

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).

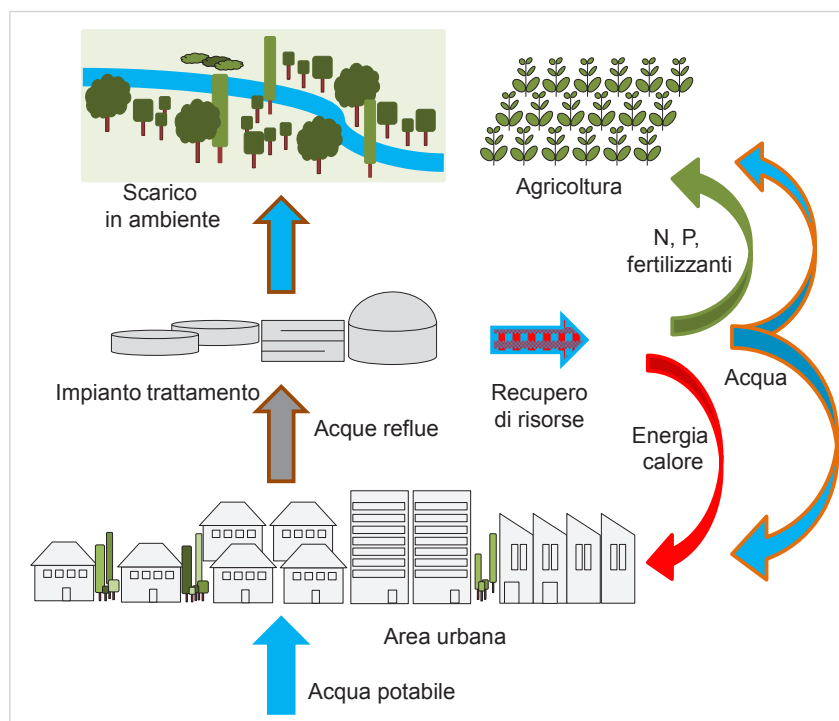


Figura 1. Ipotesi semplificata di recupero risorse dalle acque reflue (EEA, 2022).

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).

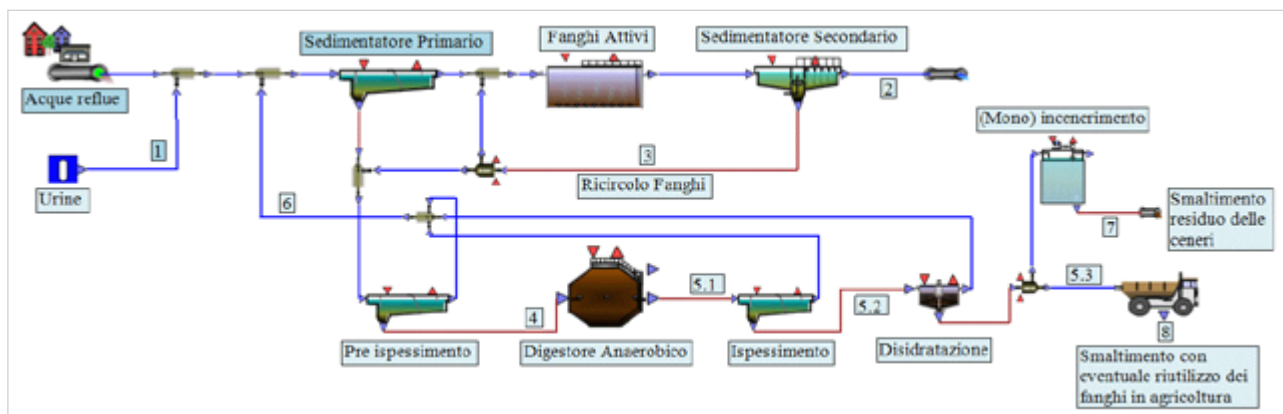


Figura 2. Schema di flusso semplificato di un impianto di trattamento reflui dove sono riportati (coi numeri) i punti potenziali per il recupero del fosforo.

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 ammoniaca 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.