

FANGHI DI DEPURAZIONE: IERI, OGGI, DOMANI – L'EVOLUZIONE DI UN PERCORSO

Roberto Canziani

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA).

Sommario

I fanghi di depurazione concentrano in meno del 2% del volume delle acque di rifiuto, oltre la metà della sostanza organica in esse contenuta. Poiché contengono anche contaminanti chimici e biologici che possono rappresentare rischi per la salute umana e l'ambiente, sono classificati come rifiuto speciale. Tuttavia, sono anche fonte potenziale di risorse che, direttamente o indirettamente, tramite processi chimico-fisici o biologici, possono portare a recuperi interessanti di varie materie.

La produzione annua globale di fanghi di depurazione nel mondo è stimata in 45 milioni di tonnellate di materia secca. In futuro si possono prevedere quantità maggiori a causa dell'espansione delle reti fognarie e/o del potenziamento degli impianti, parzialmente compensati da nuovi processi innovativi che portano a una minore produzione di fanghi (Ferrentino et al., 2023). La stima della produzione annua nella UE a 27 è di 8,1 milioni di tonnellate di fanghi umidi (dati Eurostat del 2019 riportati da Egle et al., 2023), corrispondenti a circa 2 milioni di tonnellate di materia secca. La produzione di fanghi di depurazione di acque reflue urbane in Italia è di circa 3 milioni di tonnellate (dato 2021; ISPRA, 2023), di cui circa 48 000 tonnellate sono conferite all'estero.

Parole chiave: *economia circolare, recupero di materia ed energia, fosforo, trattamenti termochimici, utilizzo agricolo.*

SEWAGE SLUDGE: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW – THE EVOLUTION OF A PATH

Abstract

Sewage sludge concentrates more than half of the organic substance in less than 2% of the volume of wastewater. Since sludge also contains chemical and biological contaminants that can pose risks to human health and the environment, it is classified as special waste. However, it is also a potential source of resources

that, directly or indirectly, through chemical-physical or biological processes, can lead to interesting recoveries of various materials. The annual global production of sewage sludge in the world is estimated at 45 million tons of dry matter. In the future, greater quantities can be expected due to the expansion of sewage networks and/or the upgrading of plants, partially compensated by new innovative processes that lead to a lower production of sludge (Ferrentino et al., 2023). The annual production estimate in the EU-27 is 8.1 million tonnes of wet sludge (Eurostat data from 2019 reported by Egle et al., 2023), corresponding to approximately 2 million tonnes of dry matter. The production of sewage sludge from urban wastewater in Italy is approximately 3 million tonnes (2021 data; ISPRA, 2023), of which approximately 48,000 tonnes are sent abroad. Today, several new technological and management options are opening up for the treatment of sludge, which, in addition to diversifying its destinations, promote the recovery of material and energy according to the principles of the circular economy.

Keywords: *circular economy, material and energy recovery, phosphorus, thermochemical treatments, agricultural use*

1. I fanghi oggi

Il destino finale dei fanghi in Europa è suddiviso tra l'utilizzo a beneficio dell'agricoltura (circa 29%), mono-incenerimento (circa 15%), co-incenerimento (16-17%), compostaggio (12%), discarica (10%) e altri destini non precisati (11%) (elaborazione da Eurostat, 2022). Tuttavia, la distribuzione dei destini nei diversi Paesi è estremamente diversificata. In Germania nel 2019 il 75% era inviato a mono-incenerimento o co-incenerimento e nessun fango era inviato a discarica, mentre in Ungheria il 95% dei fanghi finisce in discarica. Nel 2013 in Germania l'incenerimento era limitato al 55% e in Ungheria solo il 30% finiva in discarica e il 60% era destinato all'utilizzo agricolo (elaborazione da Eurostat, 2022).

* Per contatti: roberto.canziani@polimi.it

Paesi come ad esempio Austria, Germania, Svezia e Paesi Bassi hanno vietato lo smaltimento in discarica di rifiuti non trattati o hanno imposto tasse che di fatto hanno escluso lo smaltimento in discarica. Tuttavia, Croazia, Romania, Italia, Malta e Grecia smaltiscono in discarica dal 30% al 90% del volume totale di fanghi di depurazione prodotti, causa soprattutto di seri problemi di controllo dell'accumulo e della migrazione dei gas di discarica (Egle et al., 2023).

