisi delle MPs raccolte nelle acque a monte e a valle degli impianti di depurazione presenti in importanti fiumi italiani, oggetto di indagini di campagne di monitoraggio, ha evidenziato una differenza tra l'ingresso e l'uscita che può arrivare fino all'80% di particelle/m³.

Per contribuire ad ampliare lo stato di conoscenze sulla diffusione

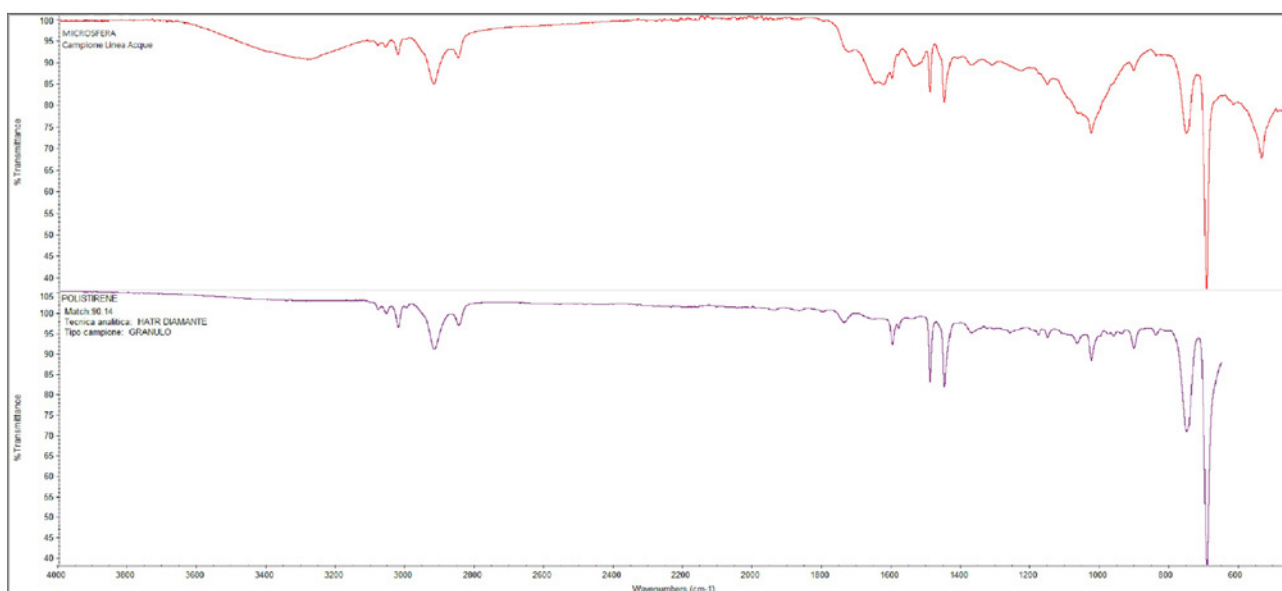


Fig. 2: Identificazione polimerica della microparticella di figura 1 mediante analisi ATR-FTIR.

delle MPs, le attività sperimentali sono state condotte presso impianti di trattamento con caratteristiche differenti sia per quanto riguarda quantità e tipologia di reflui trattati sia per i processi impiegati nel trattamento degli stessi. Il prelievo è stato eseguito in ingresso/uscita degli impianti o a monte/valle di specifiche unità di processo e, parallelamente, nei corpi recettori a monte e a valle di ciascun impianto. È stato così possibile raccogliere dati in merito alla presenza di MPs e MIE e all'efficacia di abbattimento della porzione di impianto testato.

Una strumentazione specifica

Per procedere al campionamento negli impianti di depurazione esaminati, è stata messa a punto una strumentazione specifica per il campionamento finalizzata al prelievo contestuale delle MPs, raccolte per filtrazione mediante una pila di setacci, e delle acque per le analisi dei MIE organici prelevate in uscita dalla stessa pila di setacci mediante contenitori in materiale idoneo. Per il prelievo nei fiumi, sono state utilizzate due tipologie di retini commerciali, Manta e Bongo, rispettivamente per il campionamento stazionario da ponte e quello dina-

mico da imbarcazione. **I campioni raccolti per l'indagine delle MPs sono stati sottoposti a pretrattamenti ossidativi fondamentali per l'eliminazione selettiva di tutta la frazione organica ed inorganica interferente e che, nei reflui di un depuratore, può costituire una parte consistente del materiale presente.** Differenti pretrattamenti ossidativi sono stati testati, in ottica di futura implementazione di una procedura analitica standardizzata. I campioni trattati sono stati successivamente osservati mediante stereomicroscopio, consentendo di effettuare la stima e la classificazione per forma, dimensione e colore del materiale di interesse. Le MPs sono state catalogate in microparticelle e microfibre e la loro concentrazione è stata espressa in Numero di MPs/L e, nel caso dei campioni delle acque superficiali, in MPs/m³.

All'analisi microscopica, è stata affiancata l'analisi polimerica mediante spettroscopia infrarossa con trasformata di Fourier in riflettanza totale attenuata (ATR-FTIR) e micro-FTIR. Tale strumentazione restituisce lo spettro infrarosso della molecola analizzata che viene confrontato con spettri di riferimento di molecole note presenti in libreria, ri-

uscendo a determinare, con una certa percentuale di affinità, la struttura molecolare della particella. Si tratta di una tecnica non distruttiva che risulta particolarmente adatta, grazie all'alta sensibilità nei confronti dei gruppi funzionali e alla rapidità di esecuzione. L'indagine risulta utile in caso di particelle di dubbia composizione e particolarmente abbondanti nel campione. L'identificazione della composizione polimerica ha permesso di ridurre il numero di falsi positivi e di confermare la presenza o meno di determinati tipi di microplastiche (Fig 1 e 2).

La ricerca dei MIE associati alle MPs è stata invece effettuata mediante pre-concentrazione su fase solida (SPE-Offline) e analisi mediante gas-cromatografo interfacciato con detector massa.

I risultati ottenuti hanno confermato la presenza di MIE, in particolare modo di MPs, nelle acque degli impianti di trattamento esaminati. Le concentrazioni rilevate evidenziano una riduzione nelle acque in uscita dall'impianto rispetto all'ingresso, confermando l'efficacia degli impianti di depurazione nel loro abbattimento. **L'efficienza di rimozione delle MPs varia notevolmente a seconda della configurazione di pro-**

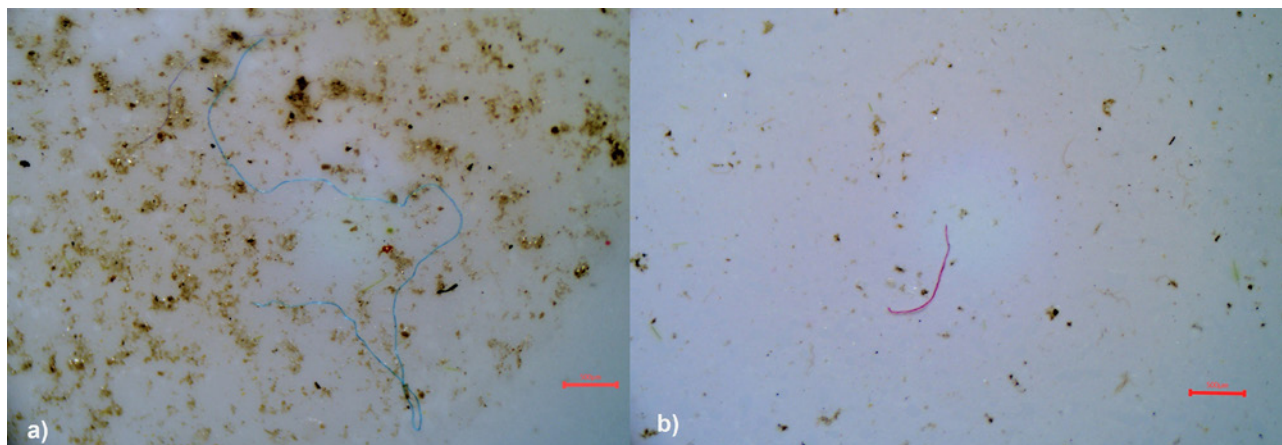


Fig. 3: Campioni a confronto: a) all'ingresso del trattamento terziario, b) all'uscita del trattamento terziario.

cesso applicata e delle specifiche tecnologie impiegate, in particolare si è notato che la presenza di unità di trattamento terziarie influisce notevolmente sulla percentuale di rimozione finale (Fig.3).

Conclusioni

È opportuno precisare che, in linea generale, non esiste una tecnologia adatta a ridurre le concentrazioni

di tutte le tipologie di MIE e MPs essendo questi estremamente differenti e appartenenti a classi con differenti caratteristiche chimico fisiche.

In relazione ad ogni caso specifico è necessario individuare le principali classi di contaminanti presenti nella matrice studiata e adottare i sistemi idonei per ogni tipologia di refluo. In quest'ottica, **la predispo-**

sizione di metodiche analitiche standardizzate, che ne consentano l'identificazione e la quantificazione, e l'up-grade delle tecnologie di depurazione per ottimizzare la rimozione possono contribuire ad aumentare il benessere degli ecosistemi e la salvaguardia della nostra salute.

per info: roberta.guzzinati@enea.it

Bibliografia:

1. Sighicelli, M., Pietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, 236, 645-651.
2. Xu, Z., X. Bai, and Z. Ye (2021), Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review. *Journal of Cleaner Production*, 291: p. 125982.
3. White Paper (2022), Water Europe, Towards a zero-pollution strategy for contaminants of emerging concern the urban water cycle. Brussels.
4. Hidayaturrehman, H. and T.C. Lee, (2019) A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146: p. 696-702.
5. Barceló, D. and Y. Picó, (2019), Microplastics in the global aquatic environment: Analysis, effects, remediation and policy solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5).

La gestione dei fanghi di depurazione in ottica di economia circolare

La gestione sostenibile dei fanghi di depurazione rappresenta un tema di grande attualità e interessa sia il comparto della gestione delle acque reflue sia il settore rifiuti. Questo paper fornisce un inquadramento al tema e descrive le iniziative e ricerche ENEA per quanto riguarda i processi di trattamento dei fanghi in un'ottica di economia circolare. In particolare, il laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui è storicamente focalizzato sull'ottimizzazione di tecnologie che permettano la riduzione della produzione dei fanghi e al tempo stesso il recupero di materia e di energia.

DOI 10.12910/EAI2023-014

di **Silvia Di Fabio, Antonio Giuliano, Michela Langone, Luigi Petta**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA

La gestione sostenibile dei fanghi di depurazione, che sia in grado di conciliare gli aspetti ambientali a quelli più prettamente economici, è un tema di grande attualità che interessa sia il comparto della gestione delle acque reflue sia il settore rifiuti. Il costo della gestione e dello smaltimento dei fanghi può incidere fino al 65% sul bilancio economico complessivo di un impianto di depurazione, rappresentando, quindi, la principale voce di costo; dall'altra parte l'attenzione al possibile inquinamento impone valutazioni approfondite nella scelta dei possibili scenari di gestione.

Secondo l'ultimo rapporto ISPRA (ISPRA 2022), i fanghi di depurazione prodotti in ambito nazionale a seguito del trattamento delle acque reflue municipali nel 2020 sono stati pari a 3,4 milioni di tonnellate, delle quali il 53,5% viene avviato ad operazioni di smaltimento e il 44,1% a recupero. **La percentuale avviata a recupero appare ancora bassa e principalmente imputabile all'in-**

certezza del quadro normativo e alla scarsa disponibilità impiantistica di alcune regioni dove il ricorso alla discarica e ad altre forme di smaltimento risulta ancora importante (nel sud Italia, il 29,6% dei fanghi viene smaltito in discarica). Tale dato appare critico alla luce degli indirizzi europei contenuti nel pacchetto per l'Economia Circolare, ripresi nella Strategia Nazionale per l'Economia Circolare, che auspicano l'implementazione di tecnologie innovative in grado di favorire, secondo la gerarchia dei rifiuti definita nella Direttiva Rifiuti, in primo luogo la riduzione nelle produzioni di fango e, a seguire, il recupero di materia e il recupero di energia. A tal riguardo va inoltre citato lo specifico obiettivo fissato da ARERA, nell'ambito della Regolazione della qualità tecnica del servizio integrato (RQTI), di minimizzare l'impatto ambientale collegato al trattamento dei reflui, con riguardo alla gestione dei fanghi, attraverso il macro-indicatore M5 "Smaltimento fanghi in discarica".

Opportunità di recupero dei fanghi di depurazione

Per quel che concerne il recupero di energia e materia, secondo l'ultimo Rapporto Ispra (Ispra 2022), **le operazioni di recupero dei fanghi in Italia sono costituite per il 74,1% dalla produzione di compost e gessi, per il 6,5% da spandimento diretto in agricoltura e solo per l'1,9% da valorizzazione energetica mentre risulta ancora marginale (0,2%) il recupero di sostanze inorganiche dai fanghi.**

I fanghi sono ricchi di sostanza organica e di elementi nutritivi per cui appare evidente l'opportunità e la convenienza della loro valorizzazione diretta in ambito agricolo secondo approcci di economia circolare, anche alla luce del recente incremento dei prezzi dei fertilizzanti di sintesi. Tuttavia, la legislazione legata al riutilizzo dei fanghi in agricoltura, sia a livello europeo (Direttiva 86/278/CEE) che italiano (D.lgs. 99/92), è ormai obsoleta poiché non soddisfa più le attuali esigenze e aspettative di tutela ambientale, come la corret-

ta regolamentazione degli inquinanti emergenti. In molti Stati membri, sono state emanate norme e regolamenti nazionali che hanno generato un quadro eterogeneo in materia.

In Italia, inoltre, i differenti sviluppi normativi a livello regionale hanno creato una forte incertezza sulle possibilità del riutilizzo diretto dei fanghi in agricoltura, determinando una riduzione negli ultimi anni della percentuale di fanghi utilizzati a tale scopo. Si è in attesa della pubblicazione della proposta di revisione della Direttiva europea 86/278/CEE; tuttavia, la proposta di revisione della direttiva 91/271/CEE sul trattamento delle acque reflue urbane contiene già gli indirizzi verso la massimizzazione del recupero dei fanghi in agricoltura e il rispetto della scala della gerarchia dei rifiuti nella scelta delle strategie di gestione.

L'esperienza ENEA: le tecnologie per la riduzione fanghi

Per quanto riguarda i processi di trattamento dei fanghi in un'ottica di economia circolare, il laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui del Dipartimento sostenibilità dei sistemi economici e territoriali è storicamente focalizzato sull'ottimizzazione di tecnologie che permettano la riduzione della produzione dei fanghi e al tempo stesso il recupero di materia e di energia, come possibile integrazione alla linea acque ovvero della linea fanghi.

Recentemente, nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico, ora Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica – ENEA, Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico, in collaborazione con l'Università di Trento, è

stato realizzato uno screening delle tecnologie di riduzione della produzione dei fanghi che abbiano un impatto energetico positivo sulla gestione dell'intero impianto di depurazione, considerando sia i consumi energetici della singola tecnologia sia gli eventuali vantaggi nell'applicazione della stessa tecnologia quali, ad esempio, l'incremento della produzione di biogas e della disidratabilità del fango.

Gestione dei fanghi idonei al riutilizzo in ambito agricolo

Per i fanghi idonei al riutilizzo in agricoltura, le attività del laboratorio T4W sono focalizzate sull'ottimizzazione della digestione anaerobica come tecnologia privilegiata nel recupero di materia ed energia.

Tale processo, infatti, riesce contestualmente a garantire la necessaria stabilizzazione del fango e consentire, da un lato, la produzione di biometano/biogas per una successiva valorizzazione energetica e, dall'altro lato, il recupero in agricoltura del digestato prodotto dal processo in virtù delle sue ottime proprietà ammendanti e fertilizzanti, laddove esso soddisfi i requisiti della normativa.

Il trattamento anaerobico dei fanghi si presta a diverse misure di efficientamento, sia mediante l'introduzione di fasi di pretrattamento in grado di massimizzare le rese di conversione dei fanghi in percentuali significative di metano (es. tecnologie di ispessimento o disintegrazione cellulare), sia favorendo un maggior sfruttamento del comparto di digestione anaerobica, anche mediante il trattamento combinato di fanghi e di altre matrici organiche (ad esempio FORSU e fanghi di depurazione dell'agroindustria), ove tale pratica sia resa possibile.

Per quanto concerne le tecnologie

finalizzate al recupero di elementi nutrienti dai fanghi e dai surnatanti della linea fanghi, di particolare rilievo risultano quelle finalizzate al recupero del fosforo per la produzione di fertilizzanti, visto l'inserimento del fosforo tra le materie prime critiche a causa della scarsità di tale risorsa a livello mondiale ed ancor più per l'Italia.

Per favorire l'implementazione di filiere che consentano di recuperare e valorizzare in maniera sostenibile il fosforo a partire dai fanghi di depurazione, l'ENEA, tramite il Dipartimento di Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriale (SSPT), è stata individuata dal MASE come gestore della Piattaforma Italiana del Fosforo. La piattaforma affronta la tematica da diversi punti di vista (tecnologico, normativo ed economico) con la partecipazione di stakeholder, centri di ricerca, istituzioni pubbliche e private, aziende e associazioni per la difesa dell'ambiente, secondo un approccio basato sui principi dell'economia circolare e sulla chiusura del ciclo su tutta la catena del valore, dalla produzione primaria al recupero da fonti secondarie, tra cui proprio i fanghi di depurazione. Sullo stesso tema, ENEA è partner di AGRITECH - National Research Centre for Agricultural Technologies - finanziato dal PNRR, nel quale il Laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui sviluppa tecnologie di tipo bio-chimico finalizzate al recupero di fosforo per l'ottenimento di fertilizzanti liquidi.

Tra le varie tecnologie atte a massimizzare il recupero energetico dal trattamento dei fanghi di depurazione, vi sono anche quelle che consentono di valorizzare l'anidride carbonica (CO₂) contenuta nel biogas, anche ai fini di un suo upgra-



Figura 1 - Impianti pilota per l'upgrading biologico del biogas mediante processo di metanazione idrogenotrofa, in configurazione ex situ. Impianti pilota da 60 L (a destra) e 200 L (a sinistra).

ding. Un processo particolarmente interessante, attualmente in fase di sviluppo sperimentale su scala pilota presso il laboratorio SSPT-USER-T4W del Brasimone (Fig. 1), è quello della metanazione idrogenotrofa, che si basa sulla capacità di alcuni microrganismi di catalizzare, in presenza di idrogeno (H_2), la conversione della CO_2 in biometano.

Quest'ultimo può essere successivamente impiegato per scopi energetici (es. immissione nella rete del gas naturale o in bombole) e sfruttato in diversi settori in accordo con i principi dell'economia circolare. Aspetto particolarmente interessante sotto il profilo della sostenibilità energetica ed ambientale di tale processo, è che l' H_2 può essere generato a partire dal surplus di energia elettrica rinnovabile mediante elettrolisi dell'acqua (idrogeno verde).

L'approccio di gestione integrata dei fanghi negli impianti di depurazione, in accoppiamento con sistemi

tecnologici in grado di produrre idrogeno verde, risulta particolarmente strategico se si guarda alle previsioni di crescita nei prossimi anni del numero di installazioni di impianti fotovoltaici ed eolici.

Gestione dei fanghi non idonei al riutilizzo in ambito agricolo

Laddove il fango di depurazione non abbia caratteristiche idonee allo spandimento in agricoltura, la definizione di una filiera virtuosa di trattamento in ottica di economia circolare e simbiosi industriale deve necessariamente considerare scenari di valorizzazione energetica tali da garantire un contestuale recupero di materia. **Tra le tecnologie privilegiate per il trattamento dei fanghi non idonei al riutilizzo agricolo, di particolare rilevanza applicativa risulta il processo di mono-incenerimento, che offre la possibilità di recuperare fosforo dalle ceneri con ottime rese di recupero, nonché le**

diverse tecnologie innovative di crescente interesse, quali la pirolisi o i processi termochimici di carbonizzazione idrotermica (HTC) e liquefazione idrotermica (HTL).

In tale ambito, grazie alla collaborazione tra i laboratori T4W e T4RM (Laboratorio Tecnologie per il Riutilizzo, il Riciclo, il Recupero e la valorizzazione di Rifiuti e Materiali), e nell'ambito di un dottorato di ricerca in Metodi, modelli e tecnologie per l'ingegneria dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale, co-finanziato da ENEA, Regione Lazio e ACEA, **l'ENEA sta testando il processo di pirolisi dei fanghi di depurazione civili per lo sviluppo di un sistema integrato per la valorizzazione dei prodotti generati, in particolare del syngas e del biochar.** All'interno del programma di Ricerca di Sistema elettrico nazionale 2022 -2024 (finanziato dal MISE ora MIMIT) e in collaborazione con l'Università della Sapienza, verrà inoltre studiata la valorizzazione del bio-olio prodotto dalla pirolisi e dal processo HTL.

Studi e ricerche sono condotte anche sul processo HTC, in collaborazione con diverse Università e start-up italiane. Il processo termochimico HTC per il trattamento dei fanghi di depurazione risulta vantaggioso poiché non è necessario prevedere una fase di essiccazione parziale o totale dei fanghi disidratati in quanto tale tecnologia risulta direttamente applicabile su matrici con contenuto di umido variabile dal 75% al 90%. Poiché attualmente la normativa non permette l'utilizzo dell'idrochar in agricoltura, esso viene preferenzialmente impiegato ai fini del recupero di energia in sistemi di mono-incenerimento e co-incenerimento piuttosto che in alcune applicazioni industriali, grazie alle sue proprietà adsorbenti.

Si sottolinea la recente emissione della norma tecnica UNI 11853:20224 intesa a promuovere il commercio e il mercato dell'idrochar generato dal trattamento di fanghi di depurazione con l'obiettivo di ampliarne l'utilizzo in applicazioni industriali

come alternativa sostenibile del carbone fossile. L'HTC liquor generato, inoltre, ha caratteristiche chimiche di interesse quali un elevato contenuto di sostanza organica, azoto, fosforo e VFA e potrebbe essere valorizzato per il recupero di nutrienti (azoto e

fosforo), acidi volatili o essere riciccolato in un processo di digestione anaerobica, laddove presente, per aumentare le rese di produzione di biogas/biometano.

per info: silvia.difabio@enea.it

Riferimenti bibliografici

- Rapporto rifiuti urbani Edizione 2022, ISPRA
- Sito ISTAT http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_FERTILIZZANTI

Referenze ENEA

- ENEA Gruppo di Lavoro 2, (2020). Le tecnologie disponibili per il recupero del fosforo. Report Piattaforma del Fosforo - P4
- Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Di Fabio S., Granieri M., Nuzzi R., Farina R, Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione. Report RdS/PTR2021/185, 2021.
- Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Ferraris M., Granieri M., Nuzzi R., Langone M., Efficientamento energetico di impianti di depurazione in ottica di economia circolare. Report RdS/PTR/2020/096, 2021.
- Canditelli M., Cellamare C., Ferraris M., Giuliano A., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G, Sviluppo di sistemi e metodologie per la gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city, Report RdS/PAR2017/069, 2018.
- Giuliano A., Cellamare C. M., Chiarini L., Tabacchioni S., Petta L., Long-Term Ex-Situ Biological Methanation of Hydrogen and Carbon Dioxide Coupled to a Novel Gas Mass Transfer System Based on Controlled Hydrodynamic Cavitation. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4396157> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4396157>
- Fantin V., Giuliano A., Manfredi M., Stefanova M., Masoni P, Environmental assessment of electricity generation from an Italian anaerobic digestion plant. Biomass and Bioenerg, 2015, 83, pp. 422-435
- Langone M., Sabia G., Petta L., Zanetti L., Leoni P., Basso D. Evaluation of the aerobic biodegradability of process water produced by hydrothermal carbonization and inhibition effects on the heterotrophic biomass of an activated sludge system. Journal of Environmental Management [this link is disabled](#), 2021, 299, 113561
- Langone M., Basso D., Process waters from hydrothermal carbonization of sludge: Characteristics and possible valorization pathways. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(18), pp. 1-31, 6618
- Ferrentino R., Langone M., Fiori L., Andreottola G., Full-Scale Sewage Sludge Reduction Technologies: A Review with a Focus on Energy Consumption. Water (Switzerland), 2023, 15(4), 615
- Ferrentino R., Langone M., Mattioli D., Fiori L., Andreottola G., Investigating the Enhancement in Biogas Production by Hydrothermal Carbonization of Organic Solid Waste and Digestate in an Inter-Stage Treatment Configuration. Processes, 2022, 10(4), 777
- Mancuso G., Langone M., Di Maggio R., Toscano A., Andreottola G., Effect of hydrodynamic cavitation on flocs structure in sewage sludge to increase stabilization for efficient and safe reuse in agriculture. Bioremediation Journal [this link is disabled](#), 2022, 26(1), pp. 41-52
- Ferrentino R., Langone M., Andreottola G., Sludge reduction by an anaerobic side-stream reactor process: A full-scale application. Environmental Challenges, 2021, 2, 100016
- Pelagalli V., Matassa S., Race M., Langone M., Papirio S., Lens P. N. L., Lazzazzara M., Frugis A., Luigi Petta, Esposito G., Syngas-driven sewage sludge conversion to microbial protein through H₂S- and CO-tolerant hydrogen-oxidizing bacteria. Submitted

Processi biologici innovativi e modellazione matematica per l'innovazione dei sistemi di depurazione

A seguito di 30 anni di ricerca sperimentale ed applicata, è stato dimostrato che l'implementazione del processo anammox per il trattamento delle acque reflue rappresenta un metodo più economico ed efficiente per rimuovere l'azoto dalle acque reflue rispetto ai metodi tradizionali. Nel presente lavoro si descrive l'applicazione di questo processo al trattamento del percolato di discarica in un impianto in piena scala, evidenziando il ruolo della modellazione matematica sia in fase previsionale che per l'ottimizzazione del processo.

DOI 10.12910/EAI2023-015

di **Michela Langone, Davide Mattioli, Gianpaolo Sabia, Luigi Petta**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA

L'azoto è un elemento essenziale per la vita, ma in concentrazioni elevate può provocare gravi problemi ambientali. Quando le acque reflue contenenti azoto raggiungono i corpi idrici naturali, l'azoto può favorire fenomeni di eutrofizzazione caratterizzati dalla crescita eccessiva di alghe e piante acquatiche, le cui biomasse tendono, a seguito della fine del ciclo vitale, ad accumularsi e degradarsi, creando ambienti con concentrazioni di ossigeno al di sotto dei valori necessari a sostenere la vita degli organismi acquatici. **Per ridurre l'azoto veicolato in ambienti naturali tramite le acque reflue, esistono diverse tecniche di trattamento e tra queste i processi biologici rivestono un ruolo fondamentale.**

I processi biologici tradizionali, come ad esempio i trattamenti a fanghi attivi, utilizzano principalmente la nitrificazione e la denitrificazione per rimuovere l'azoto dalle acque reflue. La nitrificazione è il proces-

so attraverso il quale, utilizzando ossigeno, l'ammonio (NH_4^+) viene ossidato a nitrito (NO_2^-) e successivamente a nitrato (NO_3^-), mediante l'azione di due differenti gruppi di batteri nitrificanti: gli ammonio-ossidanti (AOB) e i nitrito-ossidanti (NOB).

La denitrificazione, invece, è un processo articolato in quattro fasi principali, attraverso il quale i batteri coinvolti riducono i nitrati in azoto gassoso, utilizzando composti organici come fonte di carbonio. Questi processi di depurazione tradizionali presentano, tuttavia, alcuni svantaggi rappresentati in primo luogo dall'elevata richiesta di ossigeno, che determina elevati consumi energetici per la fornitura continua di ossigeno mediante sistemi di aerazione dedicati, e dall'elevata produzione di fanghi, ed in secondo luogo dalla possibile produzione di gas serra come l'ossido di azoto, con un potenziale di riscaldamento globale sui 100 anni di circa 300 volte maggiore rispetto alla CO_2 .

L'implementazione del processo anammox per il trattamento delle acque reflue

La scoperta dei batteri anammox (abbreviazione di "ANAerobic AM-Monium OXidation"), avvenuta negli anni '90, ha contribuito in modo determinante alla comprensione del ciclo dell'azoto. Questi batteri anaerobi sono in grado di convertire l'ammonio (NH_4^+) e i nitriti (NO_2^-) in azoto gassoso (N_2), senza la necessità di ossigeno. Tale scoperta ha avuto un impatto significativo anche sull'industria del trattamento delle acque reflue, molto spesso caratterizzate da concentrazioni significative di azoto, che può provenire da diverse fonti come ad esempio le attività residenziali ma, soprattutto, le attività produttive ovvero l'agricoltura, l'allevamento, le discariche e l'industria.

A seguito di 30 anni di ricerca sperimentale ed applicata, è stato dimostrato che l'implementazione del processo anammox per il trattamento delle acque reflue rappre-

sentano un metodo più economico ed efficiente per rimuovere l'azoto dalle acque reflue, rispetto ai metodi tradizionali.

Il processo anammox può essere applicato, in combinazione con altri processi biologici, sia per il trattamento di reflui ad elevato tenore di azoto e con basso rapporto BOD/N, quali i percolati di discarica e gli effluenti della digestione anaerobica, sia nella linea acque degli impianti di depurazione civili per il trattamento dei reflui municipali, caratterizzati da minori concentrazioni di azoto. In particolare, il processo di parziale nitrificazione-anammox (PN/A), sfruttando il metabolismo dei batteri AOB e dei batteri anammox, entrambi autotrofi, consente di rimuovere l'azoto, dimezzando il fabbisogno di ossigeno, annullando la richiesta di sostanza organica e riducendo la produzione di fango di supero. Anche la possibilità di coesistenza di batteri denitrificanti con i batteri anammox è stata ampiamente dimostrata e discussa, presentando una serie di vantaggi legati alla presenza del carbonio nelle acque reflue e all'efficienza di rimozione dell'azoto totale.

I bassi tassi di crescita dei batteri anammox e AOB rendono necessario lo sviluppo di reattori con un elevato tempo di ritenzione della biomassa, come i reattori basati sul biofilm, i sistemi a letto fisso, i bioreattori sequenziali (SBR), i bioreattori a letto mobile (MBBR), i bioreattori a membrana (MBR) e i reattori a biomassa granulare. Inoltre, il processo PN/A richiede una attenta gestione. Esso può, infatti, essere gravemente inibito da diversi fattori, come ad esempio da elevati valori di concentrazioni di substrato (NH_4^+ , NO_2^-), o dalla presenza di sostanza organica, sali, solfuri, metalli pesanti e fosfati. Anche le condizioni operative, quali la miscelazione, la temperatura, l'ossigeno disciolto e il pH possono avere un impatto negativo sul processo PN/A.

Ottimizzare i processi depurativi biologici

Le suddette tematiche rientrano tra gli ambiti di studio del Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui di ENEA, con particolare riferimento ai processi depurativi biologici che vengono indagati secondo un approccio

combinato sia di tipo sperimentale che modellistico, finalizzato alla loro ottimizzazione. Nell'ambito del programma di Ricerca di Sistema Elettrico nazionale 2019 – 2021 (finanziato dal MISE), in collaborazione con l'Università di Trento, l'Università Federico II di Napoli e l'Agenzia per la Depurazione della Provincia Autonoma di Trento, sono state poste a confronto le prestazioni di due diversi processi innovativi di rimozione dell'azoto in reattori di tipo SBR in scala reale per il trattamento del percolato vecchio di discarica (Lavis, Trento): il processo PN/A e il processo SPND (parziale nitrificazione e denitrificazione). Dall'analisi dei dati operativi dell'impianto si deduce un'elevata efficienza di rimozione dell'azoto ammoniacale sia per l'SBR_{PN/A} che per l'SBR_{SPND}, pari rispettivamente al 94% e 95%.

