

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 disidratatilità 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