2. La normativa

La normativa europea specifica sui fanghi è ferma alla Direttiva 86/278/EEC, e un suo aggiornamento è ancora in sede di valutazione (Egle et al., 2023). Alcuni Paesi europei hanno intanto emanato norme nazionali specifiche, come, ad esempio, l'Ordinanza tedesca sui fanghi (UBA, 2017).

Il 10 aprile 2024 il Parlamento europeo ha approvato l'aggiornamento della direttiva sulle acque di rifiuto urbane nella quale si richiama l'attenzione non solo sul recupero energetico, ma anche di materie dai fanghi (art. 20), senza però entrare nei dettagli. Al momento in cui si scrivono queste note (settembre 2024) si attende ancora la ratifica definitiva da parte del Consiglio europeo, condizione per la sua effettiva entrata in vigore.

Il caso italiano è peculiare e particolarmente complesso.

Un editoriale di questa rivista (Canziani, 2016) riassume la situazione di allora e citava un disegno di legge all'esame del Senato, che, dopo otto anni, giace tuttora nel cassetto.

Nell'estate del 2018 sentenze del TAR della Lombardia e della Toscana¹, motivati da ricorsi contro alcuni spandimenti non conformi alle normative, limitavano considerevolmente la possibilità di destinare i fanghi di depurazione all'utilizzo in agricoltura. Le sentenze, infatti, oltre a includere contaminanti non presenti nella normativa italiana vigente sullo spandimento dei fanghi in agricoltura (DPR n. 99/92, sicuramente superato e inadeguato alle nuove esigenze), imponevano valori limite di concentrazione così restrittivi da portare alla sospensione di numerose attività volte all'utilizzo agricolo dei fanghi, destino usuale della stragrande maggioranza dei fanghi, non solo nel Nord Italia.

La conseguenza fu un incremento abnorme dei costi di conferimento dei fanghi da parte dei gestori del Servizio Idrico Integrato (SII), alle aziende che provvedevano al trattamento per l'utilizzo in agricoltura,

con valori anche superiori ai 200 Euro per tonnellata, contro i 60-70 Euro praticati in precedenza.

Il Governo corse ai ripari inserendo nel decreto-legge n. 109/2018 (cosiddetto "Decreto Genova", poi convertito con modificazioni dalla Legge 16 novembre 2018, n. 130), l'art. 41 che consentiva deroghe rispetto alle prescrizioni contenute nelle sentenze dei tribunali amministrativi.

Progressivamente la situazione tornò alla normalità e, tra il 2020 e il 2023, gli importi di aggiudicazione delle aste per il conferimento dei fanghi da destinare all'utilizzo agricolo scesero gradualmente a 140-150 per stabilizzarsi intorno a 90 Euro/t.

Tra il 2019 e il 2022 la Regione Lombardia ha proceduto all'aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR), approvato con delibera di Giunta regionale n° 6408 del 23/05/2022 che fornisce un quadro aggiornato al 2018 e indica alcune linee guida. Il documento comprende la sezione 7 "Programma di gestione fanghi" (pagg. 602-653) in cui, tra l'altro, si delineano alcuni scenari possibili per il destino dei fanghi di depurazione nel prossimo quadriennio, ambito temporale del Programma. In particolare, si leggono i seguenti criteri:

1. Utilizzo agronomico preferibilmente destinato per i fanghi di elevata qualità, previa verifica del loro grado di stabilizzazione;
2. Diversificazione dei destini, in modo da conferire flessibilità al sistema di gestione dei fanghi;
3. Prossimità e autosufficienza dei trattamenti, per consentire, ove possibile e conveniente, la trasformazione dei fanghi per il recupero di materiali ed energia presso i luoghi di produzione;
4. Attenzione alle tecnologie emergenti.

Nel contempo la Regione Lombardia ha anche finanziato alcuni progetti di ricerca (Perform-Water2030² e FANGHI³) nei quali si valutavano, tra l'altro, nuove tecnologie e anche processi alternativi allo spandimento dei fanghi in agricoltura.

In questi progetti è stata considerata la presenza, in particolare, di contaminanti emergenti, tra i quali spiccano le microplastiche e i composti alchilici polimerici e perfluorurati (PFAS).