Prendendo a riferimento dati operativi reali, mediante l'impiego del software di modellazione BioWin® (Figura 1), sono state simulate diverse possibili condizioni operative con l'obiettivo di studiare i relativi impatti sulle prestazioni del processo e valutare il contributo alla rimozione

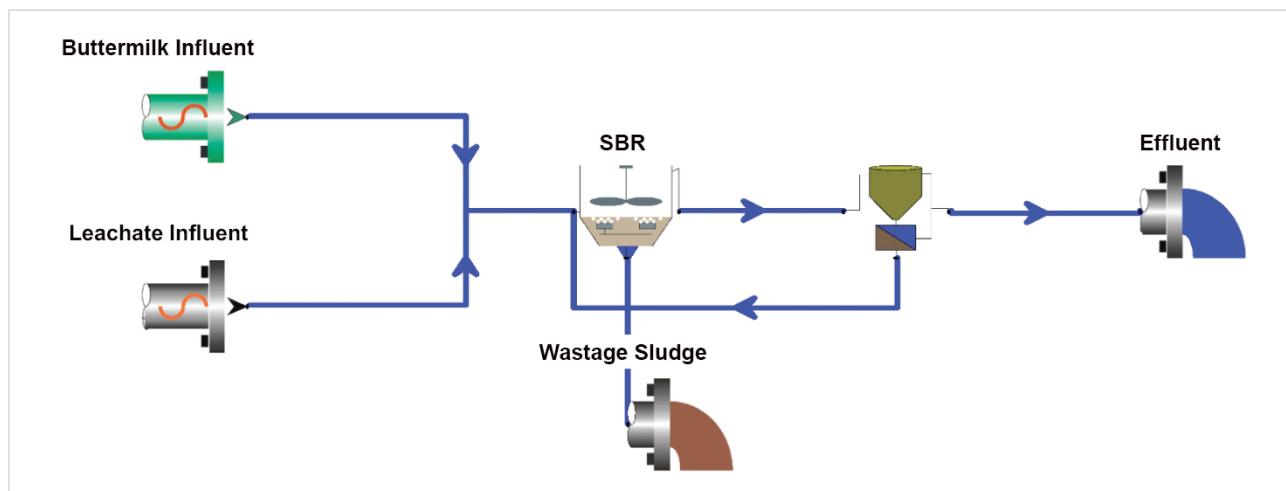


Figura 1. Schema dell'impianto SBR modellato in BioWin®.

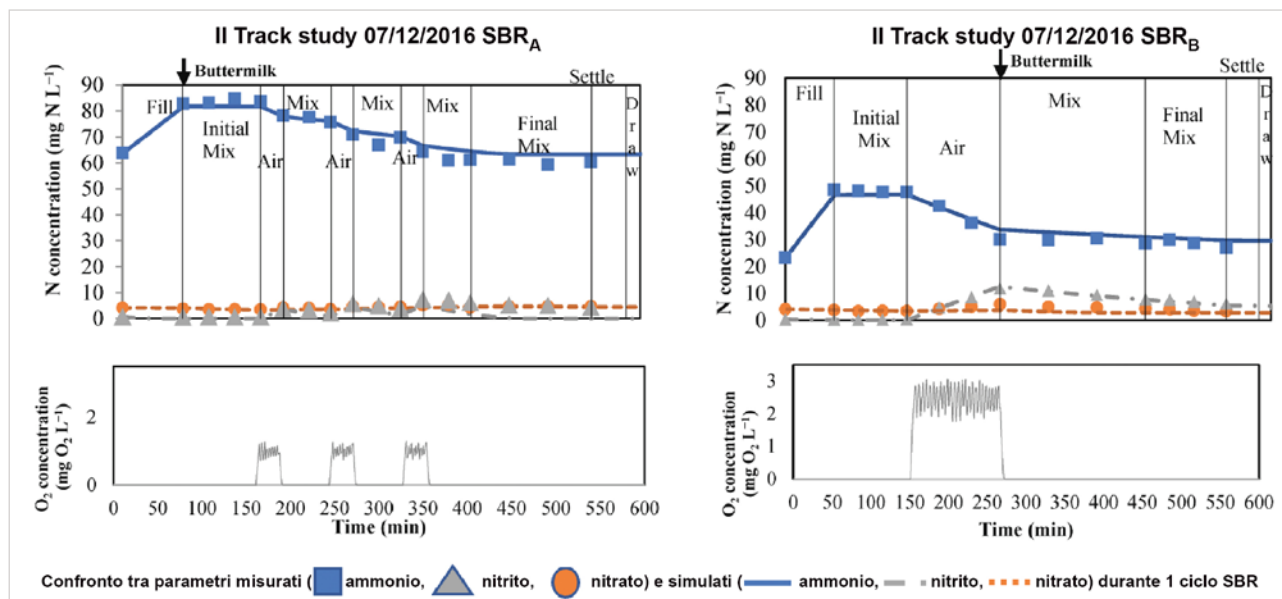


Figura 2. Simulazioni del processo PN/A (SBR_A) e SPND(SBR_B).

dell'azoto da parte dei batteri coinvolti, ovvero AOB, NOB, anammox e batteri eterotrofi ordinari (Figura 2). I modelli hanno evidenziato che:

- i) le elevate concentrazioni di ammoniaca libera, condizione tipica nei percolati di discarica, inibiscono i batteri NOB, favorendo il processo di nitrificazione;
- ii) la presenza simultanea di ammonio e nitrito e la loro capacità di recuperare dall'inibizione da ossigeno, consente lo sviluppo dei batteri anammox;
- iii) la scarsa disponibilità di carbonio organico nel refluo da trattare determina il prevalere del processo anammox sul processo di denitrificazione;
- iv) viceversa, un incremento della disponibilità di carbonio organico mediante una fornitura esterna (i.e. latticello) provoca una rapida riduzione della biomassa anammox rispetto alla biomassa eterotrofa denitrificante.

I modelli SBR sviluppati in questo studio sono stati applicati per ot-

timizzare le condizioni operative dell'impianto di trattamento del percolato in esame, con l'obiettivo di massimizzare le efficienze depurative e minimizzare i consumi energetici. Considerando il solo processo PN/A, la modellazione matematica ha consentito di simulare diversi interventi di efficientamento energetico, quali:

- a) la riduzione del quantitativo di latticello introdotto nell' $SBR_{PN/A}$ in modo da evitare la competizione della biomassa eterotrofa con la biomassa anammox per il consumo di nitrito;
- b) la riduzione della concentrazione di ossigeno presente all'interno del reattore $SBR_{PN/A}$ verificando ed analizzando sia le efficienze depurative ottenute, sia il risparmio energetico ed economico;
- c) la riduzione della durata della fase di miscelazione e della potenza impiegata nei mixer.

I risultati delle simulazioni condotte hanno confermato che gli interventi proposti consentono di man-

tenere elevate rimozioni di azoto dell'impianto, che rimangono in linea con gli obiettivi del trattamento anche in assenza di dosaggio di carbonio esterno (si rileva un aumento della concentrazione di nitrito medio in tutti i periodi analizzati, che però si mantiene sempre al di sotto di 20 mg l^{-1}). La riduzione della concentrazione di ossigeno da $0,85$ a $0,6 \text{ mg l}^{-1}$ permette di ridurre la concentrazione media di nitrito e di ottenere efficienze di rimozione pressoché simili. Infine, la minore durata delle fasi di miscelazione non compromette l'efficienza di rimozione del processo, dimostrando l'eccessiva durata di questa fase così come attualmente impostata in impianto. Rispetto allo scenario di riferimento, la combinazione dei diversi interventi di efficientamento esaminati comporta un **risparmio nei consumi energetici complessivi del 20%**, grazie alla maggiore efficienza delle fasi di aerazione e miscelazione. Si evidenzia che tutte le soluzioni individuate sono di carattere puramente

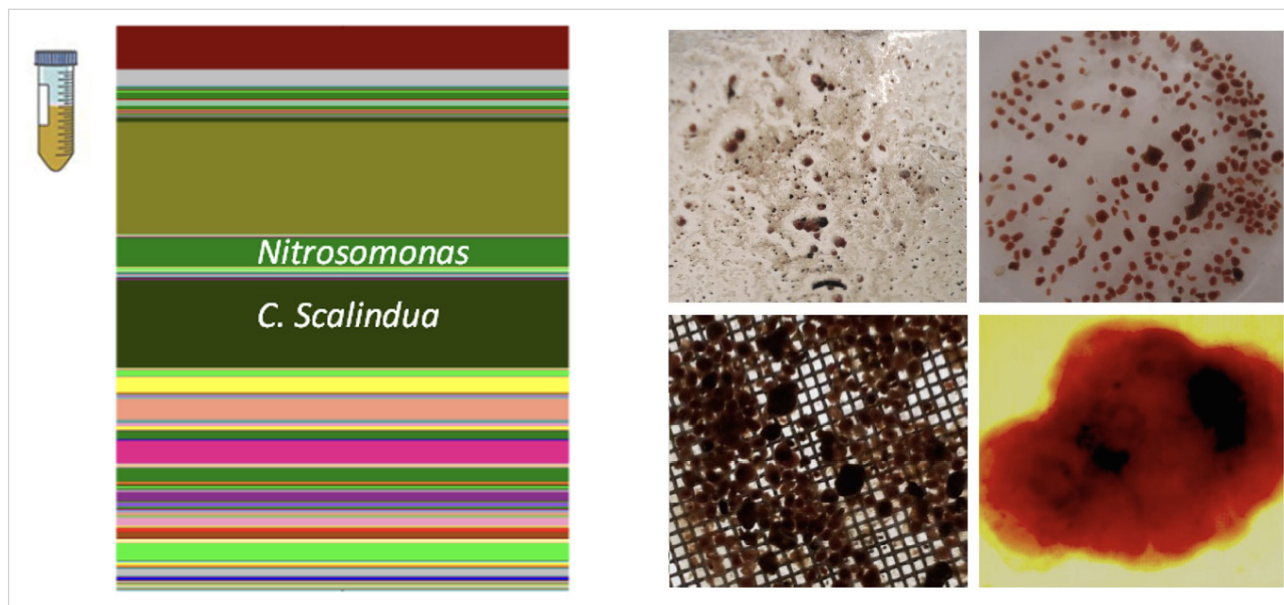


Figura 3. Identificazione microbica mediante tecnica basata sulle sequenze del gene rRNA 16S e analisi morfologica del processo PN/A.

gestionale e non richiedono alcun costo di investimento, ma soltanto modifiche nella impostazione dei cicli di trattamento dell'impianto SBR. Ulteriori possibili interventi di efficientamento a costo zero sono quelli che prevedono l'eliminazione dell'idrociclone – che nel caso specifico viene utilizzato solo per il lavaggio dei granuli di biomassa anammox senza effettuare una vera separazione della biomassa fioccosa e che in base ai risultati della modellazione non pare essere necessario al processo – e la sostituzione dei quattro mixer attuali con due adattivi di minore potenza. Considerando l'insieme dei diversi interventi di efficientamento proposti, l'implan-

to potrebbe arrivare ad un consumo medio annuo di circa 15.000 kWh che, rapportato al carico di azoto rimosso di 8.800 kgN anno⁻¹, restituisce un consumo unitario di circa 1,8 kWh kgN⁻¹ rimosso, pari a circa il 30% degli attuali consumi dell'impianto in una configurazione non ottimizzata.

Infine, i modelli sono stati applicati anche per stimare i tassi di produzione di protossido di azoto da parte dei processi PN/A e SPND, rispettivamente pari a 0,5-3,7% e 0,8-10% del carico di azoto in ingresso.

Ad oggi l'attività di ricerca prosegue, con la collaborazione di diverse università italiane, al fine ulteriore di dimostrare l'importan-

za della caratterizzazione microbiologica nella comprensione dei processi biologici innovativi nonché nella corretta modellazione matematica (Figura 3). L'introduzione, infatti, di tecniche di amplificazione genomica, oltre che lo sviluppo di tecnologie di sequenziamento genetico di nuova generazione, consentono di approfondire la conoscenza del microbioma che si sviluppa nei processi biologici di depurazione delle acque reflue e di ottimizzare, di conseguenza, la scelta di processi e parametri cinetici all'interno delle simulazioni matematiche.

per info: michela.langone@enea.it

Referenze

- Lanzetta A., Mattioli D., Di Capua F., Sabia G., Petta L., Esposito G., Andreottola G., Gatti G., Merz W., Langone M., 2021. Anammox-Based Processes for Mature Leachate Treatment in SBR: A Modelling Study. *Processes*, 9(8), 1443; <https://doi.org/10.3390/pr9081443>
- Langone M., Ferrentino R., Merz W., Mattioli D., Petta L., Andreottola G., 2023. Microbial community composition from full-scale anammox-based reactors treating mature landfill leachate. Submitted.
- Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Ferraris M., Granieri M., Nuzzi R., Langone M. 2021. Efficientamento energetico di impianti di depurazione in ottica di economia circolare. Report Ricerca di Sistema Elettrico. Report RdS/PTR2020/096.

Metodologie e strumenti per l'analisi delle prestazioni energetiche degli impianti di depurazione

A fronte del quadro generale relativo ai consumi energetici del servizio idrico integrato ed in particolare del comparto della depurazione, questo articolo descrive la procedura messa a punto da ENEA per migliorare l'efficienza energetica dei processi depurativi, mediante il benchmarking e labelling energetico e lo sviluppo di un software dedicato denominato DEES Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità, disponibile, su richiesta, sul sito <https://risorse.sostenibilita.enea.it>.

DOI 10.12910/EAI2023-016

di **Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Luigi Petta, Michela Langone**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA

La governance europea ha assunto come orientamento delle proprie politiche sull'energia il principio "energy efficiency first", in base al quale gli Stati Membri, prima di adottare decisioni di pianificazione politica e di investimento, sono chiamati a valutare misure di efficienza energetica alternative solide dal punto di vista tecnico, economico, ambientale e che consentano di perseguire gli obiettivi delle decisioni adottate. Tra queste politiche, la Direttiva EED EU 2018/2002 ha previsto una riduzione di almeno il 32,5% dell'energia utilizzata entro il 2030 (rispetto alle proiezioni dello scenario di riferimento 2007), obiettivo peraltro in fase di revisione al rialzo (al 36% per il consumo di energia finale e al 39% per il consumo di energia primaria) a seguito dell'approvazione da parte della Commissione Europea, nel luglio 2021, del pacchetto clima "Fit for 55".

Le politiche europee sono sempre più vocate ad adottare un approccio olistico e di visione globale di siste-

ma per la definizione delle proprie strategie e per il perseguimento degli obiettivi da conseguire in ottica di sostenibilità ambientale, economica e sociale. In coerenza con tale approccio, l'orientamento prevalente è quello di approfondire e valutare le forti interconnessioni tra energia-clima-cibo e acqua. In tale ottica, **il servizio idrico integrato (SII), che include acquedotto, fognatura e depurazione, è sempre più spesso riconosciuto quale settore prioritario su cui definire interventi di efficientamento, per contribuire in modo significativo al risparmio energetico e alla riduzione di gas climalteranti, oltre a rendere disponibili risorse idriche non convenzionali e materie prime seconde da riutilizzare nel settore produttivo, civile ed ambientale.**

Migliorare l'efficienza energetica dei processi depurativi

Dal punto di vista energetico, a livello europeo, i consumi del settore del SII e, nello specifico, del trattamento delle acque reflue ammontano

rispettivamente al 3,5% e 0,8% dei consumi energetici complessivi rilevati dagli stati membri. Tali percentuali risultano peraltro in tendenza incrementale, alla luce del continuo aumento dei carichi volumetrici e di inquinanti afferenti al comparto depurativo (dovuti a processi quali la crescita della popolazione, urbanizzazione, eventi meteorici ad elevata intensità, etc.) ed a fronte di esigenze di trattamento più spinte connesse a limiti qualitativi allo scarico sempre più restrittivi, sia in termini di concentrazioni ammesse, sia di numero di inquinanti considerati (i.e. microplastiche, contaminanti emergenti, etc.). A tale riguardo vanno inoltre menzionate le maggiori esigenze di trattamento depurativo correlate al riutilizzo dei reflui depurati, alla luce delle nuove normative di settore finalizzate a dare un impulso a tale pratica per poter disporre di risorse idriche alternative in risposta ai sempre più frequenti fenomeni di scarsità idrica.

Il settore dei trattamenti delle acque reflue, per le proprie caratte-

ristiche strutturali, le tipologie di configurazioni implementate, i processi e le tecnologie adottate, offre notevoli margini di efficientamento e di recupero energetico tramite l'adozione di molteplici misure a differente scala di intervento di tipo gestionale (es. gestione separata dei flussi idrici) e tecnologico (es. efficientamento delle utenze elettromeccaniche, la produzione e la valorizzazione di vettori energetici come il biogas, l'installazione di tecnologie per il recupero termico, etc.). Inoltre, i siti di trattamento delle acque reflue urbane sono identificati come "go-to-areas" per le energie rinnovabili, ossia luoghi adatti all'installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili (es. fotovoltaico, solare, etc.).

Viste le potenzialità del settore, la proposta di revisione della normativa concernente il trattamento delle acque reflue urbane (Proposta COM(2022) 541 final 2022/0345, in revisione della UWWTD 91/271/CEE) intende stabilire misure finalizzate al raggiungimento della neutralità energetica entro il 2040 per le strutture impiantistiche con potenzialità superiore ai 10.000 abitanti equivalenti. Secondo la proposta, ciascuno stato membro dovrà garantire a livello nazionale il pareggio tra la produzione annuale di energia rinnovabile da tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane ed il fabbisogno energetico annuo dell'intero settore depurativo.

Oltre alla produzione di energia rinnovabile, la definizione e l'adozione di strategie e di misure di efficientamento diventano prioritarie al fine di perseguire la neutralità energetica.

La valutazione dei margini di incremento delle performances energetiche di processo e l'individuazione di

misure e tecnologie adatte allo scopo richiedono il ricorso a strumenti e metodologie di analisi del ciclo depurativo, caratterizzato da una estrema variabilità delle tecnologie e processi applicati, dei consumi energetici caratteristici dei vari comparti e delle relative utenze. Il miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti di trattamento delle acque reflue si sviluppa in primo luogo attraverso una dettagliata diagnosi energetica dei consumi reali (D.lgs. n. 102/2014), a cui fa seguito una fase di **parametrizzazione dei dati rilevati attraverso la definizione di appropriati indicatori di prestazione energetica** (o Key Performance Indicators, KPI), da elaborare secondo un opportuno approccio di benchmarking e conseguente classificazione (labelling) a seguito del raffronto delle prestazioni di uno specifico caso studio con casi analoghi di riferimento, con l'obiettivo di identificare possibili margini di miglioramento in termini di efficienza funzionale ed energetica.

Procedure, strumenti di analisi e soluzioni tecnico-gestionali

Alla luce di tale contesto, il Laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui di ENEA **ha definito un iter procedurale per l'analisi delle prestazioni energetiche degli impianti di trattamento delle acque reflue, benchmarking e labelling. Contestualmente, ha sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni da parte dei gestori del ciclo idrico integrato e dei pianificatori, in grado di favorire l'analisi del comparto e contribuire all'individuazione di misure idonee e di strategie di efficientamento per gli impianti di depurazione, in ottica di sostenibilità economica ed ambientale.**

Il lavoro si è sviluppato per fasi con-

secutive partendo dall'analisi settoriale del quadro dei consumi energetici e dalla letteratura scientifica e tecnica, dall'esame delle diagnosi energetiche e dalla diretta condivisione di dati con operatori del SII. Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi di soluzioni tecnico-gestionali adottabili, a varia scala di processo, al fine di migliorare il bilancio energetico degli impianti.

I dati raccolti riferiti ai consumi energetici dei processi depurativi sono stati elaborati in modo da proporre statistiche settoriali per le diverse fasi di trattamento depurativo e definire specifici KPI, secondo prestabilite classi dimensionali impiantistiche. In particolare, i KPI sono stati elaborati rapportando i consumi energetici agli abitanti equivalenti trattati, ai carichi volumetrici e alle efficienze di rimozione dei carichi inquinanti.

Sulla base del quadro delineato, è stata quindi definita una procedura completa di valutazione dei livelli prestazionali degli impianti di trattamento, finalizzata all'aggregazione ponderata dei KPI calcolati in un unico indice di consumo globale (GEI - Global Energy Index), in grado di aggregare e sintetizzare in modo organico i contributi informativi dei singoli indicatori di base.

L'indice così strutturato è stato impiegato come parametro di riferimento per la fase di benchmarking, ovvero la comparazione delle prestazioni e la rilevazione indicativa dei potenziali margini di miglioramento, e di labelling, ovvero la classificazione energetica degli impianti di depurazione. La procedura è stata quindi testata e validata, tramite l'individuazione di casi studio reali, a partire da dati dei consumi energetici forniti da gestori di impianti di depurazione.

Tenendo conto della classe dimen-

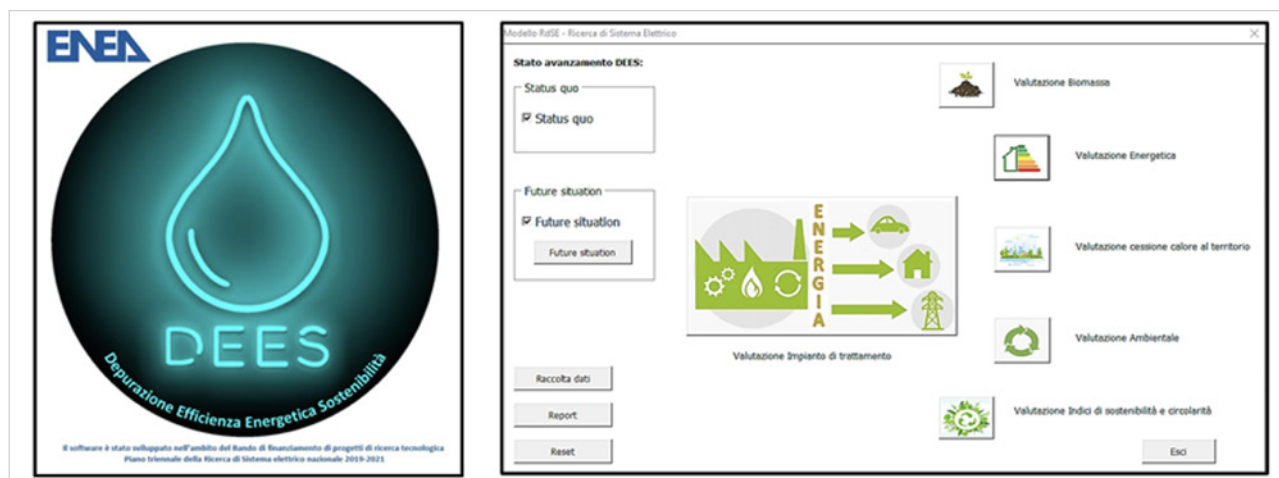


Fig. 1 – Logo e maschera grafica di dialogo del software DEES - Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità, sviluppato da ENEA per la definizione di scenari di efficienza energetica dei processi depurativi.

sionale impiantistica, i risultati conseguiti hanno portato a verificare i potenziali margini di miglioramento conseguibili per singolo impianto, in rapporto ai livelli prestazionali di benchmark di settore. Il confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi dei dati dei casi studio assume anche una sua valenza in termini di orientamento dei gestori nell'individuazione delle casistiche da considerare, in via prioritaria, nella programmazione di investimenti mirati a migliorare l'efficienza energetica dei propri impianti, in ottica di sostenibilità. Allo stesso tempo, la metodologia sviluppata trova applicazione come modalità di monitoraggio continuo di variazioni del bilancio energetico degli impianti, a fronte dell'implementazione di soluzioni di efficientamento.

In seguito, la metodologia definita è stata automatizzata in ambiente VBA di Excel prevedendo una maschera grafica dedicata per l'utilizzo diretto. Il modulo sviluppato è stato poi integrato in un software

a più ampio spettro di analisi del comparto depurativo finalizzato alla valutazione del bilancio energetico e all'individuazione di alcune soluzioni tecnico-gestionali adottabili in ottica di efficientamento.

Il software DEES Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità

Il tool, denominato DEES -Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità- partendo dall'analisi del quadro inerente all'attuale configurazione e alla modalità di conduzione dei processi, offre la possibilità di effettuare analisi di scenario sulla base della proposizione di alternative inerenti soluzioni gestionali e tecnologiche implementabili finalizzate all'efficienza energetica (Fig. 1). Nelle valutazioni eseguibili sono inclusi aspetti quali la produzione di energia rinnovabile, le emissioni di gas climalteranti, il riutilizzo delle acque reflue trattate in ambito agricolo, la cessione dei surplus energetici al territorio circostante e sono calcolabili indici di

sostenibilità e circolarità finalizzati a valutare la compatibilità ambientale dei processi, tenendo conto della modalità di gestione dei flussi di materia ed energia. Il software DEES è stato testato e validato sulla base di dati di impianti reali, consentendo di valutare il bilancio energetico e definire strategie e soluzioni finalizzate al conseguimento della neutralità energetica, oltre alla valutazione della sostenibilità ambientale e della circolarità dei processi di trattamento delle acque reflue. **Il software è reso disponibile, su richiesta, da ENEA sul sito dipartimentale <https://risorse.sostenibilita.enea.it> e viene fornito completo di manuale di utilizzo e di esempi di applicazione su scenari reali.** DEES è stato sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) – ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico.

per info: gianpaolo.sabia@enea.it

Riferimenti normativi

- Direttiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018
- che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica
- Direttiva del Consiglio del 21 maggio 1991 concernente il trattamento delle acque reflue urbane (91/271/CEE)
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) COM (2022) 541 final 2022/0345 (COD)
- Decreto Legislativo n.102 del 4 luglio 2014 di "Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE"

Riferimenti bibliografici

- Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Di Fabio S., Granieri M., Nuzzi R., Farina R. (2021). Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione. Report RdS/PTR2021/185
- Mattioli D., A. Giuliano, G. Sabia, L. Petta, M. Ferraris, M. Granieri, R. Nuzzi, M. Langone, (2021). Efficientamento energetico di impianti di depurazione in ottica di economia circolare. Report RdS/PTR/2020/096
- Sabia G., Petta L., Avolio F., Caporossi E., (2020). Energy saving in wastewater treatment plants: A methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking. Energy Conversion and Management, 220, 113067, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113067, ISSN: 01968904
- Sabia G., Petta L., Mattioli D., (2020). Technology Report Benchmarking energetico di impianti di depurazione acque reflue, Investimenti mirati per l'efficientamento energetico. Prodotto rete alta tecnologia Regione Emilia Romagna, <https://www.retealtatecnologia.it/technology-report/benchmarking-energetico-di-impianti-di-depurazione-acque-reflue>
- Cellamare C., Giuliano A., Granieri M., Guzzinati R., Mattioli D., Nuzzi R., Petta L., Sabia G., (2019). Metodi per la caratterizzazione energetica degli impianti di depurazione e sviluppo di un sistema innovativo per l'autoproduzione energetica. Report RdS/PTR2019/072
- Canditelli M., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G., (2018). Valutazione di sistemi e metodologie per la gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city, Report RdS/PAR2018/037
- Canditelli M., Cellamare C., Ferraris M., Giuliano A., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G. (2018). Sviluppo di sistemi e metodologie per la gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city, Report RdS/PAR2017/069
- Canditelli M., Ferraris M., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G. (2017). Gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city. Report RdS/PAR2016/027

Recupero di energia termica in fognatura ed effetti sulla depurazione delle acque

Il recupero di energia termica dalle acque reflue può contribuire significativamente al conseguimento della neutralità energetica del settore dei servizi idrici. L'applicazione di tecnologie per il recupero è una soluzione di rilevante interesse per favorire la transizione verso nuovi sistemi energetici e far fronte alle sfide del cambiamento climatico. Partendo da un caso studio relativo alla fognatura di Bologna, il presente lavoro discute i possibili approcci e gli effetti potenziali di tale recupero energetico sull'efficienza dei processi di trattamento delle acque reflue.

DOI 10.12910/EAI2023-017

di **Davide Mattioli**, **Gianpaolo Sabia**, *Laboratorio T4W - Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA*, **Margherita Altobelli**, **Marco Maglionico**, *Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali*

I Gestori del Sistema Idrico Integrato sono sempre più concentrati sui consumi energetici, identificando ed esplorando le potenzialità di recuperi e riutilizzo nei propri sistemi, in ottica di efficientamento e riduzione dei costi di gestione. L'applicazione di tecnologie per il recupero dell'energia idrotermica dalle acque reflue risulta essere attualmente una soluzione di rilevante interesse, per favorire la transizione verso nuovi sistemi energetici e far fronte alle sfide imposte dai processi connessi al cambiamento climatico.

Le acque reflue municipali contengono una quantità di energia idrotermica recuperabile 2,5 volte più elevata rispetto all'energia chimica immagazzinata come COD. Una valutazione di massima della disponibilità di energia termica relativa al settore depurativo italiano, basata sul dato di portata stimato di circa 9,8 miliardi di m³ di reflui per anno, nell'ipotesi di un salto termico di 5°C, 24 ore al giorno, 365 giorni

all'anno, porta ad un valore di circa 200 PJ, corrispondenti a quasi il 15% del mercato complessivo di energia termica in Italia per edifici residenziali e servizi. In ottica di recupero del calore dalle acque reflue sono perseguibili più approcci sulla base del punto e della scala di intervento. In particolare, l'implementazione di soluzioni tecnologiche per il recupero dell'energia idrotermica può avvenire a scala locale (all'interno dell'edificio), a scala interme-

dia (lungo i collettori principali), a larga scala (a valle dell'impianto di depurazione). Ciò è possibile perché le acque reflue sono un vettore di energia che nasce negli edifici e termina a valle del depuratore, prima che le acque siano restituite all'ambiente. Infatti, l'acqua riscaldata, prodotta in ambito domestico, viene scaricata ancora calda nei collettori fognari e le temperature che si possono registrare variano da 15°C a 25°C durante tutto il corso dell'anno

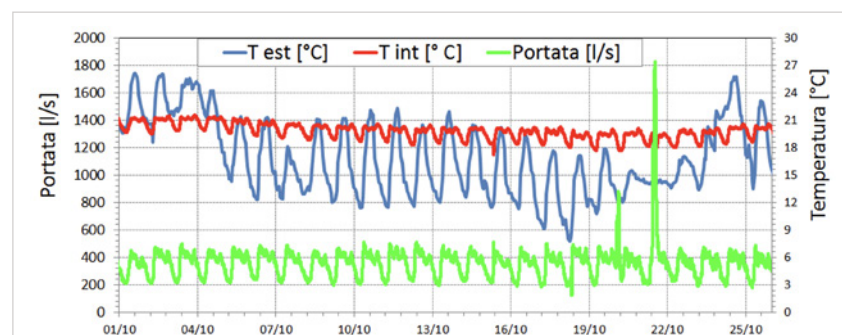


Fig. 1 - Rappresentazione dell'andamento della temperatura dell'aria esterna (T_{est}), della temperatura del refluo (T_{int}) e della portata (medie orarie) registrate in un collettore della rete fognaria della città di Bologna nel mese di ottobre, che evidenziano i cicli di variabilità giornaliera sia delle temperature che delle portate.

(Fig. 1). La perdita di energia termica attribuibile alle acque reflue è pari al 15% dell'energia termica complessivamente fornita all'edificio e tale valore può salire fino al 30% negli edifici ben coibentati. Gli elementi essenziali di un impianto di recupero dell'energia idrotermica sono costituiti da uno scambiatore, che consente lo scambio di calore tra due fluidi a differente temperatura senza che ci sia contatto diretto e una pompa di calore, che permette di estrarre energia termica da una sorgente a bassa temperatura (in questo caso l'acqua proveniente dallo scambiatore), utilizzando energia elettrica. Le pompe di calore usualmente utilizzate in questi sistemi sono caratterizzate da un COP (Coefficient Of Performance) fino a 4,5. Ciò significa che per ogni 4,5 kWh trasmessi al sistema di climatizzazione la pompa di calore consuma 1 kWh di elettricità. In accordo con l'UCPTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity in Europa) 1 kWh di energia elettrica corrisponde a 2,5 kWh di energia primaria prodotta a partire da fonti fossili. **Appare quindi evidente come le emissioni di CO₂ derivanti da sistemi alimentati da fonti fossili siano notevolmente superiori a quelle riconducibili a un sistema di recupero del calore da acque reflue.**

Le attività di ricerca

Il laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui T4W di ENEA, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali dell'Università di Bologna, nell'ambito del progetto Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali (Accordo di Programma MiSE-ENEA, PTR 2019-2021) ha svolto un'attività di ricerca nell'ipotesi di predisporre sistemi di recupero del calore a scala intermedia,

prendendo a riferimento la **rete fognaria della città di Bologna**. Nello specifico, sono state condotte valutazioni sulla **potenzialità energetica della rete fognaria** considerata^[1] e sono stati indagati gli effetti delle conseguenti escursioni termiche sulle performance depurative degli impianti di depurazione^[2]. **I parametri fondamentali per valutare il potenziale di recupero di calore dalle acque reflue in fognatura sono essenzialmente: la temperatura del suolo, la portata e la temperatura del reflu.** Dall'analisi di sensitività dei diversi fenomeni coinvolti, svolta con il software TEMPEST^[3], sviluppato da Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, per calcolare le dinamiche e i profili spaziali longitudinali della temperatura delle acque reflue nelle fognature, è emerso che i parametri più significativi che influenzano la temperatura del reflu, a parità di condizioni climatiche esterne, sono: il materiale della condotta, la temperatura e le proprietà termiche del suolo. In particolare, le proprietà

del suolo condizionano evidentemente le modalità di propagazione del calore dall'ambiente esterno al collettore fognario, ma anche dal collettore verso l'ambiente esterno. Analogamente, la profondità a cui è posato il collettore influenza tali scambi termici.

Si è scelto di rappresentare, attraverso mappe di potenzialità dei sistemi fognari, la capacità di recupero di energia termica dalle acque reflue; per l'implementazione delle mappe è stato utilizzato il software QGIS, che ha consentito la raccolta dei dati relativi a tutte le caratteristiche della rete e del territorio, il calcolo dei parametri inerenti alla metodologia sviluppata e la loro rappresentazione. I dati relativi alla rete fognaria di Bologna ed alle portate di tempo secco sono stati ricavati dal modello idraulico, realizzato con il software open source SWMM 5 distribuito dall'US-EPA^[4].

Nell'immagine di Fig. 2 si è riportata la mappa relativa all'indice di potenzialità energetica (PE).

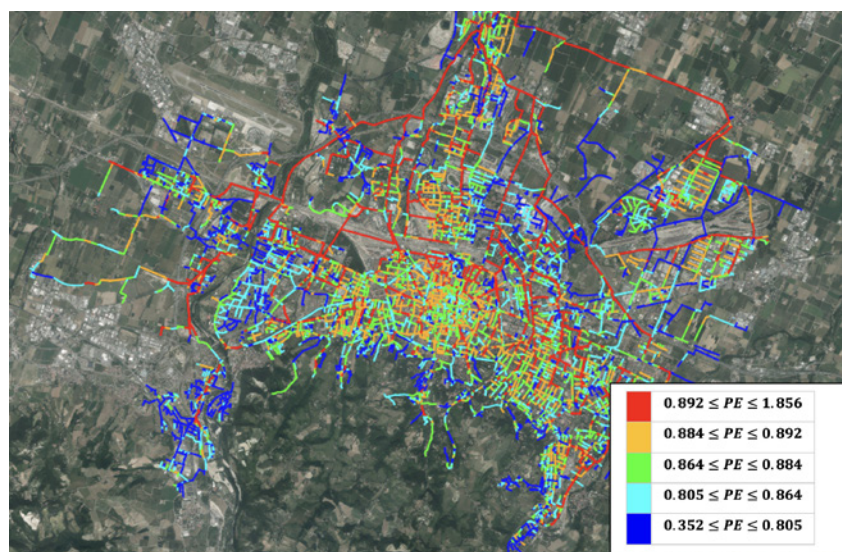


Fig. 2 - Indice di potenzialità energetica (PE) rappresentato attraverso il software QGIS per la fognatura della città di Bologna. I diversi colori evidenziano le differenti potenzialità dei vari collettori che costituiscono il reticolo drenante.

Le mappe di potenzialità energetica

Le mappe di potenzialità energetica permettono la visualizzazione immediata delle condotte fognarie maggiormente idonee all'installazione della tecnologia per il recupero del calore dalle acque reflue, tenendo conto dei parametri che maggiormente ne influenzano l'efficienza. Attraverso l'introduzione di tali mappe mirate alla semplificazione del processo di identificazione dei collettori più idonei, si vuole semplificare ed accrescere l'applicabilità di tali tecnologie, al fine di migliorare il bilancio energetico del ciclo idrico urbano. **Date le potenzialità di recupero di energia termica dalle acque reflue in fognatura, è necessario valutare l'effetto della diminuzione della temperatura delle acque reflue immesse nella rete fognaria.** Per questo è stato esaminato l'impatto sulle prestazioni degli impianti di depurazione, tramite approccio modellistico, in termini di tassi di **rimozione del carico di azoto**. Sono stati utilizzati differenti software in serie per la simulazione di scambi termici delle acque reflue nella rete fognaria e nelle vasche di impianti di depurazione e per l'analisi degli andamenti dei processi biologici di nitrificazione e denitrificazione responsabili della rimozione dei carichi azotati. Lo scambio di calore nei collettori fognari, tra le acque reflue e l'ambiente, è stato

studiato tramite l'impiego del già citato software TEMPEST, mentre per il calcolo della variazione netta di temperatura delle acque reflue nelle vasche di trattamento dell'ID si è utilizzato il codice di calcolo "Basin Temperature" sviluppato da ricercatori dell'University of California, dell'Università di Firenze e del Politecnico di Milano^[5]. Le simulazioni hanno permesso di calcolare le variazioni termiche nei diversi mesi dell'anno, dipendenti soprattutto dalla differenza tra la temperatura dei reflui e la temperatura del suolo. I risultati hanno consentito di verificare come, in presenza di recupero termico in fognatura, in virtù delle temperature mediamente più basse dei reflui fognari, lo scambio termico tra reflui terreno determina un limitato riscaldamento netto dei reflui per tutto il periodo invernale. Successivamente, il software BioWin 6.0 sviluppato da EnviroSim Associates Ltd^[6] è stato utilizzato per la simulazione di un impianto di depurazione standard di media potenzialità prevedendo per il comparto biologico vasche anossiche e aerobiche in serie, con ricircolo della portata areata, in modo da analizzare l'effetto delle variazioni termiche stagionali dei reflui sul metabolismo dei batteri ammonio e nitrito ossidanti e denitrificanti. Dai risultati ottenuti è stato possibile verificare come, per il range di variazione di temperatura calcolato, l'entità degli effetti

sul metabolismo batterico risulta principalmente connesso ai tempi medi complessivi di permanenza dei fanghi nel comparto biologico (i.e. SRT Sludge Retention Time). Per impianti con SRT < 20 giorni, come la maggior parte degli impianti di denitrificazione-nitrificazione esistenti, vi sono significativi effetti di inibizione della nitrificazione con implicite riduzioni dei tassi di rimozione dei carichi azotati. Lo studio ha evidenziato come, per questo tipo di impianti, in alternativa al recupero di energia termica in fognatura, il recupero termico a valle dello scarico sia da preferire, giacché in tale casistica non sono richiesti interventi di modifica strutturale e le rese energetiche sono solo leggermente inferiori. Tale differenza modesta è inoltre controbilanciata dalla migliore qualità dell'acqua in uscita all'impianto di depurazione, che facilita la gestione dello scambiatore di calore, meno soggetto a processi di sporco, e dalle minori variazioni di portata. **In merito all'utilizzo dell'energia generata, occorre valutare attentamente quale sia la domanda in prossimità dell'impianto di depurazione. Qualora l'ID abbia un SRT maggiore di 20 giorni, invece, il recupero di calore direttamente dalla fognatura è un'opzione valida, che può essere considerata.**

per info: davide.mattioli@enea.it

Riferimenti:

1. Maglionico M. Altobelli M. (2021) Recupero del calore dalle acque reflue Report RdS/PTR2020
2. Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Di Fabio S., Granieri M., Nuzzi R., Langone M., Farina R. (2021). Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione. Report RdS/PTR2021/185
3. Dürrenmatt, D. J., & Wanner, O. (2008). Simulation of the wastewater temperature in sewers with TEMPEST. *Water Science and Technology*, 57(11), 1809-1815. doi:10.2166/wst.2008.291
4. Rossman, L. Storm Water Management Model; User's Manual; 2015;
5. S. Lippi, D. Rosso, C. Lubello, R. Canziani, and M. K. Stenstrom, "Temperature modelling and prediction for activated sludge systems," *Water Sci. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 125-131, 2009, doi: 10.2166/WST.2009.587;
6. EnviroSim Associates LTD. Available online: <http://envirosim.com/products/biowin>.

Soluzioni per la gestione sostenibile dell'acqua nel settore agroalimentare

La gestione della risorsa idrica nel contesto delle politiche di adattamento e mitigazione richiede una visione integrata della filiera di approvvigionamento, uso e recupero e la capacità di intervenire a monte e a valle del ciclo idrico con soluzioni specifiche. Le opzioni tecnologiche ed i sistemi per il risparmio, l'efficienza ed il recupero e riciclo sono numerose ed in questo articolo sono brevemente descritte alcune delle attività di ricerca e trasferimento tecnologico svolte nella divisione che in ENEA si occupa delle filiere agroalimentari per evidenziare gli approcci sviluppati in progetti nazionali ed internazionali.

DOI 10.12910/EAI2023-018

di **Nicola Colonna**, *Divisione Biotecnologie e Agroindustria, ENEA*, **Giuseppe Di Natale**, **Ilario Piscioneri**, **Daniele Pizzichini**, **Claudio Russo**, *Laboratorio Bioprodotto e Bioprocessi, ENEA*

Le stime di autorevoli istituti internazionali predicono che la domanda mondiale di energia e di acqua aumenterà entro il 2050, così come incrementerà la domanda alimentare. A livello globale, è verosimile che crescita demografica, sviluppo economico e cambiamenti climatici insieme accelerino la concorrenza per l'acqua, l'energia ed il cibo e che a livello locale si creino conflitti d'uso diffusi soprattutto nei casi di carenza idrica prolungata connessa ai cambiamenti climatici.

Il settore agroalimentare è chiamato a partecipare allo sforzo per mitigare e prevenire l'insorgere di tali fenomeni e nello stesso tempo ad adattarsi modificando colture, metodi di coltivazione e sistemi di approvvigionamento e di impiego delle risorse idriche. La filiera agroalimentare nel suo complesso, dal campo alla tavola, consuma grandi quantità di acqua di ottima qualità e vi è bisogno di mettere in atto, a monte, misure per raccogliarla e conservarla, diminuire i consumi

ed efficientarne l'uso e a valle, promuoverne recupero e riciclo. La fase agricola della filiera agroalimentare è quella che in modo diretto e più evidente risente degli effetti della carenza idrica e nei primi anni del nuovo millennio abbiamo osservato anche nel nostro paese il ripetersi di episodi di siccità o carenza prolungati (anni 2003, 2017, 2022). I danni provocati alla nostra agricoltura sono stati rilevanti in termini economici e sono stati osservati numerosi conflitti locali per gli usi competitivi della risorsa.

Nella Divisione Biotecnologie ed Agroindustria di ENEA alcune linee di ricerca, sviluppate in progetti nazionali ed internazionali, affrontano alcuni dei temi rilevanti della filiera di approvvigionamento ed uso della risorsa idrica. Il filo conduttore di tali progetti è l'innovazione ed il suo trasferimento al sistema produttivo attraverso azioni di analisi, sviluppo tecnologico, test e diffusione dell'informazione tutte realizzate nell'ottica dell'interconnessione (NEXUS) tra energia, acqua e produzione di

cibo e al fine di aumentare la resilienza del nostro sistema agroalimentare. Ne descriviamo brevemente tre che sono idealmente collocabili da monte a valle e rispondono a tre differenti imperativi per una gestione sostenibile della risorsa acqua: conservare, ottimizzare, recuperare.

Raccolta e conservazione di acque meteoriche per usi multipli

La disponibilità della risorsa idrica è strettamente connessa al contesto orografico e climatico di una specifica area ed è variabile nel tempo e nello spazio. La realizzazione e diffusione di sistemi di raccolta e conservazione idrica, di costo limitato e realizzati con tecnologie semplici, costituisce un mezzo per aumentare la resilienza dell'agricoltura in molte aree dove la scarsità idrica è una realtà o un rischio rilevante nell'immediato futuro. Tali soluzioni che ENEA ha contribuito a progettare e realizzare in Paesi in via di sviluppo nell'ambito delle attività di cooperazione internazionale con il Ministero dell'Ambiente e della Si-



Impianto fotovoltaico flottante su bacino idrico (Comunità irrigua di Merida, Extremadura, Spagna).

curezza Energetica (Krihsnapillai et al., 2018), sono valide soluzioni, se opportunamente adattate, anche nel nostro paese. Il collettamento di acqua dai tetti o da superfici naturali, associato a sistemi di filtraggio e stoccaggio idrico, di diversa ampiezza e manifattura, offre una opportunità scalabile, efficace ed a basso costo, integrabile anche con sistemi di pompaggio manuali o alimentati da pannelli fotovoltaici per assicurare l'acqua nelle stagioni o nelle aree con scarsità di precipitazioni.

I tradizionali laghetti collinari, largamente diffusi nell'Italia centrale, gli invasi artificiali o i serbatoi possono svolgere molteplici funzioni a servizio dell'impresa agricola e del territorio e contribuire alla positiva sinergia tra acqua e cibo aumentando quella sicurezza che produce certezza della produzione e stabilità economica.

Tali sistemi, concettualmente semplici ed usati sin dai tempi antichi, possono essere aggiornati attraverso l'integrazione di tecnologie note ed affidabili come ad esempio

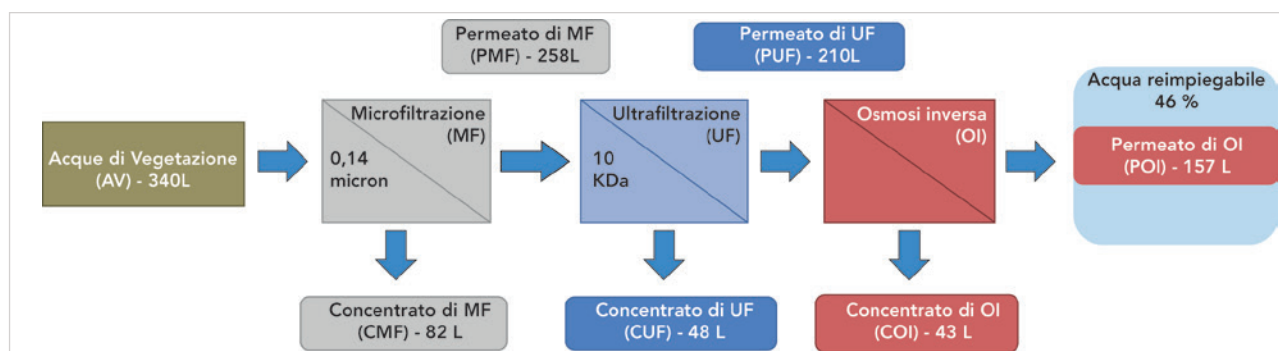
il fotovoltaico galleggiante che da una parte diminuisce l'evaporazione dell'acqua e dall'altra migliora l'efficienza di produzione dell'energia per il naturale raffreddamento dei moduli e alimenta le pompe che consentono di mettere in pressione l'acqua e distribuirla per irrigazione. Affidabilità, facilità di gestione e manutenzione, automazione e controllo a distanza sono gli elementi che consentono ad una soluzione "semplice" di fornire servizi essenziali al settore della produzione primaria.

Uso razionale della risorsa idrica in agricoltura

In agricoltura, la gestione razionale della risorsa idrica è legata allo sviluppo e diffusione delle tecnologie di controllo e gestione dei sistemi di irrigazione e di fertirrigazione. Nelle aziende agricole moderne per ottimizzare l'impiego dell'acqua è necessario implementare sistemi automatizzati di controllo dell'irrigazione **trasferendo le conoscenze e le soluzioni dal mondo della ricerca a quello dell'impresa.**

Per un'irrigazione di precisione è necessario tenere in considerazione diversi parametri tra cui le condizioni atmosferiche, la natura del substrato e le sue caratteristiche fisiche e biochimiche, la specie coltivata e la sua fase fenologica (Oliveira da Silva et al., 2020). I dati raccolti devono essere elaborati rapidamente, in tempo reale, in quanto per alcune colture (ad esempio quelle fuori suolo) sono richiesti più interventi al giorno e sbagliare la turnazione o le tempistiche può compromettere la produttività attesa.

Attualmente con tecnologie quali: sensori in grado di rilevare conducibilità e pH, previsioni meteo aggiornate in tempo reale e sistemi GIS, è possibile caratterizzare ogni territorio (azienda) e disporre di dati per elaborazioni e simulazione di scenari. Inoltre per l'acquisizione dei dati non è più necessario spostarsi fisicamente e le informazioni raccolte da sensori, droni, satelliti possono essere convogliate a distanza su smartphone, tablet o PC o resi disponibili sul cloud. Un problema



Layout di un processo di trattamento mediante tecnologie di membrana delle acque di vegetazione (Elaborato da: Russo e Pizzichini).

importante è l'interpretazione dei dati che spesso risultano in eccedenza rispetto alle necessità, a tal proposito vengono utilizzati software o app che elaborano in automatico gli indici necessari e richiedono da parte dell'agricoltore una semplice supervisione di controllo.

Sistemi di irrigazione smart capaci di 'dialogare' con l'agricoltore, sensori hi-tech per il controllo da remoto dei parametri del suolo e protocolli di gestione idrica sono solo alcune delle novità che contribuiscono a rendere effettiva ed efficace l'agricoltura 4.0 (Giannocaro et al., 2020). Il progetto TRAS. IRRI.MA, cui l'ENEA partecipa in Basilicata, ha proprio lo scopo di trasferire le conoscenze agli agricoltori affinché tali soluzioni siano adottate e si diffondano. Investire su tali tecnologie innovative permette di realizzare un tipo di agricoltura più vicina ai modelli gestionali tipici di altri settori produttivi ed introdurre miglioramenti continui ai fini di garantire una maggiore competitività dell'impresa ed una migliore qualità dei prodotti finali.

Recupero di acque di processo nel settore agroalimentare

La gestione sostenibile della risorsa acqua, con il riutilizzo tal quale, per mezzo di soluzioni tecnolo-

giche o attraverso cicli di depurazione rappresenta una priorità nel settore dell'industria agroalimentare. Tra le tecnologie separative che possono essere impiegate per trattare le acque al fine di un loro parziale o integrale riuso, le **tecnologie di filtrazione tangenziale a membrana** sono tra le più promettenti. Queste si basano sull'impiego di filtri semipermeabili attraverso i quali, sotto una forza spingente, è possibile ottenere la separazione di componenti sospese, o in soluzione, in funzione delle loro caratteristiche dimensionali e/o chimico-fisiche. Le tecnologie di membrana sono tecniche pulite, operanti senza l'utilizzo di solventi e reagenti chimici, modulari e di semplice utilizzo, con consumo energetico legato alla tipologia di processo e alle condizioni operative ma generalmente ridotto, compreso tra 1 e 7 kWh/m³ prodotto.

ENEA è impegnata da anni in attività volte all'ottimizzazione del processo di produzione di acqua osmotizzata e alla definizione di processi di trattamento dei reflui agroalimentari che prevedano, a fianco dell'estrazione di componenti ad alto valore aggiunto, il recupero ed il riutilizzo dell'acqua. Presso i nostri laboratori è in corso una esperienza, nell'ambito dei progetti POC (proof of concept), tesa allo sviluppo di un

sistema di pompaggio innovativo per sistemi di dissalazione basati sull'osmosi inversa (POC 20236).

Il processo di osmosi inversa (OI) consente di rimuovere sali e contaminanti dall'acqua applicando una pressione crescente sulla soluzione da trattare (feed) spingendola sul filtro semipermeabile costituito dalla membrana stessa. Il risultato è che la quasi totalità dei soluti vengono trattenuti nella frazione del concentrato sul lato pressurizzato della membrana, mentre il prodotto, costituito dall'acqua deprivata di sali e impurezze ("permeato") può passare all'altro lato e costituisce l'acqua destinata alla potabilizzazione.

Questo processo richiede molta energia e viene realizzato tramite pompe ad alti regimi pressori (70-80 bar). Il 90% del dispendio energetico totale di tali processi è imputabile ai sistemi di pompaggio. La maggior parte dell'energia fornita al fluido, in termini di pressione e portata (~60%) viene perduta con il concentrato e per tale ragione i sistemi OI sono spesso integrati con dispositivi di recupero dell'energia (energy recovery devices, ERD). Il progetto POC si propone di realizzare un dispositivo di pompaggio originale basato su una valvola oleodinamica rotante e su un sistema di recupero energetico collegato, in grado

di recuperare l'energia dispersa nel concentrato di osmosi e restituirla al sistema di pompaggio riducendo in tal modo i consumi energetici legati alla dissalazione e alla produzione di acqua per il consumo umano.

Tra le attività svolte nel settore agroalimentare alcune tra le più significative esperienze sono state condotte nel frazionamento di reflui complessi al fine di separare composti di interesse. Nel settore lattiero caseario, ad esempio, con tecniche di filtrazione tangenziale a membrana è possibile frazionare gli "scarti" di produzione (siero di latte e/o scotta) nelle loro principali componenti: proteine, carboidrati, sali ed acqua.

Analogamente le acque di vegetazione olearie (AV), possono essere trattate con le tecnologie di membrana per recuperare la componente organica, il contenuto polifenolico e l'acqua (Pizzichini et al., 2010). In entrambi gli esempi l'acqua, "animale" dal siero/scotta o "vegetale" dalla AV, costituisce circa il 40-60% dei reflui, viene recuperata e può essere impiegata nel settore alimentare, in cicli di processo o a fini irrigui. Tali soluzioni sono ormai industrializzate e se diffuse e applicate su ampia scala oltre a garantire un recupero di composti chimici naturali, utili in vari settori merceologici, consentono un significativo risparmio idrico.

I tre esempi di attività di sviluppo e trasferimento tecnologico in cui l'ENEA è impegnata sono la dimostrazione che la resilienza del sistema agroalimentare ai cambiamenti climatici e la risposta ai fenomeni in atto passano necessariamente dalla messa a punto di soluzioni "adatte" capaci di dare risposta alle esigenze di conservare, risparmiare e recuperare acqua lungo le filiere produttive. Tutto ciò nella convinzione che ogni attore della filiera deve essere coinvolto e messo a conoscenza al fine di implementare nella propria azienda soluzioni integrate per la miglior gestione dell'acqua.

per info: nicola.colonna@enea.it

Bibliografia

- Giannoccaro N. I., Persico G., Strazzella S., Lay-Ekuakille A., Visconti P., 2020. A System for Optimizing Fertilizer Dosing in Innovative Smart Fertigation Pipelines: Modeling, Construction, Testing and Control. Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing. 21. 10.1007/s12541-020-00349-1.
- Krihnapillai M., Velardi M., Caminiti N.M., Colonna N., 2018. Water and food security under a climate change scenario in the Pacific Small Island Developing States. EAI, 3/2018, pp 96-101, DOI:10.12910/EAI2018-065
- Oliveira da Silva A., Aires da Silva B., Souza F. C., deAzevedo B.M., Bassoi L., Vasconcelos D., Bonfim G., Manzano J., Dos Santos. A. F., Carneiro F., 2020. Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision. Revista Ciencia Agronomica. 51. 10.5935/1806-6690.20200090.
- Pizzichini M., Russo C., Pizzichini D., Vitagliano M., 2010. New olive mill wastewater process to eliminate the environmental load and to recover several fine chemicals as poliphenols and purified water. 2nd International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management, Volume 3, 2010.

L'utilizzo sostenibile della risorsa idrica e la tutela delle acque interne

L'importanza della tutela delle risorse idriche e degli ecosistemi che le sostengono appare quanto mai vitale alla luce della siccità che sta caratterizzando anche vasti territori del nostro paese. È evidente quanto gli ecosistemi acque interne siano bersagli elettivi delle pressioni determinate dai cambiamenti climatici ed anche ambiti di importanza cruciale per il mantenimento di Servizi Ecosistemici fondamentali che si potranno conservare solo tutelando la rilevantissima biodiversità che li caratterizza e ne garantisce la resilienza. ENEA contribuisce agli obiettivi di tutela ecosistemica e sviluppo sostenibile, in costante relazione con gli Enti e le Amministrazioni locali, con ricerche e progetti volti a definire politiche di governance, a promuovere l'uso sostenibile delle risorse idriche ed a mettere in atto processi di riqualificazione ambientale.

DOI 10.12910/EAI2023-019

di **Maria Rita Minciardi, Simone Ciadamidaro, Maria Sighicelli**, Laboratorio di Biodiversità e servizi ecosistemici; **Sonia Manzo**, Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale, **Giovanna Armiento**, Responsabile Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale - ENEA

La nascita e lo sviluppo delle civiltà sono sempre stati strettamente dipendenti dalla disponibilità di acqua; l'evoluzione di molte civiltà dell'antichità è derivata proprio dalla costituzione di forme di governo necessarie per la definizione e la regolazione di sistemi e reti di distribuzione delle acque che permettessero attività agricole. **Per comprendere meglio il valore della risorsa idrica si possono riportare alcune semplici considerazioni quantitative: quasi l'80% della superficie del nostro pianeta è ricoperta d'acqua, ma il 96% è acqua salata; la restante (l'acqua dolce), è suddivisa in 1,7% di acque sotterranee, 1,6% di acqua dolce allo stato solido e solo 0,2% di acque superficiali. È evidente quindi che, in molte regioni del nostro Paese ce ne stiamo rendendo conto dopo le forti criticità della scorsa estate, l'acqua pulita e disponibile per le necessità umane è un bene finito.** Più della metà della popolazione

mondiale ha problemi legati alla carenza idrica per almeno un mese all'anno e nell'ultimo Report UN Water si stima che entro il 2040 saranno almeno 20 le nuove nazioni che si aggiungeranno ai Paesi che soffrono già di periodiche crisi idriche.

Per l'Onu, l'acqua è un cardine ambientale, sociale ed economico

L'importanza della disponibilità dell'acqua è sancita dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, che già il 28 luglio 2010 ha adottato la Dichiarazione A/64/L.63 che riconosce l'accesso all'acqua potabile pulita e sicura come un diritto umano essenziale per il pieno godimento della vita e degli altri diritti umani. **Tra i 17 goals dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (UN, 2015), l'obiettivo n°6 "acqua pulita e servizi igienico-sanitari" risulta essere basilare e compreso tra gli obiettivi inerenti la biosfera (assieme agli obiettivi 13, 14 e 15)**

nella visione gerarchica degli obiettivi di sviluppo sostenibile proprio perché cardine ambientale, sociale ed economico dello sviluppo sostenibile (Rockström & Sukhdev, 2016; MATTM, 2018).

La presenza di acqua è, inoltre, un fattore determinante nella regolazione del clima e, d'altro canto, la disponibilità della risorsa è particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici. I report dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) evidenziano come nei prossimi decenni i cambiamenti climatici costituiranno una sfida per la gestione delle risorse idriche per buona parte del territorio dell'UE. L'European Drought Observatory, nell'ambito del Programma Europeo Copernicus, nel rapporto "Droughts in Europe" (Toreti et al., 2022) evidenzia come nel 2022 una grave siccità abbia colpito vaste aree dell'Europa, con specifico riferimento ai bacini idrografici del Po e del Danubio. L'estate del 2022 ha evidenziato

quanto possa essere problematico fronteggiare i problemi di una stagione particolarmente calda e seccata dopo un inverno e una primavera che hanno visto, in molta parte d'Italia, minimi storici in termini di piovosità. I cambiamenti climatici si stanno manifestando in maniera inclemente e con una velocità che è superiore a gran parte delle tempistiche di adattamento. Non sono solo l'acqua e la possibilità di un suo uso i valori che sono messi in pericolo: oltre che da una non adeguata gestione della risorsa idrica, è minacciato il complesso degli ecosistemi acquatici e ripari delle acque interne, delle acque di transizione e di quelle marino-costiere. **La Strategia europea della Biodiversità al 2030 (EC, 2021), la Lista Rossa degli Ha-**

bitat Europei (EC, 2016), l'Agenda per lo sviluppo sostenibile al 2030 (Nazioni Unite, 2015), il secondo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia (MATTM, 2018) sono concordi nell'individuare gli ecosistemi di acqua dolce, dal livello nazionale a quello planetario, tra gli ecosistemi a maggior biodiversità e, al contempo, tra quelli più minacciati e a maggior rischio di alterazione e riduzione.

Le pressioni derivanti dai cambiamenti climatici

A livello nazionale, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MASE, 2022) evidenzia come l'impatto del cambiamento climatico possa essere rilevante sullo stato ecologico dei

corpi idrici. Il mantenimento stesso della possibilità di usufruire della risorsa acqua è strettamente dipendente dal mantenimento in un adeguato stato di integrità degli ecosistemi acquatici e ripari; infatti, solo una buona funzionalità ecosistemica dei corpi idrici terrestri può garantire che perdurino funzioni ecosistemiche quali la ricarica delle acque di falda, la mitigazione degli eventi di piena rispetto ai territori circostanti, i processi di autodepurazione e quelli tampone nei confronti di fonti di inquinamento diffuse e puntuali, la continua creazione e il mantenimento di habitat che supportino comunità acquatiche e ripari tali da garantire livelli adeguati di biodiversità. **Il mantenimento di adeguati livelli di biodiversità deve**



Figura 1. Il torrente Orco in Piemonte è alimentato principalmente dall'acqua di scioglimento delle nevi alpine e dagli ultimi ghiacciai del Gran Paradiso. Gli habitat acquatici e ripari, visibili in foto, sono messi a serio rischio dalla siccità prolungata degli ultimi anni che ha fortemente ridotto l'innnevamento.

essere una finalità delle politiche di tutela ed è, al contempo, garanzia di funzionalità ecosistemica e, di conseguenza, garanzia che si possa continuare ad usufruire di tutti i Servizi Ecosistemici che gli ambienti fluviali e lacustri ci offrono e di cui abbondantemente usufruiamo. Va sottolineato che non solo è nostro **dovere etico garantire la sopravvivenza delle comunità animali e vegetali** che popolano (e popolavano) i nostri fiumi e laghi, ma è anche nostro interesse, perché **la biodiversità è fondamentale garanzia di resilienza dei nostri territori.**

Le pressioni derivanti dai cambiamenti climatici in atto non determineranno lo stesso tipo e la stessa entità di impatto nelle diverse regioni ed aree del pianeta. Da quanto si è potuto rilevare negli ultimi anni, si prevede che le regioni mediterranee, e in particolare le zone montane del mediterraneo e gli ambienti di acque interne, saranno tra gli ambiti in cui si registreranno gli impatti più importanti.