3. La visione per il futuro

Storicamente, la prima via di recupero dei fanghi è stata l'utilizzo a beneficio dell'agricoltura, che, tuttavia, nel prossimo futuro potrebbe veder limitare

¹ Per un approfondimento si veda l'Allegato al contributo n. 107 dell'ottobre 2018 pubblicato da RefRicerche (Berardi et al., 2018).

² <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/it/b/30638/progetto-perform-water-2030>

³ <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/it/b/38399/forme-avanzate-di-gestione-dei-fanghi-di-depurazione-in-un-hub-innovat>

sempre più le possibilità di applicazione, sia a causa delle crescenti preoccupazioni sulla presenza di contaminanti non inclusi nelle attuali normative, sia a causa delle molestie olfattive causate talvolta da pratiche non corrette di spandimento, anche di fanghi non sufficientemente stabilizzati.

Tuttavia, se la destinazione in agricoltura fosse l'unica modalità di conferimento dei fanghi, i gestori del SII dovrebbero affrontare problemi non trascurabili, come nel caso dell'anno 2018 sopra citato, se questa via subisse gravi limitazioni o impedimenti. Da quell'anno, molti gestori si sono attrezzati per disporre di più sbocchi cui destinare i fanghi: dal co-incenerimento in cenerie o in forni per la termodistruzione di rifiuti urbani, al co-compostaggio con scarti agro-zootecnici, alla produzione di gessi di defecazione, o, in prospettiva, almeno per l'Italia, al mono-incenerimento, tecnologia già ampiamente diffusa in Svizzera, Germania, Danimarca, Olanda e Francia.

In un orizzonte temporale che vada oltre il prossimo quadriennio, occorre ampliare la visione sul destino dei fanghi. Gradualmente i fanghi dovrebbero entrare nell'economia circolare (EC), divenendo una materia dalla quale recuperare risorse.

Tra gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDG) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, gli obiettivi 6.2 e 6.3 dell'SDG-6 sono rivolti a "raggiungere l'accesso a servizi igienici e sanitari adeguati ed equi per tutti..., ...aumentando sostanzialmente il riciclaggio e il riutilizzo sicuro a livello globale...". Inoltre, gli obiettivi 12.2 e 12.4 dell'SDG-12 riguardano una "gestione e un uso sostenibili delle risorse naturali" e una "gestione responsabile di sostanze chimiche e rifiuti" (Nazioni Unite, 2015).

Negli ultimi anni i principi dell'EC hanno guadagnato molta popolarità in quanto contribuiscono certamente all'uso sostenibile delle risorse. Tuttavia, l'EC deve essere compatibile con il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità, e ciò vale anche per i sistemi di gestione delle acque reflue e dei fanghi.

Secondo questa visione (Spinosa e Canziani, 2024) occorre sviluppare:

- un nuovo modo di pianificare e progettare: i trattamenti delle acque devono essere previsti o adattati in funzione dei destini dei fanghi prodotti, cosicché la linea di trattamento dei fanghi diventi l'elemento prioritario nella progettazione di adeguamenti e potenziamenti degli impianti di depurazione;
- l'identificazione di modalità di pianificazione e progettazione capaci di consentire l'applicazione pratica ed efficace di soluzioni che integrino lo sviluppo sostenibile con l'economia circolare, nel rispetto dei principi della salute umana e ambientale secondo una visione unitaria ("one health"; ISS, 2022).

Accanto alle tecnologie consolidate e mature, sono state recentemente concepite e sviluppate nuove tecnologie che consentono di massimizzare il recupero di materia dai fanghi, di cui alcune hanno già raggiunto un TRL ("Technology readiness level" o livello di sviluppo tecnologico) molto vicino all'applicazione commerciale su larga scala.

4. Nuove tecnologie per il recupero di materia dai fanghi

4.1. Gessi di defecazione

Da qualche anno i gessi di defecazione sono presenti nel panorama delle tecnologie di trasformazione dei fanghi in prodotti conformi alle norme sui fertilizzanti (D.Lgs 75/2010). Per conseguire tale conformità, i fanghi da cui produrre i gessi non possono avere concentrazioni di metalli pesanti superiori ai limiti indicati per l'utilizzo agricolo. Il processo si basa sulla stabilizzazione chimica mediante trattamento di acidificazione con acido solforico e successiva neutralizzazione con calce. Le prime esperienze, condotte in qualche caso da aziende poco scrupolose, hanno suscitato perplessità e opposizione sia per gli odori che il prodotto emanava, sia per la non tracciabilità della provenienza.