Il complesso delle pressioni derivanti dai cambiamenti climatici agisce sui territori di pertinenza dei corpi idrici fluviali non solo in ragione degli effetti sulle portate (in termini di periodicità e intensità) o sui fenomeni di trasporto solido, ma anche amplificando impatti derivanti da cause diverse, quali l'eutrofizzazione delle acque e la diffusione di specie aliene invasive, favorite dall'incremento delle temperature. Inoltre, i cambiamenti climatici inducono incrementi dei prelievi idrici (quali quelli a scopo irrigui) ed in genere di uso della risorsa idrica (ad esempio a scopo idroelettrico). Tutto ciò avviene in un contesto di pesante antropizzazione che purtroppo caratterizza i territori fluviali e la maggior parte di quelli in prossimità dei laghi, il che amplifica ulteriormente sia l'in-

tensità delle pressioni sia l'entità dei danni potenziali che possono essere arrecati alle persone, alle infrastrutture, alle attività produttive.

Per far fronte a questa situazione, l'individuazione di ambiti in cui sia possibile ricreare nuove aree naturali, tutelando quelle esistenti e realizzando progetti che possano aumentarne la naturalità, permetterebbe di tutelare e incrementare la biodiversità; ciò è fondamentale per aumentare la resilienza dei territori e si pone come misura di adattamento ai cambiamenti climatici ma anche, costruendo nuovi ambienti naturali che possano stoccare CO₂, come efficiente misura di mitigazione.

La Direttiva acque

La certezza che la tutela degli ecosistemi sia assolutamente necessaria per la tutela della risorsa idrica ha condotto l'Unione Europea, già nel 2000, a porre la tutela degli ecosistemi come centrale per la Direttiva "Acque", attraverso la scelta di valutare, oltre allo stato chimico, lo stato ecologico dei corpi idrici attraverso l'uso di comunità biologiche indicatrici vegetali ed animali che possano, con il loro stato, riassumere ed indicare il "livello di salute" degli ecosistemi fluviali, lacustri, di transizione e marini. **Dal recepimento della Direttiva "Acque" (con il D. lgs. 260/2006), anche in Italia i corpi idrici sono routinariamente monitorati attraverso le comunità vegetali e animali, che negli anni hanno dato importanti indicazioni non solo in termini di qualità delle acque, ma anche di caratterizzazione della biodiversità degli ecosistemi e relativamente ad un loro uso sostenibile.** Prima della Direttiva "Acque", anche le Direttive "Uccelli" ed "Habitat" (note nel loro insieme come Direttive "Natura") hanno posto l'accento sulla necessità di tutela e monitoraggio di ambienti acquati-

ci, palustri e ripari di particolare valore per la tutela di specie ed Habitat specifici considerati di pregio per la conservazione della biodiversità a livello continentale. Ad ulteriore riprova dell'enorme valore e della necessità di protezione che caratterizza gli ambienti acquatici e palustri, quasi il 25% dei Siti della Rete Natura 2000 (ZPS, SIC, ZSC) a livello europeo è composto da siti ricadenti in questa categoria di ambienti; ciò ad ulteriore conferma di quanto la tutela della biodiversità dipenda dalla tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica e della rete di ecosistemi acquatici.

Le Direttive "Natura" ed "Acque" non sono gerarchicamente ordinate e devono coordinarsi reciprocamente sia nella tutela sia nelle attività di caratterizzazione e monitoraggio.

Per una più efficiente tutela degli ambienti acquatici e ripari, tra gli obiettivi fondamentali per il futuro devono essere compresi sia un efficiente approccio integrato all'applicazione delle diverse normative di riferimento sia la costante ricerca di metodologie di caratterizzazione e monitoraggio che possano, nel tempo, fornire modalità di lettura sempre più approfondite per accertare lo stato degli ecosistemi.

Il contributo di ENEA dallo sviluppo delle conoscenze al governo del territorio

Il breve excursus compiuto permette comunque di cogliere la complessità delle tematiche da affrontare nonché delle sfide con cui misurarsi.

ENEA ha contribuito e contribuisce, dal livello nazionale a quello europeo, con ricerche e progetti che si pongono l'obiettivo di definire politiche di governance, di promuovere la gestione sostenibile delle risorse idriche e dei territori fluviali, di mettere in atto processi di riqualificazione ambientale, di

tutelare al meglio i Siti Natura 2000 che ospitano ambienti acquatici e ripari, di definire metodologie di caratterizzazione e monitoraggio dei corpi idrici, con la finalità di “leggere” sempre meglio ed in maniera integrata i dati che vengono dalle diverse attività di monitoraggio e di individuare nuove minacce che impattano sugli ecosistemi, dalle pressioni esercitate dai cambiamenti climatici ai nuovi inquinanti.

Tratto comune e distintivo delle attività di ENEA in questi settori è stato ed è la costante relazione con gli Enti e le Amministrazioni che hanno compiti in materia: dal Ministero dell’Ambiente, alle Autorità di Distretto, Regioni, Province e Città Metropolitane, Enti Gestori di Aree Protette e Siti Natura. Tutti i progetti hanno avuto come riferimento il riconoscimento della necessità di avere un approccio integrato che considerasse l’insieme dei valori e delle criticità presenti sul territorio.

L’applicazione del D.lgs. 260/2006, di recepimento della Direttiva “Acque” in Italia, ha previsto il supporto al Ministero dell’Ambiente (nelle sue diverse denominazioni) da parte di Enti di Ricerca nazionali, tra cui l’ENEA, per definire metodologie di analisi delle comunità indicatrici, per partecipare al processo di intercalibrazione europea dei metodi adottati e per validare e migliorare le metodologie inserite nella normativa di riferimento. Rispetto all’elemento di Qualità Biologica delle Macrofitte, ENEA è referente nazionale per i corsi d’acqua ed ha, inoltre, supportato e supporta le ARPA regionali nello sviluppo di conoscenze inerenti la vegetazione dei corsi d’acqua. **La vocazione alla proposizione di un approccio integrato alla valutazione e gestione dei corsi d’acqua che ENEA ha sviluppato negli ultimi due decenni si è concretizzata e si sta concretizzando anche in progetti che hanno come obiettivo l’applicazio-**

ne integrata delle Direttive “Natura”, “Acqua” ed “Alluvioni” sia attraverso azioni di governance sia attraverso la progettazione di interventi di riqualificazione attraverso l’uso di Nature Based Solutions e, in particolare, di Water Retention Measures. Il supporto di ENEA agli Enti di Gestione di Aree Protette e Siti Natura 2000 ha, negli anni, comportato la realizzazione di numerosi progetti, da Life Natura ed altri svolti nell’ambito di finanziamenti dei PSR regionali, che hanno comportato, tra l’altro, interventi di riqualificazione ambientale.

Le attività di caratterizzazione e progettazione ambientale nei territori fluviali e lacustri si sono rivolte e si rivolgono anche alla ricerca di modalità di individuazione di nuovi inquinanti nonché alla definizione di strategie gestionali sostenibili che rendano compatibili la tutela con lo svolgimento di attività produttive.

per info: mariarita.minciardi@enea.it

Bibliografia

- ASvIS, 2022. L’Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile – Rapporto ASvIS 2022. 233 pp.
- European Commission, 2021. EU Biodiversity Strategy for 2030 - Bringing nature back into our lives. 36 pp.
- European Commission, 2016, European Red List of Habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats. 38 pp.
- MATTM, 2018; Secondo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia. 134 pp.
- MASE, 2022. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. 133 pp.
- Nazioni Unite, 2015. Trasformare il nostro mondo: l’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. 35 pp.
- Rockström J. & P. Sukhdev, 2016. New way of viewing the Sustainable Development Goals and how they are all linked to food. Stockholm Resilience Center.
- Toreti A., Bavera D., Avanzi F., Cammalleri C., De Felice M., De Jager A., Di Ciollo C., Gardella M., Gabellani S., Leoni P., Maetens W., Magni D., Manfron G., Masante D., Mazzeschi M., McCormick M., Naumann G., Niemayer S., Rossi L., Seguini L., Spinoni J., Van den Berg M., 2022. Drought in Europe April 2022. Eur 31065 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-52327-7.
- https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202204_Europe.pdf
- UE, 1992, Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche (Direttiva “Habitat”).
- UE, 2000, Direttiva 2000/60/CE che istituisce un quadro per l’azione comunitaria in materia di acque (Direttiva “Acque”).
- UE, 2009, Direttiva 2009/147/CE concernente la conservazione degli uccelli selvatici (Direttiva “Uccelli”).

Valutazione della risorsa idrica su base territoriale

La crescente pressione antropica rende sempre più importante lo studio delle risorse naturali. Tra queste, l'acqua è certamente una delle più preziose, tanto da rappresentare uno degli obiettivi strategici di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. In questo lavoro, gli autori approfondiscono alcuni dei temi di studio e ricerca portati avanti da ENEA nell'ambito di diverse attività progettuali, in relazione a differenti ambiti: dalla cooperazione internazionale ai bacini idrografici dei reticoli fluviali, dalla caratterizzazione e mitigazione del rischio di contaminazione della falda nei siti di bonifica alla determinazione del bilancio idrico nelle piccole isole e nei bacini lacustri.

DOI 10.12910/EAI2023-020

di **Sergio Cappucci**, **Luca Maria Falconi**, **Francesco Pasanisi**, **Carlo Tebano**, *Laboratorio Tecnologie per la dinamica delle strutture e la prevenzione del rischio sismico e idrogeologico*, **Marco Proposito**, *Laboratorio di Osservazioni e Misure per l'ambiente e il clima - ENEA*

I corpi idrici superficiali e sotterranei sono soggetti ad una forte pressione sia naturale, sia antropica, che può comportare un progressivo depauperamento della risorsa idrica in termini quantitativi e qualitativi. Questo rende sempre più difficile il raggiungimento degli obiettivi ambientali previsti dalla Direttiva Quadro Acque 2000/60, cioè il raggiungimento di un buono stato ecologico delle acque. L'attività di ENEA si inserisce nel più ampio contesto di analisi degli impatti che il cambiamento climatico sta determinando, soprattutto nel bacino del Mediterraneo, a causa delle significative variazioni sia delle temperature che delle precipitazioni con rilevanti ripercussioni sulla disponibilità di risorse idriche. Nell'intera regione del Mediterraneo, infatti, le temperature sono mediamente in aumento rispetto all'era preindustriale e alle medie globali, con una riduzione delle precipitazioni estive in alcune aree stimata fino al 10-30%.

I più recenti studi sugli scenari climatici attesi nel prossimo futuro per l'area mediterranea suggeriscono di non sottovalutare l'ipotesi di un aumento sia della frequenza di episodi siccitosi severi, sia della persistenza di tali eventi, con anomalie di precipitazione negative anche per più anni consecutivi (MedECC, 2020). Ne è la dimostrazione il fatto che nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici si è posta l'attenzione su diversi indicatori climatici legati alla siccità quali la durata di giorni secchi, gli indici di precipitazione ed evapotraspirazione ed altri parametri aventi dirette ricadute sulla riduzione delle portate fluviali, delle capacità e ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde (McKee et al., 1993). **I corpi idrici possiedono tutte le caratteristiche tipiche di un'infrastruttura naturale, verde-blu, la cui gestione sostenibile rappresenta una misura indispensabile e una sfida sia per le amministrazioni locali e centrali dello Stato sia per**

le imprese del territorio. Al pari di una qualsiasi infrastruttura antropica, come un ponte o una ferrovia, la gestione di una infrastruttura naturale richiede necessariamente la conoscenza delle caratteristiche strutturali, l'osservazione delle sue trasformazioni, la predisposizione di un quadro previsionale e l'esecuzione di interventi di manutenzione per fronteggiare le criticità che emergono nel tempo. Nello specifico, sono elementi indispensabili la conoscenza della struttura dei corpi idrici (es. le caratteristiche geometriche e le dinamiche di interazione con i corpi adiacenti) e il monitoraggio degli indicatori chimico-fisici e bio-ecologici che li caratterizzano. Sulla base conoscitiva, costantemente aggiornata, si sviluppano gli strumenti analitici necessari per interpretare le dinamiche dei sistemi e per produrre scenari previsionali in base a mutate condizioni climatiche e politiche di utilizzo della risorsa. In presenza di un quadro analitico di questo genere, le necessarie misure

di mitigazione delle criticità avranno il carattere di razionalità adeguato e potranno, auspicabilmente, essere meglio condivise e sostenute dalla cittadinanza.

Analisi di bacini e reticoli idrografici

Nella gestione della risorsa idrica, l'analisi territoriale ha un ruolo determinante e i Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono uno strumento molto utile per la descrizione e lo studio dei bacini idrografici. A tale scopo, è possibile integrare le funzionalità tipiche di geoprocessing presenti nei software GIS con strumenti specifici di analisi sviluppati autonomamente in base alle esigenze dello studio. In ENEA, il **Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico**, ha svolto recentemente attività di valutazione dell'erosione superficiale e del trasporto di sedimenti nei sistemi fluviali per la salvaguardia delle risorse idriche e di supporto alle politiche di pianificazione nell'ambito di diversi progetti e linee di ricerca. L'analisi geomorfica quantitativa costituisce una branca della geomorfologia applicata volta alla descrizione delle caratteristiche morfometriche del territorio, come, ad esempio,

pendenza dei versanti e energia del rilievo, e dei suoi elementi principali. L'applicazione di tecniche di analisi geomorfica quantitativa per la stima del trasporto torbido fluviale è stata condotta attraverso l'implementazione di un applicativo GIS originale (Tebano et al., 2017) con il quale sono stati analizzati 41 bacini idrografici dell'Appennino (Fig. 1A). La correlazione tra i parametri geomorfici ed i dati di trasporto torbido disponibili è stata investigata mediante tecniche di stepwise regression (Grauso et al., 2018; 2018b; 2021).

Nell'ambito del progetto di cooperazione internazionale Renewable Energy Potential Maps for Lesotho (Fig. 1B) è stata ricostruita una mappa digitale del reticolo idrografico del Lesotho, in Africa meridionale (Pasanisi et al., 2020, 2021; Grauso et al., 2020). Il progetto è stato finanziato dall'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nel quadro del contrasto al cambiamento climatico, contribuendo, quindi, al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) e delle misure previste dalla COP21 (Accordo di Parigi). Sono state effettuate anche attività di training e illustrate in dettaglio le metodologie messe a punto per la produzione delle mappe, appro-

fondendo potenzialità e modalità del loro utilizzo per lo sfruttamento delle energie rinnovabili. Il corso ha visto anche lo svolgimento di esercitazioni pratiche, per l'utilizzo di un database sviluppato in ambiente GIS e la consultazione di un WEBGIS opportunamente implementato per gli stakeholder locali.

Risanamento e riqualificazione della risorsa idrica: un'opportunità di transizione energetica ed ecologica

L'acqua è certamente la risorsa naturale maggiormente compromessa dalla contaminazione dei suoli e dagli sversamenti accidentali o volontari che tutt'oggi costituiscono uno dei maggiori impatti della produzione industriale (Fig. 2). In Italia ci sono 16.264 procedimenti di bonifica in corso. Si tratta di aree produttive e non, di diverse dimensioni e rilevanza all'interno delle quali discariche, impianti industriali, centrali, infrastrutture strategiche costituiscono una emergenza ambientale e sanitaria per i lavoratori e le comunità. Bonificare e rendere disponibili questi siti per nuovi insediamenti produttivi, è un'occasione straordinaria di sviluppo per il Paese, che va affrontata nel rispetto degli obiettivi dettati dalla strategia per lo sviluppo sostenibile. Tuttavia, i programmi di investimento sono rallentati a causa dei ritardi nelle bonifiche, acuitizzando gli impatti della contaminazione delle matrici ambientali. L'ENEA, analizzando le metodologie di riqualificazione ambientale delle falde freatiche, applicate in diversi Siti contaminati di Interesse Nazionale, ha stimato volumi di acqua di falda trattata e relativi costi di messa in sicurezza e bonifica dei siti contaminati. Sono stati considerati diversi fattori (Cappucci et al., 2010):

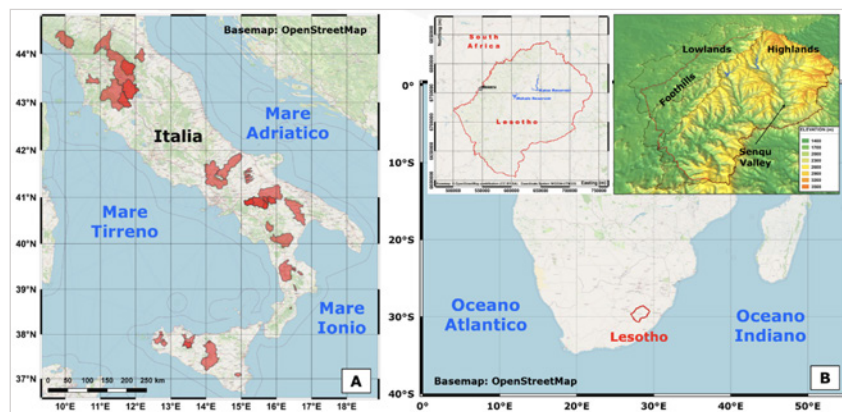


Figura 1: A) Bacini idrografici investigati nell'Appennino. B) Inquadramento geografico e altimetria del territorio del Lesotho.

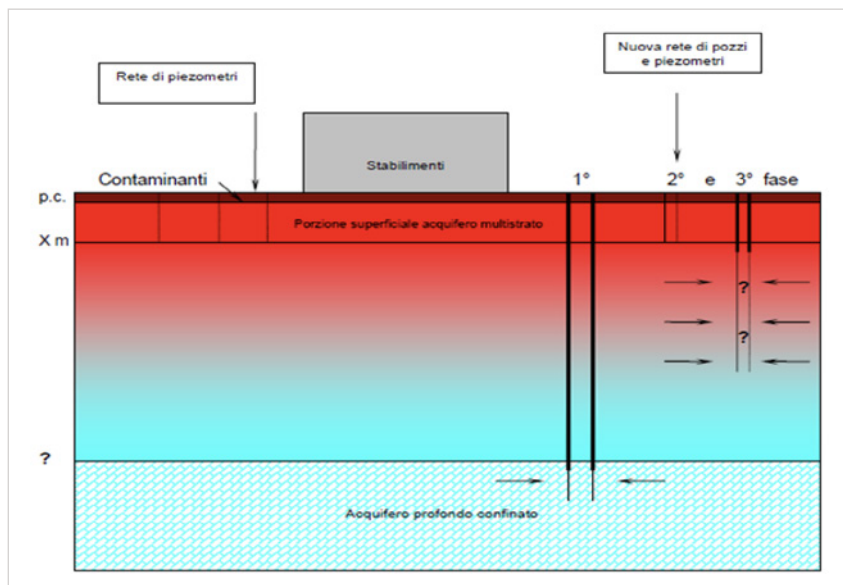


Figura 2. Modello concettuale di trasferimento della sorgente di contaminazione al bersaglio (acque di falda).

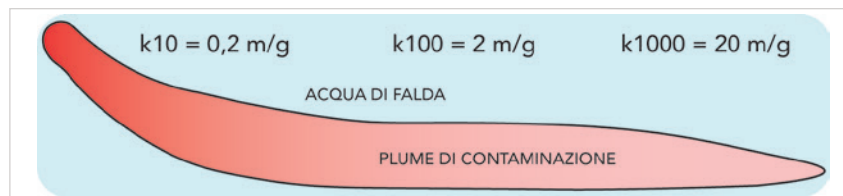


Figura 3. Schema di propagazione di un plume di contaminazione in falda generato da diversi fronti di contaminazione.

1. tipologia di barriera (idraulica: ~50%; fisica: ~10%; trattamento: ~40%);
2. fronte di contaminazione (F), cui sottendono hot spot di contaminazione di ampiezza compresa tra 50 e 300 m;
3. coefficiente di conducibilità idraulica (K), cui corrispondono percorrenze della falda da 0,2 a 20 m/giorno.

Sulla base di questi tre parametri e delle loro possibili combinazioni, è stato costruito un modello previsionale dei volumi di acqua da emungere e trattare in un arco di tempo di circa 30 anni, attraverso cui stimare i costi per le attività di MISE e bonifica. L'analisi ha consentito anche di implementare scenari di ricon-

versione per produzione energetica (Cappucci et al., 2010), lavoro al quale si rimanda per specifiche e dettagli (Fig. 3).

Bilancio idrico di bacini lacustri

I laghi svolgono un ruolo chiave sia per gli ecosistemi naturali che per le attività umane, essendo rari hot spot di biodiversità e fornendo servizi ecosistemici essenziali. Oltre a costituire una risorsa indispensabile in ambito produttivo (energia idroelettrica, agricoltura, pesca, turismo), essi rappresentano spazi ricreativi e di promozione del benessere, contribuiscono alla mitigazione del rischio idraulico e degli eventi climatici estremi, partecipano al ristabilimen-

to della qualità delle matrici ambientali e costituiscono una preziosa risorsa idropotabile.

Negli ultimi decenni, i sistemi lacustri di tutto il mondo sono stati colpiti da molteplici fattori di stress legati al cambiamento climatico e alla pressione antropica. Una repentina variazione delle caratteristiche dei relativi habitat potrebbe ridurre ulteriormente biodiversità e qualità ecologica e, conseguentemente, anche la capacità di fornire servizi ecosistemici.

A fronte delle crisi idriche che si sono susseguite negli ultimi anni, ENEA ha intrapreso un'attività di monitoraggio e analisi del bacino del lago di Bracciano, che riveste un ruolo strategico sia nella sopravvivenza di un'area naturale protetta, sia nel sistema di approvvigionamento idrico dell'area urbana ed extraurbana della città di Roma.

Oltre all'installazione di alcune stazioni di misura meteo e idrometriche, ENEA ha sviluppato un modello di simulazione del bilancio idrico basato sull'approccio della Dinamica dei Sistemi (Falconi et al., in revisione) volto a rispondere a due domande specifiche:

- che dimensioni hanno e in quale rapporto reciproco si trovano i fattori del sistema, naturali e antropici, che influiscono sulle escursioni del livello del lago?
- quale livello del lago è possibile attendersi in un prossimo futuro a fronte di potenziali scenari meteorologici e determinate politiche di approvvigionamento idrico?

Supportato da un'analisi spaziale basata su GIS, il modello sviluppa e simula il bilancio idrico del sistema lago-falda sulla base di un dataset di dati pubblici relativi ad una finestra temporale di cinquanta anni (1970-2019), integrati da alcuni dati di portata dei fossi afferenti al lago,

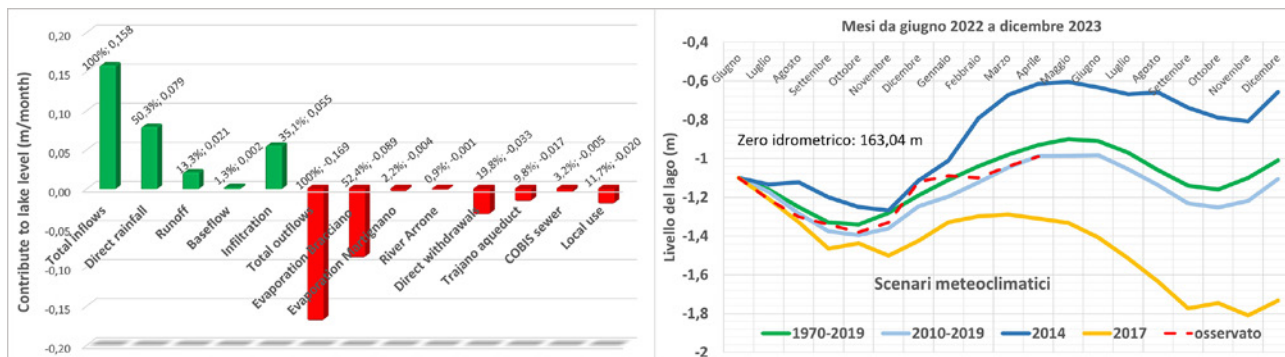


Figura 4 – Fattori del bilancio idrologico del lago (sinistra) ed escursioni del livello del lago previste per quattro scenari meteoclimatici (destra).

misurati tra il 2018 e il 2019.

I risultati evidenziano che il modello può fornire stime attendibili delle variabili non note che influenzano il bilancio idrico del sistema lago-falda e il livello dell’acqua del lago (Fig. 4, sinistra). Diversamente da quanto riportato in studi pregressi, il bilancio idrico del lago indica una condizione di costante perdita nel corso del cinquantennio 1970-2019: a fronte di 1,724 m/anno di entrate al lago, le uscite ammontano a 1,751 m/anno. Il modello, comprensivo di un modulo per generare scenari futuri, può costituire un supporto efficace alla pianificazione del territorio, alla tutela dell’ambiente e all’ottimizzazione dell’uso delle risorse idriche (Fig. 4, destra).

Strategie di gestione e di approvvigionamento idrico nelle piccole isole

Le comunità isolate hanno sempre utilizzato le risorse naturali in modo ottimale. La disponibilità ed approvvigionamento di acqua dolce, pronta per essere sfruttata in modo sostenibile dalla popolazione durante periodi di maggiore siccità è sempre stata considerata come una strategia di gestione indispensabile, soprattutto nelle piccole isole. Negli ultimi decenni, la crescita del turismo – che oggi contribuisce significativamente al PIL nazionale (Cappucci et al., in stampa; PNACC, in review) – ha di fatto reso indispensabile il ricorso all’approvvigionamento idrico esterno comportando costi, emissioni climalteranti e difficoltà tecniche

di realizzare dissalatori o condotte sottomarine per portare acqua dolce dalla terraferma.

Nell’ambito del **sotto-progetto GERIN** (Progetto Egadi; <http://progettoegadi.enea.it/it>), un team di ricercatori ENEA ha stimato le possibili riserve, individuando quelle di migliore qualità e, al contrario, quelle più esposte al rischio di salinizzazione per intrusione dell’acqua di mare nell’arcipelago delle Isole Egadi. Questo è stato possibile attraverso misure idrogeologiche, analisi chimiche delle acque di falda ed il calcolo dei tassi di precipitazione e di evaporazione. Si tratta di un bilancio idrogeologico che consente di stimare le infiltrazioni, i consumi e le perdite di acqua in territori, come quello di Favignana, scelti per le



Figura 5 – Modello concettuale di galleggiamento di acqua dolce su acqua di mare su una piccola isola e risultati delle valutazioni quali-quantitative effettuate nell’ambito del Progetto Egadi sull’Isola di Favignana.

caratteristiche climatiche, geomorfologiche e la forte presenza turistica in estate. Lo studio, pubblicato sulla rivista *Hydrogeology Journal* (Cappucci et al., 2020), ha stimato che le riserve di acqua potenzialmente disponibili sull'Isola di Favignana, considerando un consumo giornaliero

pro capite di circa 200 litri, potrebbero soddisfare le esigenze di circa ventimila persone. La metodologia utilizzata è replicabile in altri contesti con benefici di rilievo dal punto di vista sociale, economico e ambientale (Fig. 5).

Ringraziamenti: si ringraziano tutti i coautori degli articoli citati che, sebbene non direttamente coinvolti nella redazione del presente lavoro, hanno comunque svolto attività che sono state di fondamentale importanza per il raggiungimento dei risultati.

per info: sergio.cappucci@enea.it

Bibliografia

- Cappucci S., Creo C., Di Giovanni B. (in stampa). La gestione delle biomasse spiaggiate: stato dell'arte e prospettive per la transizione ecologica delle zone costiere. Proceedings of Geografia e Tecnologia conference "Giornate di studi interdisciplinari su tecnologia e transizioni, trasformazioni, rappresentazioni territoriali", 11 p.
- Cappucci S., De Lia F., Maffucci M., Montecchio D., Rolle E. (2010). Energie rinnovabili e messa in sicurezza dei siti contaminati: valutazioni tecnico/economiche. Proceedings of Remtech 4th Edition Conference, 6 pp.
- Cappucci S., De Cassan M., Grillini M., Proposito M., Screpanti A. (2020). Multisource water characterisation for water supply and management strategies on a small Mediterranean Island. *Hydrogeology Journal*, 1: 1-17. DOI 10.1007/s10040-020-02138-6
- Falconi L.M., Mecali A., Musmeci F., Proposito M., Taviani S. (under review). A System Dynamics model for the water balance of Lake Bracciano (Lazio, Italy). *Journal of Environmental and modelling assessment*
- Grauso S., Pasanisi F., Tebano C. (2018^a). Assessment of a Simplified Connectivity Index and Specific Sediment Potential in River Basins by Means of Geomorphometric Tools. *Geosciences* 8(2), 48; doi:10.3390/geosciences8020048
- Grauso S., Pasanisi F., Tebano C., Grillini M., Peloso A. (2018b). Investigating the Sediment Yield Predictability in Some Italian Rivers by Means of Hydro-Geomorphometric Variables. *Geosciences* 8(7), 249; doi:10.3390/geosciences8070249
- Grauso S., Pasanisi F., Tebano C. (2020). Modeling the suspended sediment yield in Lesotho rivers. *Modeling Earth Systems and Environment* 6:759–768; doi:10.1007/s40808-020-00738-5
- Grauso S., Pasanisi F., Tebano C., Grillini M. (2021). A multiple regression model to estimate the suspended sediment yield in Italian Apennine rivers by means of geomorphometric parameters. *Modeling Earth System and Environment* 7:363-371; doi: 10.1007/s40808-020-01077-1
- <http://progettoegadi.enea.it/it> (ultimo accesso 25.1.2023)
- MedECC (2020). Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp, ISBN 978-2-9577416-0-1, doi: 10.5281/zenodo.4768833
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, 17-22 January), 17 (22), 179-184.
- Pasanisi F., Tebano C., Grauso S., Mahahabisa M., Raliselo M. (2020). Producing a Digital Hydrographic Map Aiming at Renewable Energy Potential Mapping of Lesotho. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 10(23):61-68; doi:10.2478/jaes-2020-00010
- Pasanisi F., Righini G., D'Isidoro M., Vitali L., Briganti G., Grauso S., Moretti L., Tebano C., Zanini G., Mahahabisa M., Letuma M., Raliselo M., Seithleko M. (2021). A Cooperation Project in Lesotho: Renewable Energy Potential Maps Embedded in a WebGIS Tool. *Sustainability*, 13, 10132; doi:10.3390/su131810132
- PNACC (in review). Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Rapporto sottoposto a consultazione pubblica attraverso Procedura di Valutazione Ambientale Strategica (VAS). <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Info/7726>
- Tebano C., Pasanisi F., Grauso S. (2017). QMorphoStream: Processing Tools in QGIS Environment for the Quantitative Geomorphic Analysis of Watersheds and River Networks. *Earth Science Informatics* 10:257–268; doi: 10.1007/s12145-016-0284-0

Il telerilevamento applicato al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua

Relativamente al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite indica, tra gli obiettivi da perseguire, quelli di garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e la riduzione del suo inquinamento. In questo contesto, il telerilevamento svolge un ruolo di primo piano.

DOI 10.12910/EAI2023-021

di **Elena Candigliota, Francesco Immordino**, Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico - ENEA

Con il termine telerilevamento si intende quell'insieme di tecniche, strumenti e metodologie per l'acquisizione a distanza e l'interpretazione di dati relativi a oggetti e fenomeni localizzati in un determinato punto della superficie terrestre (Dainelli, 2011). **Il telerilevamento, in inglese remote sensing, prevede dunque l'acquisizione dell'informazione sull'oggetto rilevato senza essere a contatto con esso, permettendo così di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano.**

Le informazioni qualitative e quantitative sull'ambiente e su oggetti posti a distanza, sono ricavate sulla base della misura dell'energia elettromagnetica emessa, riflessa o trasmessa, che interagisce con le superfici di interesse (Lillesand et al., 2004; Brivio et al., 2006); in tal modo è possibile l'identificazione e la separazione di materiali differenti attraverso la loro firma spettrale. L'insieme di tutte le radiazioni elettromagnetiche forma lo spettro elettromagnetico, ovvero la rappresentazione su un asse di tutte le lunghezze d'onda suddivise in regioni, definite bande spettrali.

L'andamento spettrale della riflettività varia in funzione del tipo di superficie, delle caratteristiche geometriche, della natura e della composizione del corpo su cui incide la radiazione elettromagnetica, ed è possibile analizzare il valore della riflettanza spettrale di un corpo in relazione alle varie lunghezze d'onda dello spettro.

La risposta di un oggetto alle radiazioni elettromagnetiche può infatti essere rappresentata con un grafico

nel quale viene indicata la percentuale di energia che l'oggetto riflette nelle varie parti dello spettro; il grafico riporta sull'asse delle ascisse le lunghezze d'onda e su quello delle ordinate la percentuale di luce riflessa. La curva ottenuta prende il nome di firma spettrale dell'oggetto, in quanto caratteristica distintiva della risposta di un particolare corpo alla radiazione incidente.

L'osservazione della Terra è effettuata attraverso sensori che posso-

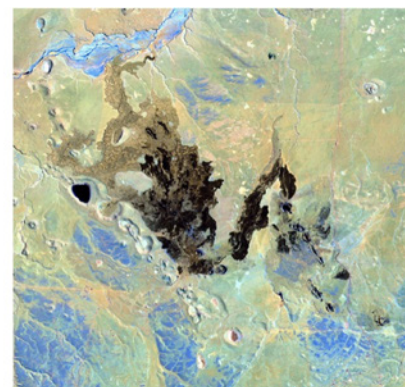


Fig. 1 - Rappresentazione a colori naturali e falsi colori. La presenza delle bande che abbracciano differenti regioni dello spettro elettromagnetico, permette l'osservazione della superficie terrestre con varie sintesi cromatiche RGB. In alto: colate laviche (colore naturale e falso colore); in basso: area pedemontana veneta in differenti sintesi cromatiche in falso colore che permette la discriminazione fra le aree vegetate (in rosso) e suoli-aree antropizzate (in ciano) e falso colore in cui è possibile discriminare il reticolo stradale e i centri urbani (viola) e aree vegetate (in verde brillante) (immagini Landsat 7ETM - USGS).



Fig. 2. Sistemi territoriali: piana fluviale di origine tettonica delimitata da sistemi di faglie (immagini Landsat 7TM - USGS).

no essere installati su diversi tipi di piattaforme; i sensori utilizzati nel telerilevamento vengono distinti in sensori passivi e sensori attivi.

I sensori passivi (ottici) misurano la radiazione emessa o riflessa dagli oggetti, registrando dunque l'energia disponibile naturalmente; questo avviene solo quando il Sole, essendo la principale sorgente di energia elettromagnetica, illumina l'oggetto. L'acquisizione dei sensori passivi è limitata, infatti, alle ore diurne e in assenza di copertura nuvolosa.

I sensori attivi (radar), invece, generano loro stessi la radiazione da inviare verso la superficie terrestre, registrandone poi la componente riflessa; il vantaggio dei sensori attivi risiede nella possibilità di ottenere immagini anche con coperture nuvolose e nelle ore notturne.

Una delle caratteristiche più importanti delle immagini satellitari è la possibilità di osservare in modo

sinottico la superficie terrestre osservando le mutue relazioni fra le strutture e gli oggetti presenti nella porzione di territorio acquisita dal sensore satellitare, a scale che vanno da quella locale a quella regionale (Dainelli, 2011). Nelle immagini satellitari multispettrali la presenza delle bande che abbracciano differenti regioni dello spettro elettromagnetico, permette l'osservazione della superficie terrestre con varie sintesi cromatiche a colori naturali e falsi colori (fig. 1); da queste ultime possono essere ricavate le informazioni sulle proprietà delle coperture e degli oggetti presenti nella superficie terrestre: natura delle rocce e dei suoli, densità e stato della vegetazione, presenza/indici di umidità.

L'analisi di un'immagine aerea o satellitare

Nell'analisi di un'immagine aerea o satellitare, il primo passo è l'os-

servazione degli oggetti presenti ed il riconoscimento delle unità appartenenti ad insiemi omogenei di oggetti (Melis, 2006). Attraverso un processo d'interpretazione e di integrazione di informazioni spettrali e spaziali è possibile arrivare alla realizzazione di un prodotto cartografico digitale a supporto della gestione territoriale, permettendo la spazializzazione di informazioni puntuali. L'analisi delle forme permette di definire le strutture geomorfologiche e geostrutturali con le sue evoluzioni e le relazioni con i sistemi antropici. I sistemi quali aree urbane, produttive e rurali, sono costituite da una varietà di materiali (anche artificiali), terreni, rocce e minerali e aree vegetate (fig. 2) che costituiscono la copertura del suolo e sono utilizzati in modi differenti dall'uomo.

Un campo importante di applicazione del telerilevamento è il monitoraggio, cioè il controllo di fenomeni ambientali e territoriali nel tempo (Barrett and Curtis, 1999).

Nell'ambito di studio del sistema alveo-pianura alluvionale possono essere lette le variazioni che avvengono in tempi storici e che riguardano gli aspetti geomorfologici degli alvei; questi subiscono modificazioni molto veloci ed il riconoscimento di questi fenomeni permette la comprensione delle tendenze evolutive e delle loro cause.

Le forme del rilievo (landforms) sono l'espressione dell'evoluzione geologica di una regione; l'azione combinata di differenti fattori (litologia, assetto strutturale, erosione, clima, acqua, tempo) si riflette su di esse, dando origine ad un paesaggio che sarà coerente (ad eccezione di alterazioni gravi di tipo antropico) con i processi naturali che lo hanno prodotto (Drury, 1997); l'analisi delle forme permette la conoscenza dell'evoluzione del paesaggio e dei

rapporti con il sistema antropico. Le morfologie create dai reticoli di drenaggio fluviale dipendono dal pendio delle superfici, dalla litologia e dall'assetto delle rocce; questi elementi, infatti, influenzano il percorso e la quantità di acqua che scorre lungo la superficie. I modelli di drenaggio che vengono delineati sulle immagini satellitari, grazie alla visione sinottica e panoramica, riflettono le tipologie litologiche, la struttura, la copertura del suolo e l'intensità delle alterazioni da parte degli agenti esterni (fig. 3).

Negli studi territoriali, attraverso il processamento dei dati satellitari multispettrali, l'analisi delle forme e dei processi collegati permette la produzione di cartografie tematiche a supporto di una gestione razionale del territorio; nelle cartografie tematiche è possibile rappresentare processi morfogenetici e processi di evoluzione territoriale.

I vantaggi dei dati telerilevati

I vantaggi di dati telerilevati possono essere ricapitolati in termini di tipo di rappresentazione, accuratezza, copertura spaziale e flessibilità temporale e gestiti in termini spaziali mediante applicazioni GIS (Atkinson and Tate, 1999a). Le EO-derived

information sono sempre più utilizzate in un mercato di applicazioni reali; in generale l'uso del Telerilevamento raggiunge risultati importanti quando viene associato ad altri dati ambientali.

Le ragioni per il costante trend di aumento dei dati da EO è da ricercarsi in diverse ragioni (Chirici, 2020):

1. il proliferare del numero di missioni e del numero di satelliti per missione, il numero di piattaforme di Osservazione della Terra operative (ognuna talvolta con più satelliti come Sentinel, MODIS, Landsat, NOAA AVHRR, Planet) e con il diffondersi delle missioni con satelliti gemelli o con micro-satelliti si è assistito alla nascita di un telerilevamento in near-real-time con immagini ad alta risoluzione giornaliera (la nuova costellazione di nanosatelliti PlanetScope <https://www.planet>);
2. Per l'aumento della risoluzione geometrica metrica o sub-metrica;
3. L'aumento della profondità, ovvero della memoria occupata da ogni pixel di ogni immagine (appena dieci anni fa lo standard era 8 bit, oggi si arriva a 11 - 12 bit);
4. Per l'aumento del numero di bande dei sensori ottici (250 ban-

de a bordo della missione Italiana PRISMA);

5. L'avvento di nuove tecnologie ottiche, radar e lidar.

Molti approcci integrati hanno coinvolto sistemi di image processing con immagini classificate e convertite in formati vettoriali ed importati o trasferiti in formati codificati in GIS ed integrati con altri dati vettoriali (Mattikali, 1994; Pathan et al., 1993). In questi anni si assiste ad una forte integrazione fra queste due tecniche di analisi in quanto le informazioni spaziali hanno una forte relazione con le analisi di dati telerilevati (ASPRS, 1994, Legg., 1994; Star et al., 1997; Barrett and Curtis, 1999). Un aspetto importante nella rappresentazione spaziale dei dati è costituito dalla tipologia e acquisizione del dato; la rappresentazione digitale è sicuramente più conveniente di quella analogica, in quanto proveniente da procedure di analisi numerica e quindi meno soggetta ad errori durante i processi di digitalizzazione. La sovrapposizione delle immagini satellitari con dati spaziali in ambiente GIS e la loro successiva interrogazione permette di acquisire informazioni difficilmente rilevabili tramite l'analisi delle singole banche dati (Castellani et al., 2013). **L'osservazione e la valutazione dei rischi, l'individuazione delle criticità morfologiche e antropiche attraverso immagini satellitari e procedure GIS consente una pianificazione e la corretta gestione delle risorse naturali ed antropiche.**

Il monitoraggio delle risorse naturali

Relativamente al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite indica, tra gli obiettivi da perseguire, quelli di garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e la riduzione del suo inquinamento.

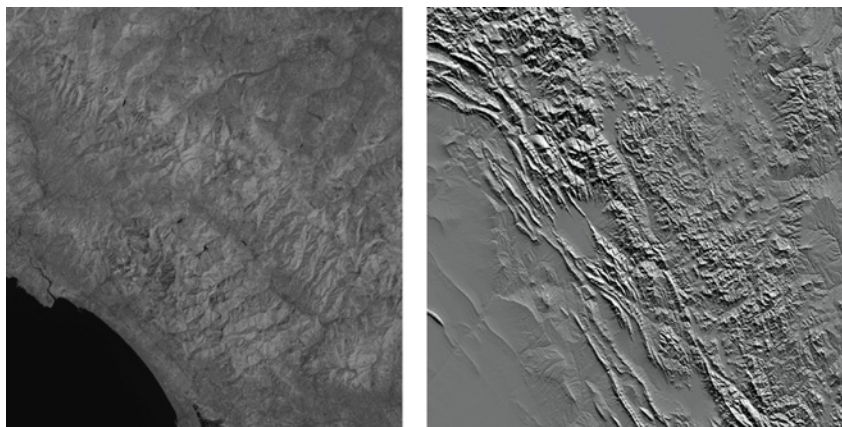


Fig. 3. Reticoli di drenaggio fluviale controllati da litologia delle rocce e caratteri strutturali (immagini Landsat 7ETM – USGS; DEM SRTM, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

Nel caso delle superfici d'acqua, nel telerilevamento ottico viene misurata la radianza nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso vicino; l'intensità del segnale che giunge al sensore è notevolmente più debole di quella della terraferma e questo rende estremamente delicata l'interpretazione dei dati, essendo il disturbo atmosferico ed il rumore del sensore quasi dello stesso ordine di grandezza del segnale, specialmente nell'infrarosso. La presenza di sostanze disciolte o in sospensione altera significativamente la trasmittanza dell'acqua, in quanto produce ulteriori fenomeni di scattering, diffrazione e riflessione; pertanto anche la firma spettrale ricavata da immagini satellitari presenterà picchi in corrispondenza di lunghezze d'onda differenti.

Un esempio è il fenomeno della salinizzazione dei suoli che può compromettere gravemente la produttività dei terreni agricoli, specialmente laddove risalite capillari di umidità dal sottosuolo o acque saline circolanti in superficie determinano la formazione di granuli o croste saline sui terreni (Teggi et al., 2012).

La salinità è un parametro di vitale importanza per la caratterizzazione delle acque interne, poiché da essa dipende la varietà di specie acquatiche che costituiscono l'ecosistema e sempre da essa dipendono gli usi possibili della risorsa. La salinità diventa un parametro ancor più critico nei climi aridi e semi-aridi ove gli ecosistemi sono minacciati dalla desertificazione e gli insediamenti umani dalla scarsa o nulla capacità di rinnovamento della risorsa idrica.

L'interesse per il monitoraggio della salinità mediante il telerilevamento risale agli anni '70, quando vennero effettuate le prime valutazioni sull'influenza che diverse concentra-

zioni di sali disciolti possono avere sulla riflettanza o sull'emissività dell'acqua (Meyer e Welch, 1975). È stato osservato che nella regione dell'ottico la presenza di sali in soluzione altera in modo significativo l'intensità e l'ampiezza di alcune bande di assorbimento dell'acqua. Attraverso modelli numerici è possibile stabilire relazioni empiriche tra l'intensità del segnale e la concentrazione, tali relazioni tengono conto della temperatura del liquido, che produce variazioni dell'intensità dello stesso ordine di grandezza (Lin e Brown, 1992).

L'avvento di sensori multispettrali a maggiore risoluzione radiometrica e di sensori iperspettrali, quali il sensore PRISMA dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) unitamente al miglioramento dei modelli di correzione atmosferica, riapre la possibilità di trovare relazioni empiriche tra valori di salinità e riflettanza in alcune bande sensibili.

Altri passi in avanti si stanno compiendo nelle applicazioni di una tecnologia predittiva basata su satellite e intelligenza artificiale per la riduzione delle perdite idriche e la pianificazione degli investimenti. La tecnologia può essere utilizzata per la pianificazione delle attività tecniche legate alla ricerca perdite e direzionali per la pianificazione degli investimenti finalizzati all'efficientamento delle reti di acquedotto. Un progetto-pilota è partito su tre reti comunali in Emilia Romagna (<https://www.rezatec.com/resources/case-studies/using-geospatial-ai-to-improve-water-network-performance-italy/>).

Nei casi studio descritti in seguito sono riportati i risultati di analisi territoriali legati al rischio idrogeologico (frane e esondazioni fluviali) mediante analisi dati satellitari radar ed ottici. Nel primo caso sono

descritti i risultati ottenuti da d'interferometria radar applicata a fenomeni franosi lenti che interessano il centro abitato di Altolia (ME); il secondo caso, riguardante il comune di Tagliacozzo (AQ), consiste nello studio delle relazioni tra tessuto urbano e fenomeni di esondazioni fluviali attraverso l'analisi integrata di metodologie di analisi storica, Telerilevamento e Sistemi Informativi Geografici.

Morfologia e Interferometria nel monitoraggio dei fenomeni franosi lenti

Il susseguirsi di fenomeni di dissesto idrogeologico e l'impossibilità di prevenirne l'eventuale posizione ed evoluzione, ha portato l'Amministrazione Comunale di Altolia ad avviare uno studio per il riconoscimento di forme gravitative di dissesto, valutarne l'eventuale dimensione ed eseguire un costante monitoraggio di frane attive e quiescenti, al fine di ridurre il rischio geomorfologico, strettamente legato alle problematiche idrauliche e geologiche. **Il riconoscimento di frane di neoformazione ed il monitoraggio di quelle già presenti risulta utile al fine di prevedere opportune misure di salvaguardia, individuando le aree a rischio e le zone dove la vulnerabilità del territorio si lega a maggiori pericoli per gli abitanti, i centri urbani ed il patrimonio ambientale.**

In questo ambito è stata avviata un'attività sperimentale per il monitoraggio inclinometrico del centro abitato di Altolia. Affiliato allo studio finalizzato al monitoraggio è stata la Planetek Italia srl che ha supportato l'analisi interferometrica attraverso la piattaforma Rheticus® Displacement (servizio per il monitoraggio degli spostamenti superficiali a lungo termine) che permette l'identificazione di fenomeni di sub-

sidenza, franosità e instabilità delle infrastrutture, l'ottimizzazione dei sopralluoghi in situ e agevola la pianificazione di interventi di manutenzione straordinaria. Rheticus® è una piattaforma cloud che eroga servizi geo-informativi per il monitoraggio della evoluzione della superficie terrestre. I servizi geo-informativi erogati includono servizi per il monitoraggio della dinamica della morfologia terrestre, della vegetazione, delle infrastrutture, delle acque marino-costiere, finalizzati sia al monitoraggio degli aspetti ambientali che produttivi. Si tratta di una piattaforma di servizi alla quale si accede per abbonamento e consente di poter disporre di informazioni aggiornate costantemente. La piattaforma Rheticus® Displacement (Fig. 4) ha permesso il monitoraggio degli spostamenti superficiali a lungo termine e l'ottimizzazione dei sopralluoghi in situ.

Il Comune di Messina, Dipartimento Protezione Civile e Difesa del Suolo, ha richiesto ad ASI (Agenzia Spaziale Italiana) l'acquisizione e l'uso dei dati Radar CSK interferometrici dell'area di studio; il servizio di distribuzione delle scene SAR satellitari COSMO-SkyMed è stato attuato nell'ambito del decreto 329/2016 per la fornitura ad utenti istituzionali nazionali di prodotti COSMO-SkyMed per tutti gli usi connessi alle attività derivanti dal progetto MAP Italy dall'Agenzia Spaziale Italiana attraverso e-GEOS che ha per oggetto principale lo svolgimento di attività di sviluppo, produzione e commercializzazione di servizi, prodotti e applicazioni nel settore dell'Osservazione della Terra. I dati provenienti dal satellite coprono oltre 5 anni di acquisizioni dal 6 Gennaio 2014, preso come riferimento, fino al 26 Aprile 2019. Più di un dato di movimento al mese e questo

dato è stato controllato per valutare il movimento nel tempo. Una ulteriore e importante verifica sul dato è la coerenza interferometrica; tale parametro misura quantitativamente la qualità delle frange interferometriche. Nel nostro caso tutti i punti acquisiti, 10295, hanno una coerenza uguale o maggiore di 0.5 e quindi risultano essere di buona qualità. L'area interessata dal dissesto è quella posta a Sud-Ovest dell'abitato e coinvolge tutte le abitazioni che si trovano su quel lato. Comunque tutta l'area posta a Sud-Ovest dell'abitato mostra gran parte dei valori di displacement superiori ai 40mm. Visto il carattere spaziale della variabile "displacement" è stata generata una superficie di frana mediante l'utilizzo di metodi di interpolazione. Questi metodi possono essere divisi in metodi deterministici e metodi stocastici e permettono di stimare una variabile spaziale anche dove

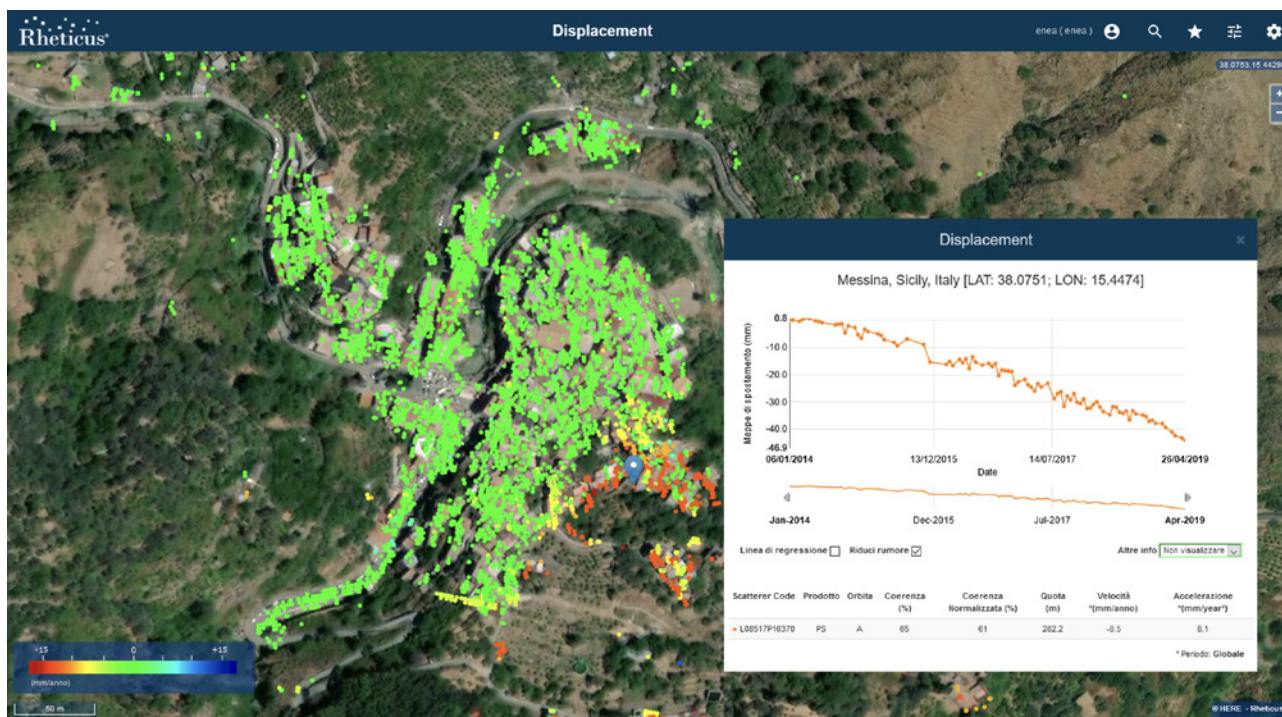


Fig. 4 - Visualizzazione dei punti di misura (Persistent Scatters) nella piattaforma Rheticus® Displacement.

questa non è stata misurata, ossia, permettono di passare da un dato di tipo puntuale, nel nostro caso i punti di riflessione, ad un dato spazialmente continuo, superficie di frana; i risultati dell'interpolazione sono mostrati nelle figure 5a-b.

Sistemi urbani a rischio esondazione: un approccio conoscitivo attraverso telerilevamento e GIS

Il lavoro è stato eseguito nel Comune di Tagliacozzo attraverso l'analisi integrata di metodologie di analisi storica, Telerilevamento e Sistemi Informativi Geografici le quali hanno permesso l'acquisizione ed il processing di dati territoriali estratti dalle immagini satellitari multispettrali ed il successivo geo-processing in ambiente GIS con la produzione di cartografie tematiche (Aureli et al., 2013). **L'analisi è partita con l'individuazione delle criticità territoriali indagando: pericolosità frane, rischio incendio, sismicità e permeabilità; per ogni tematismo sono state prodotte delle tavole supportate da analisi statistiche e dati storici.** Tutti gli elementi utilizzati per le analisi sono stati elaborati e georeferenziati in ambiente GIS e processati attraverso strumenti di image processing, al fine di ottenere file vettoriali e raster rispondenti alle esigenze delle diverse valutazioni. Per l'analisi del sistema di frane è stata utilizzata come base vettoriale la litostratigrafia unita al Corine Land Cover (CLC2006), a cui sono stati sovrapposti livelli territoriali vettoriali riguardanti Urbanizzato e Scarpate, Carta Tecnica Regionale (CTR) e Frane (PAI-Tevere); relativamente alla sismicità territoriale sono state utilizzate i livelli vettoriali relativi a litostratigrafia, faglie (Carta Geologica d'Italia, foglio 367), urbanizzato, accelerazioni al suolo (INGV); il tutto integrato dalla storia sismica dei risentimenti macrosismi-

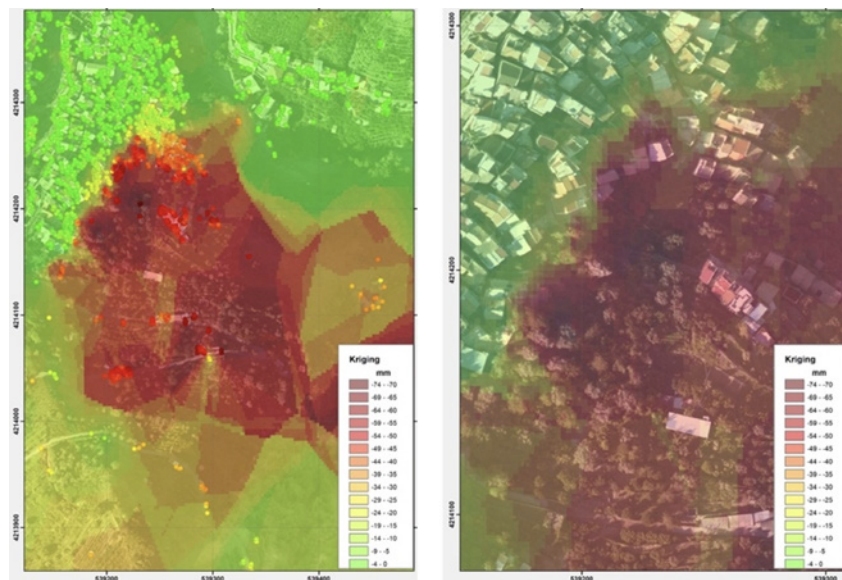


Fig. 5 - a) superficie ricavata con la spazializzazione dei punti del Displacement Empirical Bayesian Kriging; b) particolare della superficie ricavata con la spazializzazione dei punti del Displacement Empirical Bayesian Kriging.

ci dal 1895 al 2009. Per la permeabilità la base di lavoro è stato il DEM, Modello Digitale del Terreno (srtn 39-04), a cui sono state sovrapposte l'immagine satellitare GeoEye a falsi colori, l'idrografia e l'urbanizzato (dalla CTR), la Carta dei Suoli della Regione Abruzzo 2006; inoltre sono state analizzate le massime precipitazioni (in mm) e il numero dei giorni di pioggia annui. È stata condotta quindi una valutazione del potenziale rischio da alluvione finalizzata alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali. L'analisi è stata effettuata sulla base di immagini Landsat e GeoEye, integrate dai dati vettoriali della CTR, al fine di ottenere dei tematismi per sovrapposizione di dati vettoriali e dati raster. L'approccio metodologico, esteso a tutto il territorio del Comune di Tagliacozzo, ha previsto la determinazione degli elementi utili allo studio per l'individuazione delle aree di pericolo. Le considerazioni elaborate dall'osser-

vazione di questi elementi ha permesso di predisporre una Carta del Potenziale di Esondazione. Le zone di pericolosità sono state definite attraverso l'osservazione del corso d'acqua, sia in termini di estensione che di contributi laterali provenienti dagli affluenti e dalle linee di impluvio; in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche del territorio comunale sulla base del DEM. La classificazione delle aree di potenziale esondazione è stata effettuata su segmenti del corso d'acqua. Sulla base della cartografia, integrata dall'analisi delle immagini e delle sezioni fluviali, vengono identificati gli argini, i rilevati stradali e ferroviari, i corsi d'acqua minori e i contenimenti naturali. Questi vengono assunti come elementi di contorno che delimitano i segmenti, di forme e dimensioni variabili (da pochi ettari ad un centinaio); la classificazione viene rappresentata cromaticamente per classi di pericolosità.

per info: elena.candigliota@enea.it

All'articolo hanno collaborato:

Lorenzo Moretti, Claudio Puglisi, Augusto Screpanti, Vladimiro Verrubbi - Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico, ENEA, Giuseppe Forenza, Massimo Vincenzi - Planetek Italia

Bibliografia

- ASPRS, 1994, Remote Sensing and Geographic Information System: An Integration of Technologies for Resource Management. (Bethesda, MD: ASPRS).
- Atkinson P.M., Tate N.J., 1999a, Techniques for the Analysis of Spatial Data. In: Advances in Remote Sensing and GIS Analysis. Edited by P.M. Atkinson and N.J. Tate., J. Wiley & Sons Ltd., pp. 1-5.
- Aureli A., Babbo F., Cardinale F., De Cinque R., Del Colombo F., Di Rito M., Di Stefano E., Marcocci E., Raglione E., Santoponte T., Toriello L., Candigliota E., Immordino F., 2013, Sistemi urbani a rischio: un approccio conoscitivo attraverso Telerilevamento e GIS per il centro storico di Tagliacozzo. Atti del 7° Workshop Tematico "Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani", (San Martino in Pensilis 2013), pp. 11-12.
- Barrett E.C. and Curtis L.F., 1999, Introduction to Environmental Remote Sensing. 4th Edition, Stanley Thornes (Publishers) Ltd, pp. 457.
- Brivio P.A., Lechi G., Zilioli E., 2006, Principi e metodi di Telerilevamento. Città Studi ed.
- Castellani S., Candigliota E., Immordino F., 2013, La tutela del patrimonio storico-architettonico e paesaggistico attraverso l'analisi integrata di dati territoriali: caso studio nel teramano. Atti del 7° Workshop Tematico "Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani", (San Martino in Pensilis 2013)
- Chirici, G. (2020). Una nuova era nell'uso del telerilevamento a supporto della pianificazione sostenibile del territorio. Contesti. Città, Territori, Progetti, (1), 14-35. <https://doi.org/10.13128/contest-11988>
- Dainelli N., 2011, L'osservazione della Terra: Fotointerpretazione. Dario Flaccovio editore.
- Dainelli N., 2011, L'osservazione della Terra: Telerilevamento. Dario Flaccovio editore.
- Drury S.A., 1997, Image Interpretation in Geology. Allen & Unwin, London.
- Dall'Osso F., Bovio L., Cavalletti A., Immordino F., Gonella M., Gabbianelli G., 2010, A novel approach (the CRATER method) for assessing tsunamis vulnerability at the region scale using ASTER imagery. Italian Journal of Remote Sensing, Special Issue: Geomatics technologies for coastal environment observation, vol. 42, n. 2, pp. 55-74.
- Legg C.A, 1994, Remote Sensing and Geographic Information Systems: Geological Mapping, Mineral Exploration and Mining. (Chichester Wiley).
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W., 2004, Remote Sensing and Image Interpretation. J. Wiley and Sons Ed., 5th Edition, pp. 763.
- Lin J., Brown C.W., 1992, Near-IR Spectroscopic Determination of NaCl in Aqueous Solution, Applied Spectroscopy, 46 (12): 1809-1815, 1992.
- Mattikali N.M., 1994, An integrated GIS's approach to land cover change assessment. Proceeding of Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (piscataway, NJ: IEEE, 2, 1204-1206.
- Meyer W., Welch R.I., 'Water Resources Assessment', L.W. Bowden (curatore), 'Manual of Remote Sensing', , vol. II, cap. 19, 1479-1551, American Society of Photogrammetry, first ed., 1975.
- Melis M.T., 2006, Telerilevamento e fotointerpretazione per la cartografia della copertura del suolo. In: Telerilevamento Applicato, Dessena M.A. e Melis M.T., Mako edizioni, pp.185-196.
- Pathan W.A., Sastry S.V.C., Dhinwa P.S., Rao M., Majumdar K.L., 1993, Urban growth trend analysis using GIS techniques - a case study of the Bombay metropolitan region. Int. Jour. of Remote Sensing, 14, 3169-3179
- Star J.L., Estes J.E., McGwire K.C., 1997, Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing. Cambridge, Cambridge University Press.
- Teggi S., Costanzini S, Despini F., Chiodi P., Immordino F., 2012. SPOT5 imagery for soil salinity assessment in Iraq. Proc. of SPIE Vol. 8538, 85380V, © 2012 SPIE, CCC code: 0277-786/12/\$18, doi: 10.1117/12.974498.