Per questo motivo i gessi sono stati nuovamente classificati come rifiuti, rientrando così nelle competenze di controllo delle ARPA. L'ARPA Piemonte ha messo a punto un progetto per il controllo e il monitoraggio dei gessi⁴, e anche la Regione Lombardia ha dato disposizioni per la loro corretta applicazione⁵.

Ultimamente sono apparsi in commercio prodotti inodori originati da fanghi di depurazione sottoposti a processi modificati rispetto a quello originario. Oltre ad avere costi competitivi con altre tecnologie (ad es.: l'essiccamento termico), il nuovo prodotto rientra nei parametri previsti dal D.Lgs 75/2010 per i prodotti fertilizzanti ed è facilmente stoccabile e trasportabile, consentendo una produzione continua nell'arco dell'anno.

4.2. Processi termochimici

Accanto ai processi basati sulla stabilizzazione chimica, sono stati sviluppati anche per i fanghi di depurazione processi termochimici già applicati con successo anche a biomasse legnose e scarti agro-zootecnici.

⁴ <https://www.arpa.piemonte.it/notizia/un-progetto-sui-gessi-defecazione-per-migliorare-controlli-monitoraggi>

⁵ <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Rifiuti/indicazioni-applicazione-art-15-lr15-2021-gessi-defecazione-da-fanghi/indicazioni-applicazione-art-15-lr15-2021-gessi-defecazione-da-fanghi>

4.2.1. Incenerimento e mono-incenerimento

Il recupero di energia, fosforo e inerti dai fanghi tramite incenerimento è una via sostenibile per i fanghi inidonei allo smaltimento tramite compostaggio o riutilizzo diretto in agricoltura o per i fanghi per i quali l'avvio a utilizzo agronomico non sia conveniente per motivi logistici, economici o di disponibilità dei recapiti idonei.

Il potere calorifico inferiore (PCI) dei fanghi di depurazione non stabilizzati, con secco di circa il 35% e frazione combustibile dell'80% sul secco, è di circa 8 MJ/kg, valore che consente l'incenerimento alla temperatura di almeno 850°C senza combustibili ausiliari, che vengono utilizzati solo nelle fasi di accensione e spegnimento del forno. L'incenerimento può essere effettuato in impianti dedicati ai soli fanghi (mono-incenerimento) o per co-incenerimento in impianti di incenerimento per rifiuti urbani o in cementerie.

Il mono-incenerimento, oltre al recupero energetico, riduce il volume dei fanghi a meno del 10% di quello dopo disidratazione meccanica, consente la distruzione termica di composti organici tossici e garantisce l'assenza di emissioni odorigene.

La co-combustione presso cementifici come combustibile solido secondario è una buona pratica di economia circolare perché consente di incorporare la frazione inerte nel clinker e di utilizzare il contenuto energetico della frazione combustibile. Tuttavia, attualmente, il fango non viene valorizzato ma, relegato allo status di rifiuto, vengono chiesti sempre maggiori costi unitari per il suo ritiro e recupero, in un regime di mercato caratterizzato da un unico operatore in grado di rispondere ai fabbisogni.

Si auspica che nuove norme che promuovano l'economia circolare consentano la valorizzazione dei fanghi come materiale ausiliario per le cementerie. Oggi il D.Lgs 205/2010 (che ne disciplina l'utilizzo e i vincoli) concepisce la possibilità che il fango essiccato possa diventare un CSS "non rifiuto", ma impone limiti qualitativi che nessun fango essiccato può rispettare.

L'utilizzo dei fanghi in fornaci per laterizi, ceramiche, grès, non è invece praticato per diversi motivi, tra i quali i principali sono: l'iter burocratico per ottenere l'autorizzazione a trattare rifiuti; l'aggravio dei costi di analisi e di gestione amministrativa per il controllo sui fanghi conferiti per la verifica della loro idoneità alla combustione nella fornace; gli oneri aggiuntivi per le opere di trattamento dei fumi richieste dall'Ente che autorizza il trattamento di rifiuti nella fornace; l'incertezza dell'evoluzione normativa che potrebbe rendere impossibile il rispetto dei limiti alle emissioni con le installazioni in essere e renderebbe vano l'investimento sul trattamento fumi o ridurrebbe notevolmente la percentuale di fanghi da alimentare alla fornace; i costi inerenti alle ope-

razioni amministrative e operative precedenti e conseguenti alle ispezioni degli enti di controllo.