Gestione della risorsa idrica in condizioni di scarsità e nei Paesi in via di sviluppo

È sempre più evidente e condiviso, a livello scientifico e politico internazionale, che la scarsità delle risorse idriche debba essere affrontata con strategie che colgano le criticità locali e che prevedano soluzioni tecniche specifiche. In particolare, nei Paesi in via di sviluppo (PVS), sarà necessario ricorrere a tecnologie con bassi costi di impianto e facilità ed economicità di gestione e manutenzione. Questo lavoro affronta la problematica del ciclo di utilizzo della risorsa idrica analizzando, in ciascuna fase, le cause delle carenze e presentando possibili soluzioni tecniche.

DOI 10.12910/EAI2023-022

di **Filippo Moretti**, Laboratorio Bioprodotti e Bioprocessi, **Marco Proposito**, Laboratorio di Osservazioni e Misure per l'ambiente e il clima - ENEA

Nei prossimi anni le popolazioni più a rischio dovranno sviluppare strategie per adattarsi a un futuro in cui la domanda di acqua sarà in costante aumento e la sua disponibilità tenderà a diminuire, con effetti a cascata sull'economia e impatti su igiene, sicurezza alimentare, energia e sviluppo delle aree urbane in costante espansione. Alcune regioni del mondo soffrono già di una significativa scarsità d'acqua o di un'eccessiva variabilità nella sua distribuzione nell'arco dell'anno. **La gestione sostenibile della risorsa idrica è quindi un obiettivo prioritario** sul quale, ormai da anni, convergono gli sforzi della politica e delle comunità scientifiche internazionali. In questo contesto trova nuova applicazione il criterio di assecondare il naturale ciclo dell'acqua in un determinato territorio, in funzione della sua posizione geografica, dell'orografia, dell'entità e distribuzione delle precipitazioni e, in questi ultimi anni, degli effetti del cambiamento climatico.

La captazione dell'acqua, lo stoccaggio, l'utilizzo, la depurazione e la sua reimmissione in un ambito territoriale circoscritto, sono da considerarsi pratiche vantaggiose e sostenibili che preservano le fonti dal sovrasfruttamento, riducono i costi energetici di prelievo e trasporto e distribuiscono sul territorio gli impatti dei processi di potabilizzazione e depurazione. Questi criteri già esposti nel documento "Tecnologie sostenibili per il ciclo dell'acqua e le bonifiche per i Paesi in via di sviluppo" frutto della collaborazione tra ENEA e AICS (Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo), vengono ripresi in questo lavoro e si completano con le azioni di progetto intraprese nella repubblica insulare di Palau (Micronesia) e nel progetto europeo WaterDrop, portato a termine con tre paesi mediorientali (MPC, Mediterranean Partner Countries).

L'approvvigionamento idrico, le fonti

Per garantire la gestione sostenibile della risorsa idrica, in particolare

nei paesi in via di sviluppo (PVS), si deve tenere conto di variabili sito-specifiche (ambientali e climatiche) e infrastrutturali (presenza e condizione di esercizio degli impianti). Mentre la sua disponibilità è limitata e variabile nel tempo, il fabbisogno è determinato da scelte politiche ed economiche. Nell'area geografica di intervento, è indispensabile conoscere approfonditamente l'assetto geo-idrologico, le precipitazioni e i parametri climatici per stimare la quantità di risorsa idrica disponibile nel lungo termine. Le fonti di approvvigionamento per lo più utilizzate sono rappresentate da pozzi, sorgenti, acque superficiali (fiumi, laghi, dighe, invasi), acque meteoriche e acque desalinizzate.

Risorse idriche da falda acquifera (pozzi e sorgenti)

Poiché di solito viene estratta una maggiore quantità di acqua rispetto a quella ricaricata naturalmente nelle falde, queste ultime subiscono un progressivo abbassamento di livello determinando un sensibile aumento

dei costi energetici di estrazione e, in caso di prossimità con la costa, favorendo fenomeni di intrusione salina. Inoltre, le acque sotterranee possono anche essere esposte a fenomeni di contaminazione degli strati superficiali, soprattutto a seguito dell'uso di prodotti fertilizzanti, diserbanti, etc. **È prevedibile che, in un prossimo futuro, le risorse idriche sotterranee tenderanno all'esaurimento o diventeranno inutilizzabili per l'eccessiva presenza di sali disciolti, in ampie aree in cui le falde acquifere sono state storicamente sovrasfruttate.** Per contrastare questa tendenza sarà necessario, innanzitutto, indirizzare il prelievo in maniera mirata privilegiando la captazione discreta e diffusa sul territorio in base alle indicazioni emerse dagli studi idrogeologici. Si dovranno conseguentemente costruire e/o adeguare le infrastrutture per l'estrazione ed il trasporto delle acque sotterranee rendendo l'intero sistema più resiliente ai cambiamenti climatici e socio-economici in atto nei PVS.

Risorse idriche di superficie (fiumi, laghi, dighe, invasi)

Le **acque superficiali**, a differenza delle acque di falda, per l'uso umano necessitano di maggiori trattamenti (fisici e chimici), per la presenza di sostanza organica disciolta, solidi sospesi e di una più elevata carica batterica. La presenza dei **corsi naturali** e la loro portata sono variabili e legate all'orografia del territorio e alla distribuzione delle precipitazioni. La realizzazione di **invasi artificiali e dighe, che fungono da tampone per i periodi siccitosi**, deve essere accuratamente pianificata per ridurre al minimo gli impatti ambientali e l'infrastruttura dimensionata in funzione dell'utilizzo previsto.

Risorse idriche non convenzionali (acque meteoriche, acque reflue trattate, desalinizzazione)

La raccolta dell'**acqua piovana** può fornire quantità aggiuntive di acqua da utilizzare in ambito domestico, in agricoltura e nell'industria, attraverso sistemi di raccolta e successivo stoccaggio. Nel primo caso si tratta

di realizzare serbatoi di dimensioni adeguate, mentre nel caso di applicazioni agricole e industriali si parlerà prevalentemente di bacini di grandi dimensioni. Le aree geografiche favorevoli sono quelle con precipitazioni superiori a 300 mm/anno. Precauzioni vanno adottate in caso di conservazione in serbatoi chiusi, per evitare il decadimento qualitativo che ne limita l'uso domestico. Nei bacini si dovrà tenere conto dei fenomeni di evaporazione, soprattutto nei climi caldi, e quindi di una perdita che aumenta con il tempo di conservazione. Le **acque reflue trattate** sono considerate un elemento principale del bilancio idrico. Molte città non hanno le necessarie infrastrutture per raccogliere e trattare le acque reflue. È stimato che in diverse zone urbane fino al 90% delle acque reflue è scaricato direttamente nei corpi idrici recettori (fiumi, laghi o mari) senza alcun trattamento (WWAP, 2015). **È ipotizzabile che in un prossimo futuro aumenti sensibilmente la quota di acque reflue trattate e con essa la possibilità di un loro reimpiego in agricoltura, a valle di necessari trattamenti terziari che non gravino ulteriormente sui costi di depurazione, come ad esempio i processi fitodepurativi.** Ne è un esempio lo studio condotto nei PVS nell'ambito del progetto europeo ENPI CBC-MED, Water-Drop (Water Development Resources Opportunity Policies for the water management in semi-arid areas, 2016) di cui ENEA è stato capofila. Il Progetto ha coinvolto Enti di ricerca, Istituzioni locali, Organismi Internazionali e ONG per un totale di nove partner provenienti da Italia, Spagna, Cipro, Libano, Palestina, Giordania. All'interno del progetto sono state sviluppate azioni pilota che hanno affrontato diversi aspetti della gestione delle risorse idriche.



In Libano, nel comune di Hermel al confine nord con la Siria, sul fiume Assi, sono state realizzate vasche di fitodepurazione per il trattamento dell'acqua in uscita dagli impianti di fitocoltura e interventi di rinaturalizzazione degli argini. In Palestina, nella contrada di Beni Zeid (città di Ramallah) è stato realizzato un impianto di fitodepurazione a vasche terrazzate in caduta, per il trattamento dell'acqua in uscita dal depuratore urbano e suo riutilizzo per l'irrigazione di piante da frutto. In Italia, è stato realizzato uno studio di fattibilità, e relativa analisi costi-benefici, per un intervento di salvaguardia dell'ambiente naturale della Palude di Torre Flavia, attraverso la fitodepurazione ed il riutilizzo delle acque reflue del depuratore urbano della città di Ladispoli (Roma).

Per completare il quadro delle possibili fonti idriche non convenzionali va poi citata la **desalinizzazione** delle acque marine, che costituisce una possibile alternativa sebbene presenti costi di impianto e di esercizio (consumi energetici) ancora molto elevati. La sua applicazione è dunque da riservare a situazioni in cui non sia possibile prevedere alternative e si disponga sia di energia a basso costo sia della capacità tecnologica ed economica di sostenere i costi d'investimento e tutti gli oneri operativi, incluse le costanti manutenzioni.

Sistemi di captazione, raccolta e accumulo

I sistemi e le infrastrutture per la captazione, raccolta ed eventuale accumulo della risorsa idrica devono essere realizzati sulla base di dati

ambientali locali e di obiettivi stabiliti dai piani di sviluppo per ogni sito di intervento. La **captazione** è un processo da definire a seconda della fonte che si intende sfruttare per portata e tipologia delle acque e della distanza tra la fonte ed il luogo di utilizzo della risorsa. Anche per quanto riguarda **la raccolta e l'accumulo** sarà necessario privilegiare scelte e soluzioni tecniche che prevedano bassi costi di impianto, facilità ed economicità di gestione e manutenzione. Sempre nell'ambito del progetto WaterDrop, in Giordania, sono stati realizzati 31 serbatoi sotterranei per l'accumulo dell'acqua piovana, di cui 25 presso abitazioni private e 6 presso scuole, e impianti per il riutilizzo dell'acqua grigia per irrigazione agricola.

Depurazione e riuso delle acque reflue

Il riuso delle acque reflue depurate è un'importante strategia di gestione delle acque che riguarda aspetti tecnologici, sanitari, economici e culturali. Solamente con una adeguata valutazione di questi aspetti il riuso delle acque reflue trattate può rappresentare una fonte alternativa di acqua. In contesti urbani, le acque reflue generate da insediamenti civili e da attività produttive sono generalmente coltate in reti fognarie e inviate ad impianti di trattamento centralizzati dimensionati in funzione dei carichi volumetrici ed organici afferenti. Portate e livelli qualitativi delle acque reflue adottate agli impianti risentono anche della tipologia del sistema fognario esistente che può prevedere condotte interrate o, in situazioni disagiate,

a cielo aperto e, ancora, il collettamento simultaneo o meno con acque meteoriche. Le configurazioni degli impianti di depurazione sono definite in funzione delle esigenze di rimozione degli inquinanti e dei limiti allo scarico finale in corpi idrici recettori. In generale, la depurazione delle acque reflue prevede trattamenti primari di tipo fisico-chimico (es. grigliatura, dissabbiatura, disoleatura, sedimentazione primaria) a cui fanno seguito processi biologici (es. fanghi attivi, sedimentazione secondaria), in grado di rimuovere sostanze di natura solubile e colloidale. Seguono i trattamenti terziari e di disinfezione per la rimozione di azoto, fosforo e carica batterica. Quanto rimosso è sottoposto ancora a processi di ispessimento, stabilizzazione (es. condizionamento chimico, digestione aerobica e anaerobica) e disidratazione con produzione finale di fanghi disidratati. In contesti peri-urbani e rurali, ove il collettamento dei reflui in strutture centralizzate risulta non tecnicamente possibile e conveniente, le soluzioni di trattamento delle acque reflue possono prevedere sistemi a filtri percolatori o, in presenza di ampie superfici occupabili e condizioni climatiche favorevoli, il lagunaggio e la fitodepurazione. **L'insieme delle tecnologie applicabili per il trattamento delle acque reflue, se opportunamente progettate e gestite, può consentire il raggiungimento di acque di qualità sufficiente a permettere il riuso in ambito agricolo, industriale e civile.**

per info: filippo.moretti@enea.it

Tecnologie innovative per il controllo delle acque reflue

Oggi è possibile gestire in modo ottimale gli impianti di trattamento dei reflui utilizzando tecnologie innovative che permettono di incrementare notevolmente sia la capacità di rimozione biologica dei nutrienti sia l'efficienza energetica e la riduzione dei consumi. A tal fine Enea, ha brevettato Constance, un sistema intelligente per il controllo automatizzato di impianti a fanghi attivi convenzionali a flusso continuo (CAS), ad oggi tra gli schemi impiantistici più utilizzati nel mondo.

DOI 10.12910/EAI2023-023

di **Luca Luccarini**, Laboratorio Cross Technologies per distretti urbani e industriali - ENEA

Circa l'1% del consumo energetico nazionale è legato alla depurazione delle acque^[1], occorre quindi che i sistemi di trattamento delle acque reflue, oltre a soddisfare requisiti di qualità dell'effluente sempre più stringenti, assicurino consumi energetici decisamente inferiori di quelli correnti, iniziando a diminuire l'energia consumata per l'aerazione del comparto ossidativo che rappresenta mediamente oltre il 50% del consumo totale (Fig. 1)^[2].

I progettisti sovradimensionano gli impianti per rispondere alle condizioni di carico peggiore, assumendo che il loro funzionamento sia stazionario, nonostante il carico in ingresso sia invece molto variabile, soprattutto per gli impianti di dimensione medio-piccola (fino a 20000 AE), per i quali, a causa delle elevate variazioni del carico tra le ore diurne e quelle notturne^[3], i costi operativi specifici sono significativamente superiori a quello dei grandi impianti (Fig.2)^[4]. Considerando inoltre che essi rappresentano circa il 90% del totale degli impianti in Italia (fonte ISTAT), risulta evidente l'impatto economico derivante dalla dimi-

nuzione dei consumi energetici dei compressori di tali impianti. Oggi è possibile gestire gli impianti utilizzando tecnologie che permettono di incrementare notevolmente sia la capacità di rimozione biologica dei nutrienti sia l'efficienza energetica^[5]. A tal fine Enea, dopo diversi anni di studio, ha brevettato Constance^[6], sigla che sta per Controllo

iNtelligente e geSTione Automatizzata per il trattamento di aCque rEflue, un sistema per il controllo automatizzato di impianti a fanghi attivi convenzionali a flusso continuo (CAS), ad oggi tra gli schemi più utilizzati nel mondo.

Constance ha bassi costi di installazione, ottenuti grazie alla sostituzione dei molto costosi e poco affidabili sensori per la misura diretti di ammoniaca e nitrati, con sensori per la misura di segnali indiretti, quali pH, potenziale redox (ORP) e ossigeno disciolto (DO), notoriamente molto economici e robusti. Constance ha superato brillantemente la fase di test sul depuratore di Granarolo dell'Emilia (Bo) di Hera SpA, producendo risultati che dimostrano miglioramenti medi dell'efficienza energetica di oltre il 30%, mantenendo sempre una buona efficienza depurativa anche in condizioni ambientali avverse. Constance è stato brevettato prima in Italia ed ora anche in Europa ed ENEA ha ceduto i diritti di sfruttamento del brevetto ad un'azienda specializzata di automazione e controllo, che ne sta predisponendo la commercializzazione.

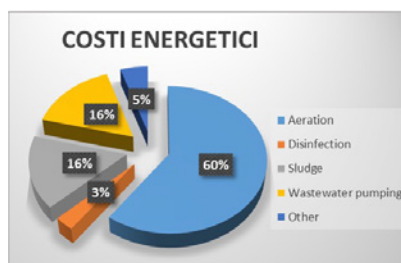


Figura 1: Consumi elettrici medi impianti di depurazione.

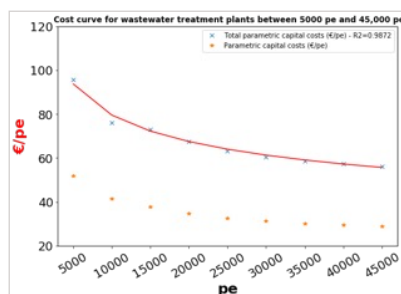


Figura 2: Costi specifici impianti di depurazione.

Gestione intelligente e controllo automatizzato di impianti di depurazione

Un sistema di controllo deve rispondere a determinati requisiti espletando automaticamente le funzioni di monitoraggio, controllo, diagnosi e supervisione. A tal fine, date le limitate informazioni misurabili, è stato necessario introdurre i cosiddetti "sistemi intelligenti", chiamati anche Knowledge Based-Systems (KBS) (Fig. 3)^[9], capaci di:

- i) identificare lo stato operativo dell'impianto,
- ii) apprendere dall'esperienza e dagli stimoli esterni, adattandosi ai cambiamenti,
- iii) definire e attuare le politiche di gestione ottimali in funzione di quanto appreso in precedenza.

Si è reso quindi necessario **definire un apposito processo decisionale**, descritto in figura 4, per il quale devono essere previsti: monitoraggio (sensori), analisi dati con classificazione degli eventi (detection), analisi di serie storiche (diagnosis), supporto alle decisioni (supporto), suggerimenti all'operatore (intervento), implementazione di politiche di gestione con effetti a medio termine (prevention), implementazione di politiche con effetti immediati (reaction) e regolazione automatica dei componenti (attuatori). Tali blocchi, che possono svolgere indifferentemente il ruolo di **classificatore**, se capace di assegnare un oggetto ad un insieme omogeneo per caratteristiche, **modellatore**, se capace di riprodurre il comportamento di

un sistema complesso tramite una rappresentazione più semplice, **ragionatore**, se deputato a collegare informazioni diverse in base a criteri impartiti in fase di programmazione, sono stati implementati utilizzando tecniche di machine learning, quali le reti neurali e il data mining (clustering), i sistemi a regole e i controllori fuzzy ^[11].

Descrizione di Constance

L'innovazione più importante di Constance riguarda l'utilizzo esclusivo dei segnali di pH, ORP e DO. Data l'alta variabilità del carico durante il giorno in termini di portata e concentrazioni degli inquinanti, molto alto il giorno, molto basso la notte e medio la sera, il sistema assume l'ipotesi di dividere la giornata in 3 fasce orarie, denominate rispettivamente ALTO CARICO, BASSO CARICO e MEDIO CARICO. La durata e gli orari delle fasce orarie non sono note a priori, ma saranno sempre individuate run-time, tramite l'analisi dei segnali di pH e DO in vasca di ossidazione. All'interno di ogni fascia oraria saranno stimate le concentrazioni del carico in ingresso, dalle quali sarà determinato il valore del set-point del regolatore PID del compressore, che risulta quindi essere variabile e funzione delle reali condizioni di processo in ogni istante, permettendo un consistente risparmio energetico. L'analisi dei segnali di pH e ORP in vasca anossica, invece, permette di stimare e predire le condizioni operative del processo di denitrificazione, stabilendo la politica di gestione della pompa di ricircolo interno al fine di mantenere efficiente il processo stesso.

L'installazione di Constance è semplice e non richiede modifiche strutturali all'impianto. Come visibile dal layout di figura 5, ci sono due sensori per la misura di pH e

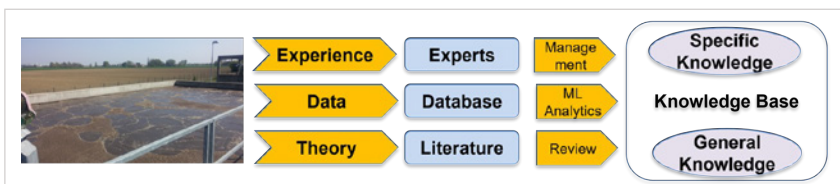


Figura 3. Schema logico implementazione dei sistemi basati sulla conoscenza.

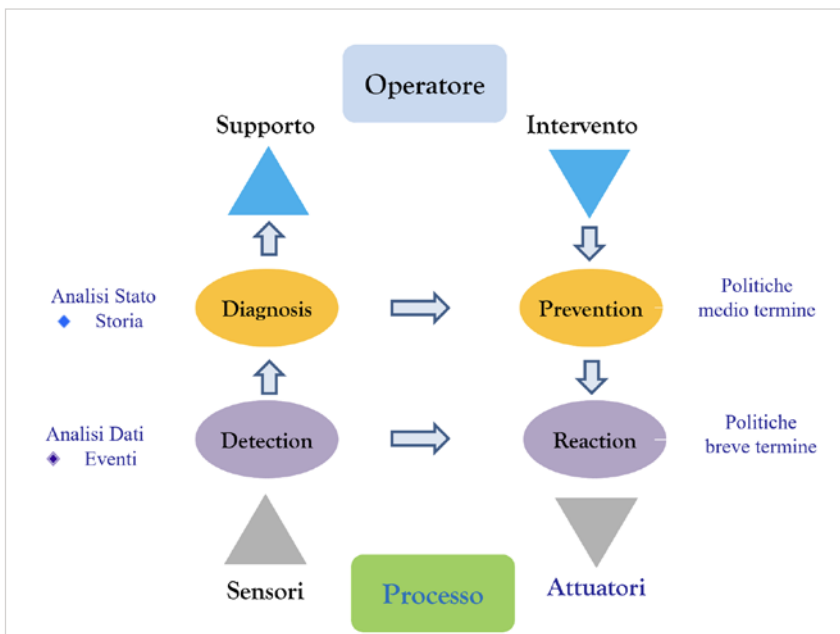


Figura 4: Schema concettuale del processo decisionale di un sistema di controllo intelligente.

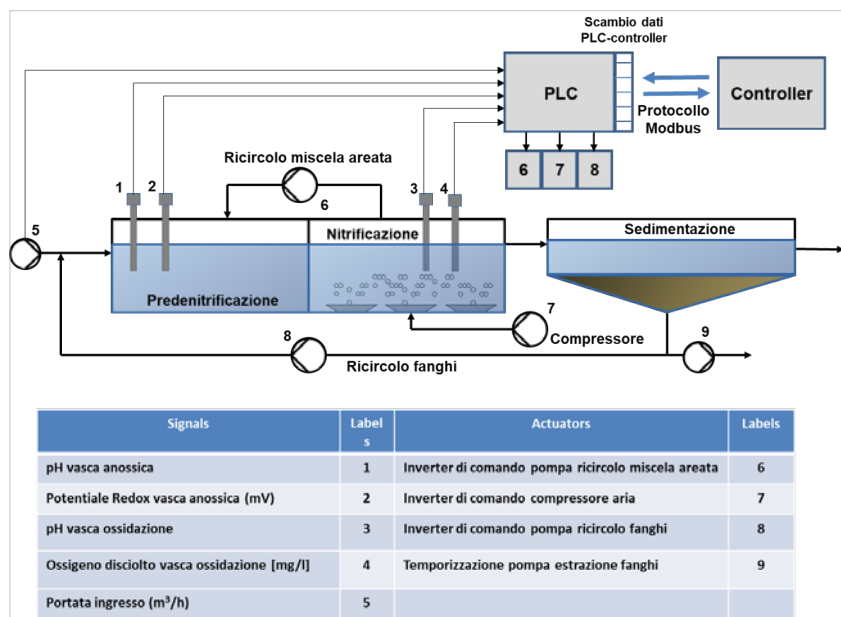


Figura 5: Layout installazione Constance.

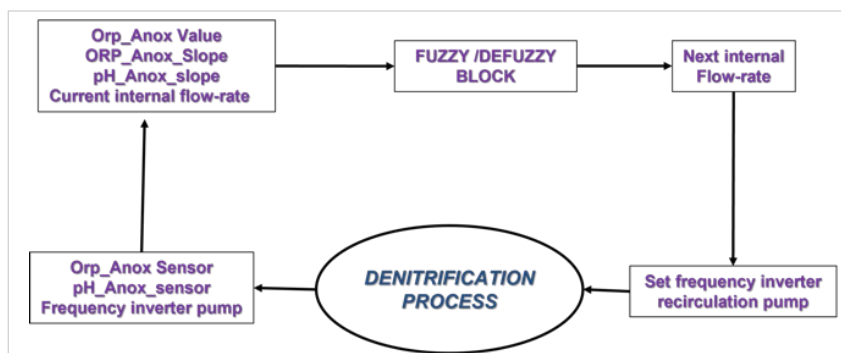


Figura 6: Controllore fuzzy della pompa di ricircolo miscela areata.

ORP in vasca anossica e due per la misura di pH e DO in vasca di ossidazione, un inverter per la variazione della portata aria del compressore e uno per la regolazione della velocità della pompa di ricircolo miscela areata, oltre l'installazione del PC industriale su cui è installato il controllore. È poi necessario implementare la comunicazione tra il PC e il PLC dell'impianto, tipicamente con protocollo industriale ModBus. Dopo l'avviamento è richiesta unicamente la verifica che la risposta dei segnali sia conforme al modello di

funzionamento generale del sistema, in attesa del raggiungimento della stabilità operativa. Il sistema non richiede particolari tarature, perché realizzato per convergere automaticamente al funzionamento ottimale, a meno di problematiche strutturali di processo e/o dimensionamento dell'impianto.

Processo di denitrificazione

L'unica variabile utilizzabile per il controllo del processo di denitrificazione risulta essere la portata della pompa di ricircolo di miscela areata,

il cui valore è stabilito in funzione delle condizioni del processo di denitrificazione, delle concentrazioni di COD in ingresso e delle concentrazioni dei nitrati in vasca di ossidazione. Non misurando direttamente le concentrazioni di interesse, tali informazioni sono stimate utilizzando la misura dei segnali di ORP e pH in vasca anossica, il cui studio in lavori precedenti ha permesso di determinare tre condizioni di funzionamento, ossidata, anossica e anaerobica^[10]. Il controllo è basato su logica fuzzy (figura 6) e permette di descrivere con regole le relazioni tra le variabili utilizzate, impostando in continuo il valore ottimale della portata della pompa di ricircolo della miscela areata, in un range che varia tra la portata nominale e la metà, arrivando a spegnerla quando necessario.

Processo di nitrificazione

I criteri per identificare le fasce di carico giornaliera e quindi attivare i rispettivi set-point, prevedono l'utilizzo di tools basati su machine learning implementati tramite l'elaborazione dei segnali di pH, DO e frequenza inverter di comando del compressore, in funzione della fascia di carico giornaliera.

Un esempio di applicazione dei criteri di riconoscimento è mostrato nel grafico di figura 7, composto di cinque ordinate rappresentanti DO e pH in vasca di ossidazione, derivata pH, derivata DO e frequenza inverter. L'andamento a gradini visualizza le tre fasce giornaliera: ALTO CARICO (dalle 11 alle 16 circa) con set-point DO pari a 2 mg/l, MEDIO CARICO (dalle 16 alle 24 circa) set-point 1.5 mg/l, BASSO CARICO (dalle 00 alle 11 circa) set-point 1 mg/l, che significa avere in vasca livelli bassi di DO per circa 11 ore, comportando un notevole risparmio in termini di aria insufflata.

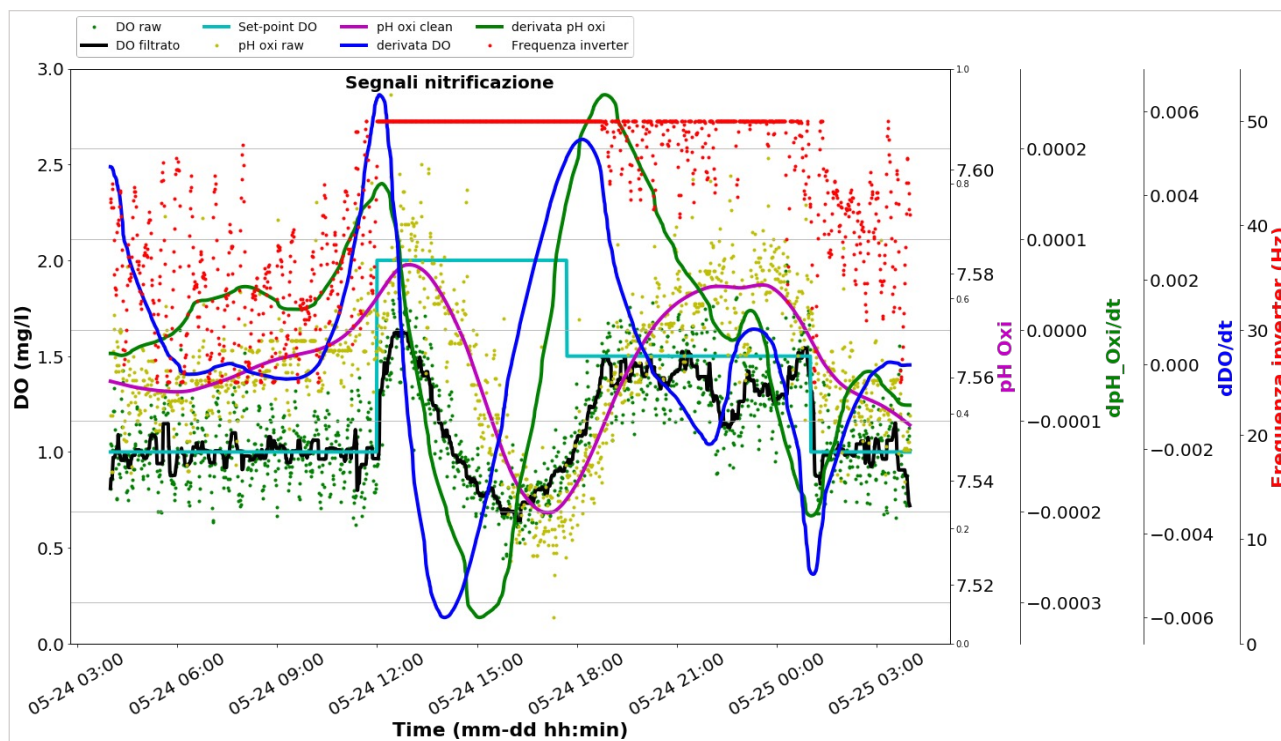


Figure 7: Riconoscimento fasce di carico giornaliero (2).

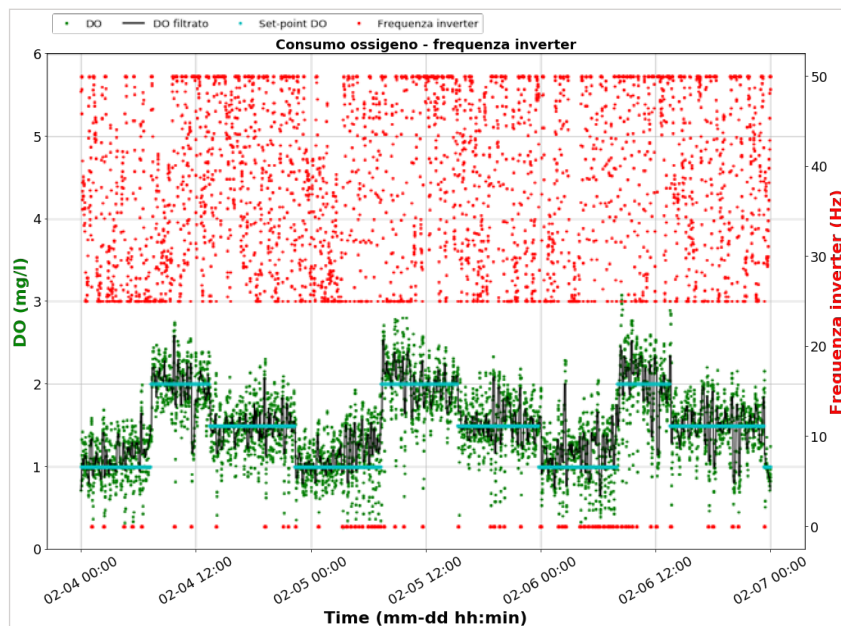


Figure 8: Andamento DO e frequenza inverter per quattro giorni consecutivi.

Consumi energetici

In generale, si è stimato che in regime di carico normale, in linea con i valori di progetto dell'impianto, si ottengono ottime performance di risparmio energetico, raggiungendo picchi del 50% rispetto al compressore non controllato. In figura 8, dove sono mostrati gli andamenti dei segnali di DO e frequenza per quattro giorni consecutivi, si può vedere come i set-point sono sempre inseguiti molto bene in qualunque condizione di carico e l'inverter modula adeguatamente la frequenza dimostrando ottimi margini di risparmio. Dalle curve caratteristiche fornite da Kaeser è stata calcolata la potenza assorbita in funzione della frequenza e quindi l'energia totale consumata, da cui risulta un **risparmio energetico medio di circa il 35%**. Data una potenza assorbita a pieno carico dal compressore di 7,62

KW a $f=50$ Hz, l'energia consumata annuale è pari a $7,62 \cdot 24 \cdot 365 = 66.8$ MWh/anno, da cui il risparmio medio ottenibile è pari a $66,8 \cdot 0,35 = 23.3$ MWh/anno. **Ad un prezzo medio di 0,15 €/KWh si possono risparmiare fino a 3500€/anno.** È importante sottolineare come il riconoscimento automatico delle fasce orarie di carico giornaliero permetta di rilevare intervalli lunghi di basso carico, durante i quali è possibile mantenere il set-point di DO più basso, producendo sempre un importante risparmio energetico.

Conclusioni

Constance è un sistema per la gestione intelligente e il controllo automatizzato di impianti di depurazione brevettato da Enea. Sviluppato nell'arco di diversi anni di studio su impianti in scala crescente, è stato testato infine su un impianto reale, dove ha prodotto risultati molto importanti. In primo luogo, ha dimostrato la fattibilità dell'uso di segnali indiretti, molto meno costosi, al posto di quelli diretti per controllare i processi biologici. Poi, ha confermato che l'ipotesi di sud-

dividere il giorno in fasce orarie è plausibile e che tali fasce sono riconoscibili, permettendo l'utilizzo della regolazione PID del compressore con set-point variabile, producendo risparmi energetici importanti. Tali risultati dimostrano la validità del sistema proposto e la praticabilità di una sua installazione su impianti di taglia inferiore a 20.000 AE, dove la variabilità giornaliera del carico è molto alta, senza escludere per questo gli impianti più grandi.

per info: luca.luccarini@enea.it

Bibliografia

1. Spagni A., Ferraris M., Mattioli D., Petta L., Brunori C. (2016). Water-energy nexus: la parte oscura del ciclo dell'acqua, cambiamenti climatici ed energia circolare. *Energia, ambiente e innovazione (EAI)*. 1/2016: 82-87.
2. Ozdemir B., Yenigun O. (2013). A pilot scale study on high biomass systems: Energy and cost analysis of sludge production. *Journal of Membrane Science* (428).
3. Olsson G., (2012). ICA and me - A subjective review. *Water research* 46, pp. 1585-1624.
4. Acampa G., Giustra M. G., Parisi C. M. (2019). *Water Treatment Emergency: Cost Evaluation Tools*. Sustainability (11).
5. Olsson, G., Nielsen, M.K., Yuan, Z., Lynggaard-Jensen, A., Steyer, J.P., (2005). *Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Treatment Systems*. Scientific and Technical Report No. 15. IWA Publishing, London, UK
6. Luccarini Luca. "Gruppo per la gestione automatizzata di impianti per il trattamento biologico di acque reflue", Brevetto Europeo per invenzione industriale n. 3390289 valido dal 12/8/2020.
7. Ruano M. V., Ribes J., Seco A., Ferrer J. (2009). Low cost-sensors as a real alternative to on-line nitrogen analysers in continuous systems *Water Sci Technol* 2009 -60(12).
8. Thürlimann C. M., Dürrenmatt D. J., Villez K. (2018). Soft-sensing with qualitative trend analysis for wastewater treatment plant control *Contr. Engin. Pract.* Vol. 70 pp 121-123
9. Luccarini L., Pulcini D., Canziani R., Giunchi D., Mello P., Sottara D. (2012). Signal monitoring toward an intelligent and automatic control of wastewater treatment plants. *Proceedings of SIDISA 2012 - Sustainable Technology for Environmental Protection, International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering - 9th Edition- Milan, 26 - 29 June 2012*
10. Luccarini L., Pulcini D., Sottara D., Di Cosmo R., Canziani R. (2017). Monitoring denitrification by means of pH and ORP in continuous-flow conventional activated sludge processes. *Desalination Water and Treatment*, 61.
11. Sottara D., Luccarini L., Mello P. (2008). Strumenti di IA per il controllo e la diagnosi dei processi biologici negli impianti a fanghi attivi. *Atti e Convegni di Ecomondo, Rimini 5-8 novembre 2008*.

Il controllo dei trialometani nei sistemi acquedottistici

Negli acquedotti è sempre più importante valutare le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua lungo l'intero suo percorso, per verificare che la concentrazione di determinati composti sia inferiore agli standard di salute vigenti. L'ENEA ha messo a punto un metodo e un sistema software per il controllo continuo, dinamico e distribuito della concentrazione e speciazione dei trialometani nei sistemi acquedottistici.

DOI 10.12910/EAI2023-024

di **Grazia Fattoruso**, Laboratorio di Sviluppo Applicazioni Digitali Fotovoltaiche e Sensoristiche, ENEA; **Guido Guarnieri**, Laboratorio di Infrastrutture per il Calcolo Scientifico e ad Alte Prestazioni, ENEA

La trasformazione digitale nella sua tendenza globale ha investito negli ultimi anni anche la modalità di erogare servizi, inclusi quelli di pubblica utilità come il servizio idrico. Si tratta di un nuovo paradigma, riferito anche come Water 4.0, in cui la tecnologia digitale diventa uno strumento per ottimizzare la gestione dei processi, per efficientare l'uso della risorsa acqua e migliorare l'attenzione all'utenza.

Sebbene il servizio idrico nazionale abbia avviato questo percorso da qualche anno, è ancora in una fase iniziale. **Le sfide più importanti e urgenti da affrontare sono quelle che da molto accompagnano il settore idrico: frenare il degrado dell'infrastruttura, garantire la qualità della risorsa idrica, migliorare il rilevamento delle perdite, soddisfare la crescente domanda di acqua, decentralizzare i sistemi idrici.** Attualmente, significativi investimenti, provenienti dal PNRR, stanno interessando il settore specifico delle reti acquedottistiche. **L'obiettivo è la digitalizzazione degli acquedotti attraverso tecnologie** (e.g., Sensori, Tecnologie di controllo e

comunicazione, IoT, Big Data, Cloud computing, Simulazioni, IA) **e soluzioni innovative che permettono di sviluppare sistemi intelligenti di monitoraggio, gestione e misura, di conoscenza a supporto delle decisioni e anche una maggiore consapevolezza dei consumi e del valore dell'acqua.**

Gli acquedotti fanno già uso di automazione e controllo delle stazioni fisse, delle stazioni di pompaggio, dei serbatoi e dei principali nodi della rete, noto come telecontrollo, basato generalmente su sistemi SCADA e PLC. I gestori sanno cosa immettono in rete, quanta acqua, con quale qualità e riescono anche a identificare rapidamente i macro-guasti sulla rete. Ma conoscono poco di ciò che accade lungo la rete, soprattutto a livello di distribuzione e fino al rubinetto dell'utente. Hanno conoscenza dei fenomeni diffusi che interessano la loro rete, dalle perdite ai prelievi abusivi, a variazioni non previste di pressioni, ad alterazioni della qualità delle acque. Tuttavia non hanno strumenti adeguati per localizzarli in tempo reale e gestirli garantendo la continuità del servizio ed un'acqua sempre sicura. Garantire che

l'acqua distribuita sia salubre e pulita fino al rubinetto è tra i compiti del gestore. **Negli acquedotti è sempre più importante valutare le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua lungo l'intero suo percorso, per verificare che la concentrazione di determinati composti sia inferiore agli standard di salute vigenti.** Nello specifico, quando l'acqua viene sottoposta ai trattamenti che ne assicurano la potabilità, tali trattamenti, prevalentemente svolti attraverso l'utilizzo di cloro, possono provocare la formazione di sottoprodotti della disinfezione (Disinfection By-Products – DBPs), cancerogeni e tossici. Tra i sottoprodotti più comuni, ci sono i trialometani (THMs) e gli acidi aloacetici (HAAs) cui fanno riferimento le normative vigenti in Italia e in diversi Stati, fissandone i valori soglia per la loro concentrazione totale, o per quella delle singole specie. **Si rende dunque necessario un monitoraggio della concentrazione dei trialometani nelle condotte idriche per verificare se detta concentrazione è inferiore al valore di soglia stabilito.**

Ad oggi sono note soluzioni per il monitoraggio che prevedono analisi

di laboratorio di campionamenti periodici e sparsi lungo la rete nonché analisi chimiche online tramite appositi analizzatori/campionatori di punto. I costi associati alle analisi di laboratorio non sono peraltro trascurabili per il gestore, seppur molto inferiori rispetto ai costi energetici (e.g. intorno al 3% dei costi energetici in un acquedotto di adduzione di medie dimensioni). La variabilità e la dinamicità di una rete idrica richiederebbero un controllo continuo, in tempo reale e sulla intera condotta idrica.

Le soluzioni ad oggi proposte non consentono di avere analisi in tempo reale e sono, generalmente, limitate solo a pochi punti della rete idrica.

Ne consegue che possono determinarsi zone d'ombra in cui possono verificarsi condizioni critiche che restano ignote per il gestore. Oppure, magari, pur rilevando la presenza di concentrazioni elevate dei THM lungo l'acquedotto, con i metodi in uso l'intervento correttivo può non risultare così tempestivo e mirato da evitare l'esposizione della popolazione servita ad una fornitura idrica non salubre.

Ottimizzare il monitoraggio della qualità delle acque

Allo scopo di fornire agli enti gestori un approccio tecnologico innovativo ed efficace per il controllo della qualità delle acque, nei laboratori ENEA CR Portici è stata messo a punto un metodo, e sviluppato un sistema software, capace di fornire una stima validata, continua, in tempo reale delle concentrazioni dei THM totali e delle singole specie lungo l'intera rete acquedottistica, consentendo di ottimizzare il monitoraggio della qualità delle acque negli acquedotti, minimizzandone i costi di gestione e favorendo le condizioni per assicurare forniture idriche sempre salubri. Lo sviluppo recente di tecnologie smart e data-driven (e.g. sensori on-line, misuratori smart e telemetria) per il monitoraggio e controllo degli acquedotti ha già orientato i gestori verso un approccio smart water network per la gestione ottimizzata della propria rete idrica. Reti di sensori on-line e sistemi SCADA monitorano in continuo e in maniera distribuita, il sistema acquedottistico rendendo disponibile una grande mole di dati sul suo funzionamento. Allo scopo di

dare un senso a questi dati, ovvero estrarre da essi quel contenuto informativo utile per prendere decisioni informate, è possibile combinare il loro flusso continuo con le capacità predittive della modellistica di simulazione nonché con quelle di apprendimento automatico dell'IA ottenendo **una gestione proattiva della rete idrica acquedottistica** nonché una gestione in tempo reale identificando anomalie e generando allerte lungo l'intera rete. Nella letteratura scientifica recente sono noti numerosi modelli di simulazione della qualità delle acque nei sistemi acquedottistici, tra cui modelli cinetici per la valutazione della concentrazione dei THM a partire da valori di un primo parametro dell'acqua (p.e. la concentrazione di cloro residuo, la sostanza organica, tra altri possibili parametri). Questi modelli sono generalmente messi a punto in laboratorio, ma sperimentati su acquedotti reali, possono tenere in conto il comportamento idraulico della rete. Tuttavia, una limitazione al loro utilizzo nella gestione di un acquedotto reale è rappresentata **dall'incerta affidabilità delle stime di concentrazione elaborate. Il metodo per il controllo dei trialometani sviluppato da ENEA fornisce una stima validata, continua delle concentrazioni dei trialometani e della loro speciazione lungo l'intera rete acquedottistica, indirizzando l'incertezza insita nella modellistica di simulazione, con un approccio integrato basato su tre tecnologie fondamentali: reti di sensori, modellistica di simulazione e algoritmi di IA.**

Il sistema si compone fondamentalmente di:

1. un segmento fisico costituito da una rete di sensori installata lungo l'acquedotto (che include sia sonde (multi-) parametriche fisse che sensori mobili i.e. human

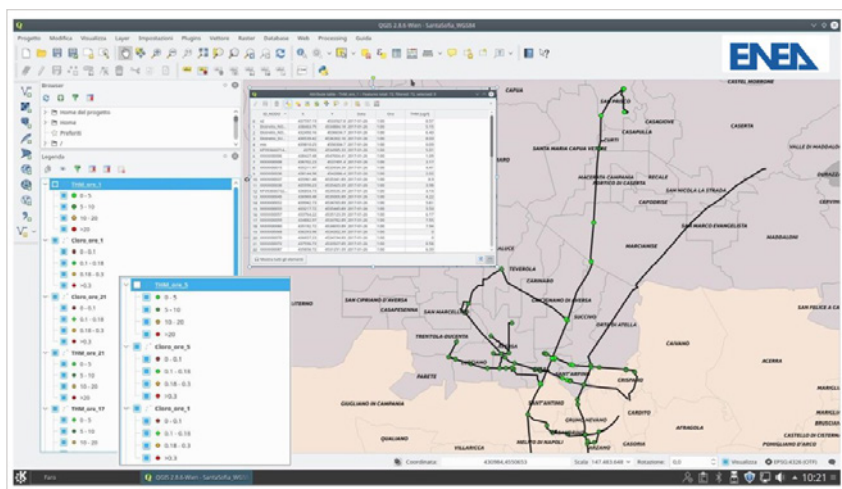


Figura 1. Consolle QGIS per la visualizzazione e l'analisi degli scenari in tempo reale o previsionali delle concentrazioni di cloro e di trialometani in ogni punto della rete acquedottistica e in ogni istante di tempo.

sensor) che monitora in continuo i parametri fisico-chimici caratteristici delle acque (e.g. cloro, pressione, portata, temperatura, ph);

2. una piattaforma multi-modello per la simulazione del funzionamento idraulico e di qualità delle acque, capace di fornire stime di concentrazioni di cloro residuo e dei THM totali e delle diverse specie in ogni nodo della rete e ad ogni istante di tempo, assimilando i dati live acquisiti dai sensori in rete;
3. una consolle GIS che riprende l'intera rete idrica di interesse come riportato, ad esempio, in Figura 1, consentendo di visualizzare e analizzare gli scenari spazio-temporali simulati. Componenti di AI, opportunamente integrate, consentono
4. l'ottimizzazione della modellistica di simulazione attraverso la definizione di schemi di posizionamento ottimale della rete di sensori;
5. la calibrazione automatica e periodica della modellistica;
6. l'assimilazione del dato acquisito in continuo dai sensori distribuiti sul sistema acquedottistico. L'integrazione in un unico sistema delle componenti descritte consente dunque di fornire stime validate delle concentrazioni di cloro e dei THM totali e delle diverse specie, lungo l'intera rete acquedottistica e ad intervalli di tempo prefissati.

La sperimentazione in campo

Il sistema sviluppato è stato sperimentato sull'intero acquedotto del Santa Sofia, una delle direttrici dell'Acquedotto della Campania Occidentale (ACO), gestito da Acqua Campania SpA. La rete di aduzione Santa Sofia ha una portata di 2000 l/s e si estende per circa 22 km. La condotta principale dipar-

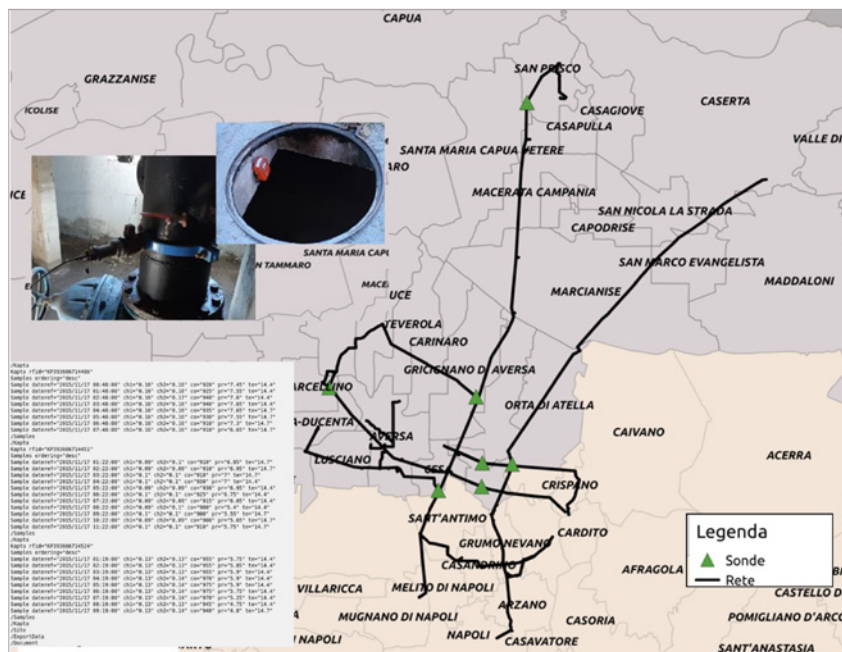


Figura 2. Rete idrica acquedottistica Santa Sofia e rete di sonde multi-parametriche che monitorano in continuo parametri fisico-chimici dell'acqua.

te dal serbatoio di San Prisco dove avviene la clorazione ad ipoclorito di sodio. Dalla condotta principale dipartono quattro derivazioni di differente diametro e materiale. Lungo l'acquedotto è installata una rete di 7 sonde multi-parametriche, VEOLIA KAPTA™3000-AC4 che misurano in continuo temperatura, pressione, conducibilità, cloro residuo (Figura 2). Per l'acquedotto del Santa Sofia sono stati implementati nella piattaforma multi-modello del sistema, oltre al modello idraulico, il modello di decadimento del cloro di John et al. (1997)^[1] e i modelli cinetici di formazione dei trialometani di Della Greca & Fabbriano (2008)^[2] e Lin & Yeh (2005)^[3]. Il primo modello di qualità è caratterizzato da una cinetica del primo ordine consentendo di valutare 12 specie di DBP ovvero 4 specie di THM e 8 specie di HAA, in funzione della concentrazione di TOC.

Il secondo modello simula la con-

centrazione dei THM totali in funzione della concentrazione di Cl residuo^[4]. Le procedure di posizionamento ottimale di una rete di sensori per il monitoraggio continuo dei parametri fisi-chimici sono stati sperimentate anche sulla rete idrica di distribuzione di Castel San Giorgio (Campania-ATO3) gestita da GORI SpA. La rete acquedottistica si estende per 60 km su una superficie di 13kmq, con una portata di 60l/s, servendo 14.000 abitanti.

Per questa rete è stato elaborato uno schema ottimale di posizionamento di 8 sonde multi-parametriche che misurano in continuo cloro e pressione.

Attualmente è in esercizio una rete di 8 sonde VEOLIA KAPTA™3000-AC4 interconnessa tramite protocollo LoRaWAN alla rete proprietaria e integrata con il sistema SCADA del gestore.

I risultati ottenuti

La consolle multi-modello del Sistema, a secondo dei parametri di qualità delle acque monitorati (i.e. Cl, TOC) lungo l'acquedotto, permette di scegliere ed eseguire i diversi modelli di qualità implementati (Figura 3), elaborando scenari predittivi di decadimento di cloro o formazione di THM (totali o delle single specie), visualizzabili tramite un livello informativo geografico nella console GIS-based. **Eseguendo, anche in parallelo, i modelli di simulazione disponibili è possibile confrontare e analizzare le stime elaborate delle singole specie o dei THM totali e quindi valutare il livello di criticità ad un certo istante nonché l'evoluzione nel tempo del fenomeno lungo i diversi tratti della rete.** Per acquedotti complessi nella struttura e di grandi dimensioni, il Sistema permette l'elaborazione dei modelli per sottoreti, individuate attraverso punti di disconnessione come impianti di sollevamento, sifoni o punti in cui sono presenti sensori per il monitoraggio delle acque. In questi punti, è possibile imporre le condizioni per avviare le simulazioni contemporaneamente per sottoreti, ottimizzando il tempo di elaborazione degli scenari di simulazione spazio-temporali.

La componente di IA del Sistema esegue un processo di ottimizzazione della modellistica di simulazione sia idraulica che di qualità delle acque attraverso la definizione di schemi ottimali di campionamento lungo la rete acquedottistica, calibrazioni periodiche e automatizzate dei modelli, l'assimilazione nei modelli dei parametri misurati, garantendo scenari in tempo reale e previsionali affidabili.

Gli schemi ottimali di posizionamento di singoli e multi-sensori lungo la rete acquedottistica sono

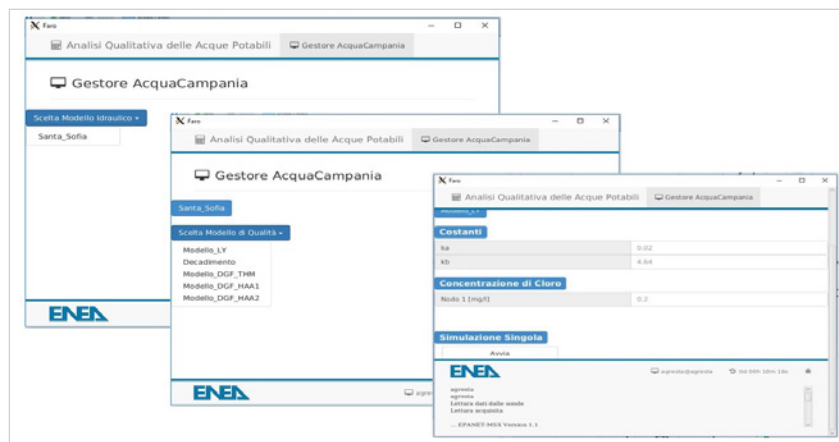


Figura 3. Consolle per la gestione della componente multi-modello di idraulica e di qualità delle acque nei sistemi acquedottistici, della calibrazione periodica ed automatica della modellistica di simulazione e della definizione dei piani ottimali di campionamento.

definiti risolvendo un problema di ottimo multi-obiettivo le cui variabili decisionali sono rappresentate dall'accuratezza di predizione sia dei parametri idraulici che di qualità delle acque nonché dalla configurazione spaziale dei sensori con il vincolo sul numero massimo. Per l'acquedotto del Santa Sofia, è stata valutata l'efficienza della rete di monitoraggio esistente in riferimento all'ottimizzazione simultanea della modellistica idraulica e della formazione dei THM in funzione del cloro residuo. Nello specifico, per esempio, si è ottenuto che al crescere del numero di sonde cresce l'accuratezza della stima sia della pressione che del cloro residuo. In particolare, in corrispondenza di una configurazione di solo 2 sole sonde multi-parametriche, l'incertezza della stima del parametro di qualità si riduce del 30% mentre quella del parametro idraulico si riduce del 60%. La configurazione attuale delle 7 sonde comporta una riduzione dell'incertezza della stima di Cl residuo pari al 40% (Figura 4).

Eseguendo una calibrazione automatica e periodica dei modelli (opzione eseguibile in automatico dal

sistema o dall'operatore tramite apposita interfaccia), il Sistema tiene in conto le reali condizioni di funzionamento dell'acquedotto. Attraverso tale procedura, periodicamente in maniera automatica sono definiti i parametri incerti dei modelli risolvendo un problema di ottimo mono-obiettivo che minimizza l'errore di stima sia dei parametri idraulici che di qualità delle acque, utilizzando le misure in continuo dalla rete di sensori presente sul sistema acquedottistico.

I modelli di qualità così sperimentati hanno restituito una stima delle concentrazioni dei THM totali e delle singole specie lungo l'intero acquedotto Santa Sofia con un errore medio intorno al 16% che si mantiene pressoché costante con una calibrazione periodica (calibrazione semestrale) e l'aggiornamento di nuove costanti cinetiche.

Attraverso l'utilizzo di questo sistema, la sala operativa dell'ente gestore di una rete idrica acquedottistica è in grado di individuare in tempo quasi reale le concentrazioni elevate di THM, quantificando le diverse specie; localizzare i tratti di rete interessati dai fenomeni di in-

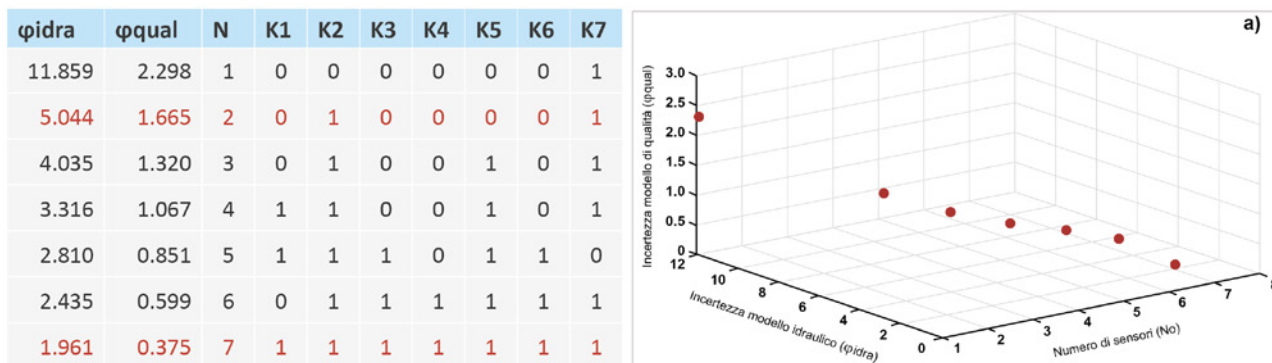


Figura 4. a) Fronte di Pareto tridimensionale per la rete Santa Sofia relativo alla minimizzazione dell'incertezza delle stime di CI residuo in funzione di quelle di pressione, al variare del numero N di multi-sensori; b) Tabella dei valori delle funzioni di incertezza associate al modello idraulico e di decadimento del CI, applicate al Santa Sofia e relativi schemi ottimali di posizionamento delle sonde multi-parametriche.

teresse; analizzare l'evoluzione nel tempo e lungo l'intera rete del fenomeno in atto; pianificare campagne di misura straordinarie definendo il numero ottimale di punti da campionare e la loro localizzazione; valutare la risposta del sistema a variazioni del dosaggio di cloro nonché ad altri possibili interventi che modificano l'idraulica del sistema; minimizzare quindi gli effetti sulla popolazione servita garantendo la continuità del servizio ed un'acqua sicura.

Approfondimenti:

Il livello di maturità tecnologica del Metodo/Sistema ENEA qui presentato è riconducibile a TRL 6 (Dimostrazione nell'ambiente rilevante). Il Metodo/Sistema ENEA è stato oggetto di un brevetto ENEA

- N.102018000006379, dal titolo "Metodo per controllare una concentrazione di trialometani in una rete idrica acquedottistica". Il brevetto è stato trasferito alla Società IDEA srl, tramite un Contratto di Concessione della licenza d'uso non-esclusiva ed onerosa, in Italia e all'estero, e del relativo know-how. IDEA è una società di ingegneria che si occupa di telecontrollo e telegestione di reti idriche e gas. Il Metodo/Sistema ENEA è nel portfolio prodotti della società e in fase di trasferimento ad un grande gestore del servizio idrico. Il Metodo/Sistema ENEA è stato ideato e sviluppato nel laboratorio iSensing&Geomatics di TERIN/FSD/SAFS di ENEA CR Portici, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Am-

bientale (DICEA) e il Dipartimento di Scienze Chimiche – Laboratorio ACE - Analytical Chemistry for the Environment, dell'Università degli Studi di Napoli Federico II; e l'ente gestore Acqua Campania Spa. L'invenzione è il risultato della collaborazione interdisciplinare di professori, ricercatori, tecnici e funzionari del settore. Il gruppo di ricerca era composto da: Grazia Fattoruso, Saverio De Vito e Girolamo Di Francia di ENEA – Lab. TERIN/FSD/SAFS, Guido Guarnieri di ENEA – Lab. TERIN/ICT/HPC; Prof. Massimiliano Fabbicino, Ing. Annalisa Agresta di UNINA-DICEA; Prof. Marco Trifuoggi e Ing. Maria Toscanesi di UNINA-Lab. ACE.

per info: grazia.fattoruso@enea.it

Bibliografia

1. John J. V. et al. Kinetics of chlorine decay. JOURNAL AWWA Vol. 89, pp.54-65 (1997)
2. Della Greca G. & Fabbicino M. DBP formation in drinking water: kinetics and linear modelling. Water Science & Technology: Water Supply–WSTWS, (2008)
3. Lin Y. & Yeh H. Trihalomethane Species Forecast Using Optimization Methods: Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Journal of Computing in Civil Engineering, (2005)
4. Fattoruso G. et al. (2020) A Software System for Predicting Trihalomethanes Species in Water Distribution Networks Using Online Networked Water Sensors. In: Di Francia G. et al. (eds) Sensors and Microsystems. AISEM 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 629. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37558-4_62

RECiProCo: Realizzazione di strumenti e iniziative sull'economia circolare a vantaggio dei consumatori

Il progetto RECiProCo realizzato da ENEA e finanziato dal MiSE (ora Ministero delle Imprese e del Made in Italy MIMIT), indirizza le proprie attività ai cittadini, nel loro ruolo di consumatori. Rendere i cittadini protagonisti del processo di transizione verso l'economia circolare, attraverso la co-ideazione e la co-progettazione di strumenti e azioni da implementare sul proprio territorio, è una delle leve principali per innescare o accelerare la gestione efficiente delle risorse. L'abbandono del modello lineare richiede, infatti, un aumento della consapevolezza e del coinvolgimento attivo dei cittadini sui temi della sostenibilità, che può essere raggiunto attraverso politiche di formazione e campagne di sensibilizzazione. Gli obiettivi di progetto possono essere così riassunti:

- **WP1:** Mappatura delle attività realizzate sui temi dell'efficienza energetica, della lotta alla povertà energetica e dell'economia circolare ai fini di un'ulteriore valorizzazione. Tale attività di raccordo con iniziative analoghe, ha favorito la creazione di sinergie tra le azioni e le esperienze in essere, affinché non vi fosse dispersione di risorse, ma al contrario un potenziamento delle stesse.
- **WP2:** Sviluppo di forme di identificazione per prodotti e servizi con ridotto impatto ambientale, attraverso l'elaborazione di una metodologia per misurare e comunicare la circolarità dei prodotti e la definizione di indicatori di circolarità sulla risorsa idrica. Per lo sviluppo di tale sistema è stato seguito un approccio di ciclo di vita, considerando i materiali di cui è costituito il prodotto (es. percentuale di riciclato, percentuale di sottoprodotto, etc.), la fase d'uso (es. durata del prodotto, riparabilità, etc.) e il fine vita (es. percentuale di materiale destinato al riciclo, etc.). Per ogni indicatore è stato individuato un metodo di misura/verifica. L'obiettivo finale, oltre che comunicare la circolarità di un prodotto in modo completo e adeguato, è supportare le imprese a identificare aree di miglioramento ambientale (ad es. attraverso l'eco-design). Per quanto riguarda l'uso della risorsa idrica, sono stati utilizzati metodi già esistenti, integrati con la valutazione dello stress idrico a livello locale/del sito produttivo. Il sistema di comunicazione, leggibile attraverso un barcode o un QR code, sviluppato all'interno del progetto, è destinato sia al consumatore finale che alle aziende, in un'ottica B2B. L'obiettivo è di ridurre da un lato gli impatti dei prodotti in un'ottica di eco-progettazione e di economia

circolare, agendo sulla fase di scelta dei materiali e componenti che li costituiscono, e, dall'altro, gli impatti complessivi delle catene di fornitura.