Di fatto oggi nessuna fornace per laterizi o materiale ceramico utilizza fanghi come combustibile e/o materiale ausiliario.

Infine, il co-incenerimento con rifiuti urbani va considerato come opzione residuale. Nel caso che tale aggiunta sia conveniente per ridurre il carico termico alla griglia di combustione, vale la pena di considerare altre fonti a basso potere calorifico, anche considerato che per la co-combustione vanno comunque previste specifiche modalità e componenti meccaniche per l'alimentazione sia per i fanghi disidratati sia per quelli essiccati.

Nel processo di co-incenerimento con la frazione secca indifferenziata dei rifiuti urbani, il fosforo presente nei fanghi di depurazione viene diluito a valori che non ne rendono conveniente il recupero.

Tra le due opzioni (mono-incenerimento e co-incenerimento) la tendenza europea è orientata verso il mono-incenerimento, come ad esempio indicato nella recente normativa tedesca e austriaca sui fanghi per incentivare il recupero di fosforo, come metodo tecnicamente consolidato. In Germania sono attivi o stanno per esserlo, 40 impianti di mono-incenerimento dei fanghi⁶ e molti altri sono operativi in Francia⁷, Olanda⁸, Svizzera⁹ e Danimarca¹⁰.

4.2.2. Pirolisi e gassificazione

A differenza dell'incenerimento, si tratta di processi che riducono al minimo l'apporto di aria comburente. Tuttavia, sono ancora poche, anche se in via di sviluppo, le applicazioni di questi processi.

La *pirolisi* (es.: Agrafti et al., 2013) è un processo endotermico (richiede energia termica) ma consente di recuperare una fase solida ("char") e consiste nella decomposizione termochimica di materiali organici in assenza di ossigeno.

In particolare, oggi le esperienze più promettenti per il trattamento dei fanghi sono orientate alla *piro-*

⁶ <https://www.ecoprog.com/publikationen/wasserwirtschaft/kommunale-klaerschlammsorgung-2035.htm>

⁷ Le Havre (<https://www.suezwaterhandbook.fr/etudes-de-cas/traitement-des-eaux-usees/station-d-epuration-Le-Havre-France>); Tolone (<http://www.var.gouv.fr/ceo-veolia-step-amphitria-cap-sicie-a8191.html>)

⁸ <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/phos4you-phosphorus-recovery-from-waste-water-for-your-life/news/phos4you-in-rotterdam-nl/>; potenzialità di 400 kt/anno con contenuto di fosforo di 80 g/kg di ceneri.

⁹ Cantone Zurigo: <https://www.mogroup.com/corporate/media/news/2016/3/sustainable-sewage-sludge-incineration-for-zurich-canton/>

¹⁰ <https://stateofgreen.com/en/partners/ramboll/solutions/sludge-for-energy-in-copenhagen-biofos/>

lisi lenta o di carbonizzazione, caratterizzato da bassa velocità di reazione e temperature comprese tra 300 e 500°C, in modo da massimizzare la resa dei prodotti solidi (Salimbeni et al., 2023).

Il prodotto solido ottenuto può essere idoneo all'uso agronomico, purchè rispetti i limiti della normativa europea sui fertilizzanti (regolamento 1009/2019). In alternativa è utilizzabile come combustibile per la produzione di energia.

A differenza della pirolisi, che è un processo condotto in totale assenza di ossigeno, la *gassificazione* consiste nell'ossidazione parziale della sostanza organica per dare origine a un prodotto gassoso e a un residuo solido carbonioso. Il gas ottenuto (syngas) è composto principalmente da idrogeno (H_2), ossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), azoto (N_2), e tracce di idrocarburi. L'ossidazione parziale è esotermica e avviene a temperature comprese nell'intervallo 500-1400°C in presenza di aria, ossigeno puro, vapore o una combinazione di questi gas. La scelta del comburente è importante per determinare la composizione del gas prodotto.