- **WP3:** Realizzazione di un progetto "Pilota per smart governance", al fine di promuovere l'educazione all'economia circolare, la formazione ed il coinvolgimento dei cittadini, anche attraverso la promozione e la diffusione di buone pratiche sul territorio. Il WP3, implementato su tre territori pilota (Anagnina Sabazia, Bologna e Taranto), ha permesso di ottenere il coinvolgimento attivo e diretto dei cittadini, lavorando in sinergia con associazioni di consumatori, di cittadini e il mondo della scuola, al fine di co-progettare percorsi formativi verso stili di vita e di consumo consapevoli e responsabili e realizzare specifici output a favore dei consumatori e basati sull'economia circolare.



Laboratori e Centri ENEA

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Divisione Uso efficiente delle risorse e chiusura dei cicli Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali, Sezione Supporto al coordinamento delle attività sull'Economia Circolare; BIOAG Casaccia, Bologna, Trisaia, Brindisi

Responsabile del Progetto

Claudia Brunori
claudia.brunori@enea.it

Referente tecnico

Carolina Innella
carolina.innella@enea.it

Finanziamento

€ 1.500.000

La Piattaforma Nazionale del Fosforo

La Piattaforma Italiana del Fosforo (PIF) è stata costituita a seguito della Legge 27 dicembre 2017, n. 205, come strumento di coordinamento con le politiche europee con la finalità, tra le altre, del raggiungimento dell'autosufficienza su base nazionale del ciclo di questo elemento. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, ha individuato ENEA come gestore. La Piattaforma è costituita da stakeholder attivi nel ciclo del fosforo (Tavolo Tematico) e vede la partecipazione di centri di ricerca, istituzioni pubbliche e private, aziende e associazioni per la difesa dell'ambiente. Come per altre iniziative simili, la Piattaforma nasce a valle dell'analogo European Sustainable Phosphorus Platform - ESPP <https://phosphorusplatform.eu> ed è articolata in gruppi di lavoro che affrontano la tematica dal punto di vista tecnologico, normativo ed economico (De Carolis et al., 2019).

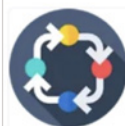
La Piattaforma, inoltre, costituisce una buona pratica nell'ambito della Piattaforma Italiana degli Stakeholder dell'Economia Circolare (ICESP).

Struttura:

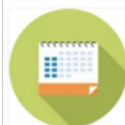
- WP1 Gestione e promozione della Piattaforma Italiana del Fosforo e del Tavolo Tematico
- WP2. Aggiornamento delle tecnologie e buone pratiche disponibili per la gestione circolare del fosforo
- WP3. Aggiornamento del tessuto normativo relativo alla chiusura del ciclo del fosforo
- WP4. Aggiornamento della situazione di mercato e studio di fattibilità del Database Nazionale del Fosforo

www.piattaformaitalianadelfosforo.it
info@piattaformaitalianafosforo.it

Principali attività del network



Imprese, Associazioni,
Istituzioni



Eventi, Seminari, Workshop



Tecnologie



Elaborazione proposte



Laboratori e Centri ENEA Dipartimento di Sostenibilità
dei Sistemi Produttivi e Terri-
toriali

Referenti tecnici Roberta De Carolis
roberta.decarolis@enea.it

Finanziamento 220.000 € (2023-2024) di cui
200.000 € finanziati

VALUE CE-IN: VALorizzazione di acque reflUE e fanghi in ottica di economia CircolarE e simbiosi INdustriale

La filiera dei trattamenti depurativi delle acque reflue municipali ed industriali offre, in affinità con i postulati dell'economia circolare, ampi margini per lo sviluppo di tecnologie atte a garantire l'effettiva chiusura dei cicli e convertire gli impianti di depurazione in una fonte di risorse idriche non convenzionali e materie prime seconde ad elevato valore aggiunto.

In tale ottica, il laboratorio Tecnologie per l'uso e la gestione efficiente di acque e reflui (SSPT-USER-T4W) dell'ENEA ha di recente coordinato il progetto VALUE CE-IN mirato allo sviluppo di soluzioni tecnico-gestionali per consentire il recupero di beni primari come la risorsa idrica, i nutrienti ed i fanghi di depurazione, anche in chiave di ottimizzazione energetica.

Il progetto ha raggiunto i seguenti obiettivi:

1. Progettazione e verifica sperimentale, presso l'impianto di depurazione di Cesena di HERA, di un prototipo di monitoraggio della qualità delle acque reflue trattate e di regolazione della fertirrigazione di colture reali con successiva verifica degli effetti del riuso su sistema suolo-pianta.
2. Messa a punto e verifica sperimentale, presso l'impianto di depurazione di Ferrara di HERA, di un prototipo su scala pilota di un fotobioreattore per la coltura di microalghe e per il trattamento di stream concentrati di processo.
3. Produzione di biochar tramite pirolisi e reforming di fanghi di depurazione e loro impiego per il trattamento depurativo di acque reflue ed effluenti concentrati.
4. Valutazione della sostenibilità tecnico-economica del processo termo-chimico di carbonizzazione idrotermale (Hydro Thermal Carbonization-HTC) come tecnologia di conversione dei fanghi di depurazione da valorizzare energeticamente attraverso processi termici.
5. Definizione di metodiche di campionamento ed analisi di contaminanti emergenti e microplastiche in acque reflue e fanghi.
6. Integrazione della piattaforma di simbiosi industriale di ENEA con funzioni di diagnostica aziendale di risorse e tecnologie per gli impianti di depurazione e relativa filiera.

Il Progetto Value Ce-In è stato il catalizzatore dell'accordo sottoscritto tra Hera Spa, Consorzio di Bonifica della Romagna e Atersir (Regione Emilia-Romagna) per valutare gli effetti dell'utilizzo delle acque reflue depurate provenienti dall'impianto di depurazione di Cesena sulle

colture arboree dell'areale irriguo servito dal Consorzio di bonifica della Romagna. In base a tale accordo, 6 milioni di metri cubi circa di acque reflue depurate potranno essere messi a disposizione, per ciascuna stagione irrigua, del Consorzio di Bonifica della Romagna attraverso l'impianto di depurazione di Cesena.



Partner industriali e di Ricerca	CIRI FRAME UniBO, Terra&Acqua Tech UniFE, LEAP PoliMI, Proambiente CNR, HERA, CAVIRO, Agrosistemi, Irritec, Alga&Zyme, PromosAgri
Laboratori e Centri ENEA	Laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui Bologna
Referente tecnico	Luigi Petta luigi.petta@enea.it
Finanziamento	Budget totale progetto: 1.118.391 € (Contributo RER POR FESR 2014-2020 e FSC: 797.874,75 €)

Trattamento dei fanghi biologici nell'ambito del Joint Cooperation Agreement ENI-ENEA

La gestione sostenibile dei fanghi biologici di depurazione rappresenta un obiettivo ambizioso non solo nel sistema idrico integrato, ma anche in quei settori industriali dove, per la natura e le caratteristiche dei fanghi generati, il loro recupero in agricoltura non è perseguibile e il destino finale è spesso rappresentato dallo smaltimento in discarica, con aggravio dei costi di gestione e dell'impatto ambientale. Se da un lato la normativa europea e nazionale invita ad approcci gestionali di economia circolare, dall'altro la carenza impiantistica spesso non permette di trovare delle soluzioni alternative a questa tipologia di smaltimento.

Il questo panorama il progetto "trattamento dei fanghi biologici", nell'ambito del Joint Cooperation Agreement stipulato tra Eni ed ENEA, ha l'obiettivo di sviluppare degli scenari per il trattamento di fanghi biologici di depurazione industriali e civili nell'ottica del recupero di energia e materia. Il progetto si propone di individuare possibili alternative di gestione e trattamento che siano in grado di ridurre l'impatto ambientale legato alle attuali modalità di smaltimento previste per i fanghi di depurazione, coniugando i vantaggi ambientali alla riduzione dei costi di gestione.

Il progetto prevede l'analisi generale dei trattamenti attualmente applicati in ciascun contesto e, contemporaneamente, l'esecuzione di caratterizzazioni analitiche a supporto della individuazione dei possibili scenari di trattamento (es. potenziale recupero di energia mediante biometano). Per ciascun sito di interesse verranno successivamente elaborate diverse alternative tecnologiche e progettuali, di cui verrà valutata la fattibilità tecnica ed economica, anche mediante il supporto di bilanci energetici.



Partner di Ricerca

ENI spa

Laboratori e Centri ENEA

Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui, Laboratorio Valorizzazione delle risorse nei sistemi produttivi e territoriali. Bologna.
Laboratorio Tecnologie per il Riutilizzo, il Riciclo, il Recupero e la valorizzazione di Rifiuti e Materiali. Casaccia

Referente progetto ENEA

Grazia Barberio
grazia.barberio@enea.it

Referente tecnico ENEA

Silvia Di Fabio
silvia.difabio@enea.it

Referente ENI

Daniele Balducci
daniele.balducci@eni.com

Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Il settore dei trattamenti delle acque reflue si configura quale sistema ad alto uso di energia, ma allo stesso tempo offre notevoli margini di efficientamento e di recupero. La ricerca scientifica e tecnologica nel campo della depurazione continua a portare allo sviluppo di apparecchiature e processi sempre più energeticamente efficienti, sia in virtù della riduzione dei consumi energetici, sia per la valorizzazione energetica dei fanghi e, in generale, per la produzione di energia in loco. Il problema principale è, però, la difficoltà e lentezza con cui il settore depurativo italiano si sta adeguando.

Nei Piani triennali della Ricerca di Sistema elettrico 2019-21 e 2022-24 il laboratorio Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui di Bologna, ha lavorato allo sviluppo di tecnologie innovative, di casi studio e di strumenti per assistere i gestori dei servizi idrici nell'efficientamento degli impianti, anche per rispondere alla continua evoluzione della normativa.

Nel triennio 2019-21 sono stati valutati vari strumenti per la conversione degli impianti di depurazione in strutture per il recupero di risorse e di energia elettrica e termica, garantendo la qualità degli effluenti allo scarico.

Le attività del triennio 2022-24 hanno l'obiettivo dell'ulteriore sviluppo delle tecnologie già proposte e lo studio di nuove. Saranno inoltre ampliati gli strumenti per la valutazione di scenari di ottimizzazione energetica basati su approcci efficienti e circolari, per fornire ai gestori dati per il benchmark e per definire le priorità di intervento. Inoltre, le attività saranno focalizzate sulle richieste energetiche della filiera del riutilizzo di reflui depurati in ambito agricolo, tramite l'analisi di casi studio. Verranno infine, in collaborazione anche con il laboratorio Laboratorio Tecnologie per il Riuso, il Riciclo, il Recupero e la valorizzazione di Rifiuti e Materiali, sperimentate nuove tecnologie di trattamento dei fanghi di depurazione per ottimizzare la gestione dello smaltimento, del recupero energetico e di materie prime. Tutto ciò, in particolare, mediante lo sviluppo di processi innovativi di upgrading biologico del biogas, trattamenti termici dei fanghi su scala da banco e pilota. Tutte le attività sono volte a migliorare la sostenibilità economica e ambientale degli impianti di depurazione italiani, in ottica di perseguimento di un bilancio energetico autosufficiente e ad emissioni ridotte, in linea con gli obiettivi delineati dalla CE nella proposta di revisione della normativa sul trattamento delle acque reflue urbane.



Partner industriali e di Ricerca

Università di Bologna (DICAM), Università di Trento (DICAM), Università degli Studi di Napoli Federico II (DICEA), Università degli Studi di Roma Sapienza (DICMA)

Laboratori e Centri ENEA

Laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui. i Bologna
Laboratorio T4RM Tecnologie per il Riuso, il Riciclo, il Recupero e la valorizzazione di Rifiuti e Materiali. Casaccia

Referente tecnico ENEA

Davide Mattioli
davide.mattioli@enea.it

Finanziamento totale del progetto

WP5 "Tecnologie e metodologie per l'efficientamento energetico del trattamento delle acque reflue e della filiera del riutilizzo idrico"
1.600.000 €

Protezione dalle alluvioni, incremento della biodiversità e miglioramento della qualità della vita nel Parco del Lura

Nella valle del torrente Lura, in Lombardia, il Parco omonimo tutela uno degli ultimi corridoi ecologici presenti nell'area tra Milano e le Prealpi, sebbene le notevoli pressioni esercitate da urbanizzazione, inquinamento e agricoltura intensiva minaccino l'integrità delle residue aree naturali e la sicurezza degli abitati limitrofi in caso di forti piene. Tra il 2015 ed il 2019 è stato portato avanti un progetto di realizzazione di aree naturaliformi di laminazione delle piene del torrente tra i comuni di Bregnano e Lomazzo (Como), per proteggere dalle esondazioni un vasto territorio a valle, compresa la città di Saronno; sono così state realizzate due vasche di laminazione in parallelo con il torrente. Nell'ambito del progetto sono stati realizzati interventi di riqualificazione ambientale riguardanti sia il corridoio fluviale del Lura sia il territorio circostante. L'opera, che prioritariamente ha funzione di difesa del territorio dalle alluvioni, attraverso un approccio progettuale multi-obiettivo ed interdisciplinare, ha prodotto nuovi habitat nel Parco, con evidente miglioramento dello stato della biodiversità, funzionali anche alla protezione degli abitati, oltre a restituire alla cittadinanza un'area dalla forte attrattiva paesaggistica e sin da subito apprezzata per le attività ricreative all'aperto; essa si configura pertanto come tipico esempio di infrastruttura verde e Nature Based Solutions, NBS, multiobiettivo e incentrata su sicurezza e biodiversità. Il Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici, ENEA, in collaborazione con il Parco del Lura, ha predisposto e coordinato un piano di monitoraggio ambientale con i seguenti obiettivi:

1. monitorare gli eventuali impatti (previsti ed imprevisti) e rilevare le alterazioni ambientali che potrebbero manifestarsi;
2. ottimizzare in corso d'opera le scelte di realizzazione del progetto per migliorare l'efficacia ecologica degli interventi e minimizzare gli impatti;
3. valutare i miglioramenti ambientali derivanti dalla realizzazione del progetto sia alla scala dell'area di intervento sia a quella di area estesa;
4. predisporre un piano di monitoraggio a medio e a lungo termine, identificando gli indicatori più idonei.



*La vasca 1 con l'area umida permanente ed il manufatto di collegamento con la vasca 2.
Sullo sfondo l'opera di presa sul torrente Lura.*

Partner industriali e di Ricerca	Parco Locale di Interesse Sovracomunale del Lura
Laboratori e Centri ENEA	Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici. Centro ENEA Saluggia
Referente tecnico ENEA	Simone Ciadamidaro simone.ciadamidaro@enea.it
Cofinanziamento	112.000 €

Sviluppo di processi biologici di conversione della CO₂ in biometano

Le tecnologie Power to Gas sono considerate uno strumento cardine per l'integrazione delle infrastrutture delle reti elettriche con la rete del gas naturale (GN): l'idrogeno (H₂) prodotto da energia elettrica rinnovabile può essere utilizzato per convertire l'anidride carbonica (CO₂) in metano (CH₄). In tale contesto, la metanazione dell'H₂ e della CO₂ può essere conseguita sfruttando un processo biologico naturale definito metanogenesi idrogenotrofa.

Tra le fonti puntuali di CO₂ che possono essere utilizzate per produrre CH₄ in presenza di H₂, vi è il biogas prodotto negli impianti di digestione anaerobica, che sono diffusi su tutto il territorio nazionale. Per cui il processo di metanogenesi idrogenotrofa può essere sfruttato come sistema di upgrading del biogas per produrre biometano da utilizzare come sostituto parziale del gas naturale e contribuire alla decarbonizzazione del sistema energetico nazionale. L'upgrading biologico del biogas può essere conseguito tramite due differenti approcci: la biometanazione in-situ, con l'iniezione diretta di idrogeno nel digestore anaerobico per la riduzione della CO₂ prodotta nel processo di digestione anaerobica, e la biometanazione ex-situ, in cui l'H₂ viene iniettato assieme al biogas in un reattore separato contenente colture arricchite di metanogeni idrogenotrofi.

Nel Piano Operativo di Ricerca (POR) finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui si è occupato dello sviluppo del processo biologico di upgrading del biogas basato sul meccanismo metanogenesi idrogenotrofa nella sua configurazione ex-situ.

Le attività di ricerca sono indirizzate allo sviluppo di componenti impiantistici che consentono da una parte di favorire l'assimilazione dei substrati gassosi (H₂ e CO₂) da parte dei microrganismi idrogenotrofi e, dell'altra, di provvedere ad una maggiore efficienza del processo di conversione in biometano. Le attività saranno sviluppate interamente su scala pilota di grande taglia per selezionare le condizioni operative ottimali da implementare in un processo ibrido di upgrading biologico del biogas, ovvero basato sull'accoppiamento di sistemi di metanazione idrogenotrofa in-situ con quelli ex-situ.



Impianti pilota di biometanazione a partire da substrati gassosi.

Partner industriali e di Ricerca

ENEA- Laboratorio processi biotecnologici per l'energia e l'industria (Coordinatore);
Università di Roma "La Sapienza";
Università "Federico II" di Napoli.

Laboratori e Centri ENEA

Laboratorio T4W - Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui di Bologna e Brasimone

Referente tecnico ENEA

Antonio Giuliano
antonio.giuliano@enea.it

Finanziamento

1.192.504 €

L'applicazione integrata delle Direttive "Natura" e della Direttiva "Acque" nei territori fluviali

L'Applicazione integrata delle Direttive "Natura" e "Acque" è tra i focus di un progetto in corso di svolgimento in collaborazione tra Laboratorio Biodiversità e Servizi Ecosistemici di ENEA e Autorità di Distretto del Bacino Padano.

Le attività riguardano diverse tematiche che comprendono, rispetto all'integrazione delle Direttive "Natura" e "Acque", l'esame dei riferimenti disponibili per la definizione di scale di valore conservazionistico e di vulnerabilità degli habitat e delle specie d'interesse comunitario presenti nei territori fluviali finalizzata alla formulazione di una metodologia per l'individuazione e valutazione dell'interazione tra corpi idrici e aree protette ai sensi delle Direttive "Natura", nonché la definizione di criteri per la definizione di Obiettivi specifici e relative Misure che possano essere compresi nel Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Po; tali misure devono essere finalizzate alla tutela ed al miglioramento degli Habitat influenzati dai corpi idrici superficiali presenti nei Siti Natura 2000.

Il progetto prevede anche ricerche per l'individuazione di criteri che possano consentire di valutare il livello di congruità ecologica degli interventi che utilizzino Nature Based Solutions.

Infine, con riferimento all'elemento di Qualità Biologica delle Macrofite, per il quale ENEA è referente nazionale per i corsi d'acqua, si prevede di affrontare tematiche quali la valutazione dell'efficacia della rete di monitoraggio esistente anche per un'efficiente tutela degli habitat acquatici e ripari anche attraverso l'individuazione e la definizione di strategie per la soluzione di gap conoscitivi nei monitoraggi attualmente utilizzati.



Il fiume Po nei pressi di Casale Monferrato (AL).

Partner industriali e di Ricerca	Autorità di Distretto del Bacino del Po
Laboratori e Centri ENEA	Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici. Centro ENEA Saluggia.
Referente tecnico ENEA	Maria Rita Minciardi mariorita.minciardi@enea.it
Cofinanziamento	90.000 €

ISSPA: Innovazione, sviluppo e sostenibilità per pesca e acquacoltura in Campania

Il progetto "Innovazione, sviluppo e sostenibilità nel settore della pesca e dell'acquacoltura per la Regione Campania" finanziato da PO FEAMP (Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca Campania 2019-2022, Linea 1.6 Misura 1.44-) ha come obiettivo la valutazione dello stato di conservazione degli ambienti e delle specie target per la definizione di specifiche strategie gestionali mediante la caratterizzazione dei principali corsi d'acqua regionali. L'individuazione dei siti di campionamento e l'analisi dei dati esistenti hanno rappresentato le attività propedeutiche alla valutazione dello stato di conservazione delle acque interne e delle specie d'interesse comunitario sull'intero territorio campano.

Nello specifico ENEA, attraverso la Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale (PROTER) del Dipartimento sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali (SSPT), si è occupata principalmente di definire il rischio ecologico associato ad una eventuale presenza di contaminanti e/o sostanze potenzialmente nocive, raccogliendo dati già disponibili e determinando le caratteristiche chimico-fisiche e lo stato ecotossicologico dei siti campionati.

I dati pregressi sulla qualità dei corsi d'acqua superficiali e dei laghi appartenenti ai siti NATURA 2000 sono stati reperiti dal monitoraggio istituzionale condotto dall'ARPAC in ottemperanza ai D. Lgs. n. 152/2006, D. M. n. 56/2009, D. M. n. 260/2010, D. Lgs. n. 172/2015, rispettivamente nel periodo 2015-2017 e nel periodo 2013-2014, sulla base delle indicazioni contenute nei Piani di settore del Piano di Gestione delle Acque redatto dall'Autorità di Distretto Idrografico.

Per quanto riguarda le attività di monitoraggio chimico-fisico dei corpi idrici sono stati presi in considerazione tutti i parametri espressi dagli indicatori LIMeco, Livello di Inquinamento da Macroscrittitori, e LTL, Livello Trofico dei Laghi, per un'integrazione nella valutazione dello stato ecologico per i corsi d'acqua e per i laghi, rispettivamente, nonché da un sottoinsieme di inquinanti specifici, ovvero sostanze pericolose prioritarie e non

prioritarie per la valutazione dello stato chimico ai sensi del D. Lgs. n. 172/2015.

Al monitoraggio istituzionale eseguito dall'ARPAC, si è proposto di aggiungere, in specifici siti di particolare interesse e/o laddove necessario, approfondimenti utili ad una valutazione chimico-fisica ed eco-tossicologica delle acque e dei sedimenti per ricercare, in particolare mercurio, nichel, piombo, rame, zinco.

La valutazione dello stato ecotossicologico è stata effettuata mediante l'applicazione alle matrici campionate di una batteria di saggi ecotossicologici con organismi modello appartenenti a diversi livelli trofici: batteri (test acuto con *Vibrio fischeri*); alghe (test cronico con *Selenastrum capricornutum*); crostacei (test acuto e cronico con *Daphnia magna*). Le informazioni acquisite sono state sistematizzate e raccolte in un database. I risultati sono stati integrati allo scopo di ottenere informazioni che potranno essere utili ad una valutazione delle risorse naturali ed alla pianificazione del loro sfruttamento.

Partner industriali e di Ricerca	Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno; Università degli Studi del Sannio; Stazione Zoologica Napoli; Università degli Studi di Napoli Federico II
Laboratori e Centri ENEA	SSPT PROTER. CR ENEA Portici; Casaccia.
Referente tecnico ENEA	Sonia Manzo <i>sonia.manzo@enea.it</i>
Cofinanziamento	120.000 €

Il progetto Blu Lakes per il monitoraggio delle microplastiche nei laghi

In questi ultimi anni ENEA ha rivolto particolare attenzione allo studio e valutazione dello stato di salute degli ecosistemi lacustri attraverso attività di ricerca e monitoraggio svolte nell'ambito di progetti come Blue Lakes ([www. https://lifebluelakes.eu/](https://lifebluelakes.eu/)).

Blue Lakes è un progetto Life Governance, coordinato da Legambiente e finalizzato a prevenire e ridurre l'inquinamento da microplastiche (MPs) nei laghi, attraverso azioni di governance, formazione, informazione e sensibilizzazione indirizzate a istituzioni, stakeholder e cittadinanza. ENEA, in qualità di responsabile scientifico per lo sviluppo, la sperimentazione e la diffusione del Protocollo Standard di Monitoraggio delle MPs nelle acque e nei sedimenti di spiagge lacustri ha condotto campagne di campionamento e analisi dati per condividere il protocollo con tecnici ARPA.

Il valore di questa attività di progetto è legata al fatto che la maggior parte della ricerca sulle MPs si è finora concentrata su mari e oceani, contribuendo quindi a sviluppare e fornire tecniche e protocolli di campionamento per i sistemi marini. Anche in termini di normativa europea, dal 2008 le MPs sono inserite come descrittore 10 nella Direttiva Quadro sulla Strategia per l'ambiente marino (2008/56). Diversamente, la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60) non considera ancora la presenza e gli effetti delle MPs sul loro stato.

L'esperienza ENEA e il protocollo Blue Lakes, pertanto, forniscono un contributo di rilievo allo sviluppo e condivisione di metodologie armonizzate necessarie:

- per migliorare la conoscenza sulla presenza e dinamica delle MPs negli ecosistemi acquatici, i cui meccanismi di trasporto nonché i percorsi piuttosto complessi non sono ancora ben compresi;
- per la progettazione e l'attuazione di programmi di monitoraggio delle MPs funzionali alle autorità di gestione responsabili della qualità delle acque dolci ed a supporto della definizione di nuovi quadri di riferimento normativi, sia nazionali che europei.



Partner industriali e di Ricerca	Legambiente; Università Politecnica delle Marche (UNIVPM); ARPA UMBRIA; Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ABDAC); Global Nature Fund (GNF); Lake Constance Foundation (LCF)
Laboratori e Centri ENEA	Biodiversità e Servizi Ecosistemici (BES). Casaccia
Referente tecnico ENEA	Maria Sighicelli maria.sighicelli@enea.it
Importo complessivo del progetto	2.530.927 €

Progetto di razionalizzazione della risorsa idrica nell'arcipelago di Palau, Micronesia

Il cambiamento climatico e i suoi impatti sul nostro pianeta sono la sfida più grande che oggi l'uomo deve fronteggiare. Come altre nazioni, anche la Repubblica di Palau, in Micronesia, sta sperimentando gli impatti negativi del cambiamento climatico, che risultano accentuati sia dalle ridotte dimensioni dell'isola, sia dalla forte dipendenza dalle proprie risorse naturali.

Nel 2016 si è verificato un ininterrotto periodo di siccità di tre mesi che ha provocato uno stato di emergenza con forti limiti di erogazione dell'acqua per uso umano. Si è assistito inoltre al prosciugamento delle due principali fonti di approvvigionamento, un lago artificiale e un fiume, che in condizioni normali sono in grado di soddisfare il fabbisogno idrico della popolazione. Inoltre, la prolungata siccità ha avuto forti impatti anche sulla vegetazione, con estese aree di disseccamento delle piante.

In questo contesto, ENEA ha realizzato un Progetto per una strategia di adattamento agli eventi estremi del clima e in particolare ai prolungati periodi di siccità legati agli effetti dell'Oscillazione ENSO. Dai risultati presentati nel rapporto Regional Statement on the Impacts of the 2015/16 El Niño and 2016/17 Climate and Tropical Cyclone Outlook for the Pacific Islands pubblicato nell'ambito del Pacific Island Climate Outlook Forum (PICOF), svoltosi nell'ottobre 2016, si prevedono nuovi impatti di El Niño. Durante il periodo di siccità, il National Emergency Committee (NEC) ha elaborato il report Immediate and Near-Term Drought Response Plan nel quale sono descritte le azioni specifiche e necessarie da intraprendere per contrastare in modo efficace le condizioni di siccità e aumentare la resilienza del territorio di fronte a tali eventi. Nel report del NEC sono state identificate due principali aree di intervento:

1. l'individuazione e lo sviluppo di nuove fonti di approvvigionamento idrico, con la realizzazione di un campo pozzi nelle aree rurali di Palau;
2. la stesura e la diffusione a livello locale di un programma educativo e di sensibilizzazione sulla tutela e la gestione sostenibile della risorsa idrica, finalizzato allo sviluppo di comportamenti consapevoli e rispettosi dell'ambiente.

Attività ENEA:

ENEA ha provveduto a monitorare il sistema di captazione delle risorse idropotabili, a valutare il fabbisogno della risorsa idrica della popolazione in condizioni normali e

di stress, a mappare le fonti di approvvigionamento e a redigere un progetto di massima per il finanziamento e la realizzazione di 13 nuovi pozzi.



Laboratori e Centri ENEA Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Referente tecnico Massimo Natale Caminiti
massimo.caminiti@enea.it

Importo complessivo del progetto 1.322.000 €

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
Laboratorio Tecnografico - Centro Ricerche ENEA Frascati

www.enea.it

NEL PROSSIMO NUMERO PARLEREMO DI:

Innovatori e Innovazione

“L'ENEA è l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Ente di diritto pubblico finalizzato alla Ricerca, all'Innovazione tecnologica e alla prestazione di servizi avanzati alle Imprese, alla PA e ai Cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile”. Così l'articolo 4 della legge 221/2015 definisce il ruolo dell'ENEA, istituzione di ricerca che sin dalla nascita negli anni '60, ha tra i suoi punti di forza la ricerca applicata, l'assistenza tecnico-scientifica a imprese, associazioni, territori, amministrazioni centrali e locali ed il trasferimento tecnologico.

Ed è proprio all'innovazione e trasferimento tecnologico, al tessuto produttivo, a come è evoluto negli anni, ai nuovi modelli e strategie, che è dedicato il prossimo numero della Rivista ENEA. Ciò nella convinzione che portare “fuori” dai laboratori i risultati ottenuti “dentro” sia una delle sfide più interessanti ma anche più complesse per chi, come noi, “ricerca l'innovazione”.

In questi anni ENEA ha cercato di incrementare e rafforzare la presenza e la collaborazione con i principali attori dell'innovazione sul territorio, non solo nel mondo della Ricerca ma anche con partners industriali, finanziari ed istituzionali, sviluppando strumenti per creare ponti fra ricerca, imprese, cittadini e PA. Molte di queste iniziative, come il Knowledge Exchange Program, il Proof of Concept, l'Atlante dell'innovazione sono descritte in questo numero della rivista, che ospita inoltre una prospettiva a tuttotondo dell'innovazione, con scenari rappresentati da numerosi esperti di trasferimento dell'innovazione, di investimenti, di organizzazione e di comunicazione, tenuto conto della crescente importanza della sinergia tra tutti questi elementi, indispensabili per costruire meccanismi di trasferimento davvero produttivi e con ricadute sul piano occupazionale ed industriale.

eai.enea.it