Mentre per la gasificazione di biomasse solide sono stati installati diversi impianti, soprattutto in Germania¹¹, per il trattamento dei fanghi, a tutt'oggi, sono stati messi in esercizio pochi impianti, sempre in Germania (Coblenza, Balingen, Mannheim)¹².

4.2.3. La carbonizzazione idrotermica (HTC)

L'HTC, nata per trattare vari flussi di rifiuti organici (ad esempio, rifiuti agroindustriali, frazione organica di rifiuti solidi urbani) è stata recentemente applicata anche ai fanghi di depurazione (Wang et al., 2019). I fanghi umidi vengono riscaldati in un reattore chiuso dove avviene l'idrolisi seguita da reazioni secondarie come disidratazione, decarbossilazione, aromatizzazione, (de)polimerizzazione e condensazione. Il prodotto che si ottiene è un flusso acquoso (slurry) che contiene una componente solida (denominata hydrochar, HC) una componente gassosa, composta principalmente da CO_2 e piccole frazioni di CO, CH_4 e H_2 . Mentre la valorizzazione dei prodotti liquidi e gassosi è ancora in fase di studio, sono state condotte ulteriori ricerche sul riutilizzo di HC (Gonzalez et al., 2022).

Le materie prime e le condizioni operative dell'HTC influenzano le caratteristiche dell'HC, che a loro volta influenzano le possibili vie di recupero (Boniardi et al., 2024):

1. come ammendante o miglioratore del suolo, per migliorare le proprietà del suolo (ad esempio, capacità di ritenzione idrica e capacità di scambio cationico) o il contenuto di macro e micronutrienti (ad esempio, N, P, K, Cu, Zn);
2. come adsorbente di origine biologica, per la rimozione di contaminanti in soluzioni acquose (ad esempio, metalli pesanti come Cd, Cu, Pb, Zn e coloranti come il blu di metilene);
3. come combustibile per la co-combustione grazie al suo buon potere calorifico;
4. come fonte secondaria di fosforo.

4.3. Recupero di materia dai fanghi

4.3.1. Recupero di fosforo e inerti

Il fosforo rimosso dalle acque di scarico urbane si concentra nei fanghi in funzione del rendimento di rimozione dei processi presenti nella linea acque dei depuratori. La frazione preponderante (circa l'80-85%) si concentra nella frazione solida. Il rimanente è nella frazione liquida separata dai processi di ispessimento e disidratazione meccanica.

Dalla frazione liquida è possibile recuperare un sale fosfatico, la struvite mediante processi di precipitazione (precipitato amorfo) o cristallizzazione (precipitato cristallino). In funzione delle condizioni operative adottate (es. aggiunta di fonti esterne di Mg o Ca, pH, tempo, temperatura, rapporto stechiometrico molare, configurazione del reattore) si possono ottenere diversi precipitati (es. fosfato di calcio amorfo (Ca-P), fosfati di calcio cristallini come idrossiapatite (HAP), mone-tite, brushite o fosfati di magnesio come struvite (Magnesium Ammonium phosphate, MAP) o fosfati di Fe).

Se il fango viene sottoposto a trattamento termico che volatilizza la sostanza organica, il fosforo si concentra nella frazione inerte, costituendone dal 6 al 10% in peso come elemento (P) o, in termini equivalenti, dal 14 al 25% in peso come anidride fosforica (P_2O_5), cui si fa generalmente riferimento per valutare il tenore di fosforo nelle rocce fosfatiche.

Nei fanghi lombardi si è visto che il contenuto medio di fosforo (P) è di circa l'8% in peso sulle ceneri, pari al 18% in peso come P_2O_5 .

Alcuni Paesi europei, tra i quali Svizzera¹³, Germania (UBA, 2017) e Austria¹⁴, hanno introdotto normative per il recupero del fosforo dalle ceneri generate da trattamenti termici di combustione dei soli fanghi. Il co-incenerimento di fanghi e rifiuti solidi in impianti di termovalorizzazione di rifiuti urbani non è consi-

¹¹ <https://task33.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/33/2022/06/Germany-7.pdf>

¹² <https://kopf-syngas.de/en/references/?lang=en>

¹³ https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/en#art_15

¹⁴ https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/recht/vo-abfallverbrennung.html

gliato, perché diluirebbe il contenuto di fosforo nelle ceneri abbassandone la concentrazione a valori inferiori a quelli ritenuti idonei per il recupero del fosforo.

Questi Paesi non hanno optato per un incentivo per il recupero del fosforo, ma prevedono (e alcuni siti esistono già) dei siti di stoccaggio, da utilizzarsi laddove non esistano ancora tecnologie industriali in grado di ricevere e utilizzare le ceneri dei fanghi (cit. nota 122).

Gli impianti industriali di recupero del fosforo esistenti o in corso di costruzione sono dettagliati in un rapporto a cura della European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP, 2023), nel quale sono riportate le tecnologie di recupero dalle ceneri e per il recupero della struvite dai flussi liquidi.

Per il recupero di P dalle ceneri è possibile prevedere in regione Lombardia uno o due impianti di recupero, possibilmente presso i monoinceneritori più grandi.

Il costo del recupero del fosforo è oggi maggiore del prezzo del fosforo da rocce fosfatiche, come anche i biopolimeri e la cellulosa recuperata comportano ad oggi costi superiori ai prezzi degli equivalenti ottenuti da materiali vergini. Tuttavia, le ridotte esternalità, la minore produzione di rifiuti e la riduzione degli inquinanti dispersi in ambiente, motivano lo sviluppo del recupero di materia anche dai fanghi di depurazione, e rientrano pienamente nell'ambito della economia circolare.

Nel breve/medio termine è possibile incentivare il recupero del fosforo, anche agendo sulla tariffa del servizio idrico: un aumento della tariffa del servizio idrico dell'ordine di qualche centesimo per metro cubo di acqua (a seconda della tariffa praticata e della scala dell'impianto) consentirebbe di immettere sul mercato il prodotto con P di recupero a prezzi concorrenziali con il minerale di P da fonti naturali. Naturalmente, la disponibilità a pagare da parte dell'utente va motivata informando che l'aumento tariffario (anche se minimo) serve a sostenere operazioni di recupero di risorse (non solo acqua depurata per riuso irriguo, ma anche le risorse ottenute dai fanghi).

Nel tempo, l'incremento del prezzo del P da fonti naturali (già raddoppiato negli ultimi 15 anni) arriverebbe a pareggiare il costo per la produzione di P da recupero, senza dover più gravare sulla tariffa.

Un'ulteriore incentivazione verrà dall'aggiornamento delle norme europee sulle Categorie di Materiali Costituenti (CMC) dei fertilizzanti che dovrebbe includere anche i prodotti derivati da fanghi e loro ceneri.

Infine, gli inerti che residuano dall'estrazione del fosforo o le ceneri stesse possono essere recuperate in cementerie o direttamente, percentuali del 25-30% come materiale sostitutivo della sabbia per il confezionamento di malte cementizie per manufatti che non richiedano elevate prestazioni strutturali (Ottosen et al., 2022).

4.3.2. Recupero di biopolimeri

Il recupero di biopolimeri dai fanghi richiede un trattamento biochimico specifico che concentri dei biopolimeri nelle cellule batteriche, dalle quali vengono poi estratti e avviati a una successiva lavorazione per la produzione di bioplastiche (Frison et al., 2015; Feng et al., 2019). Da 1 kg di fanghi come sostanza secca si possono recuperare circa 40 grammi di biopolimeri. Il residuo (pari al 96% della materia di partenza) va destinato alla digestione anaerobica e a successivi trattamenti per il recupero, ad esempio, di fosforo e inerti.

5. Conclusioni

Non esiste una tecnologia che vada bene sempre e dovunque, a causa, non solo delle specificità e caratteristiche della tecnologia, ma dei vincoli esterni, imposti dai contesti urbanistici e territoriali locali, oltre che dalla accettabilità sociale e dai percorsi di presentazione delle iniziative alla pubblica opinione. Per ogni singolo caso vanno considerati criteri gestionali e tecnologie diverse, considerando tutto l'insieme del sistema, a partire dal bacino servito all'impianto singolo.

Nella gestione dei fanghi è entrato prepotentemente il concetto di economia circolare, anche se la strada per ottenere prodotti "end-of-waste" dai fanghi (che sono rifiuti) è ancora lunga.

L'End of Waste riguarda la cessazione della qualifica di rifiuto al termine di un processo di recupero. La normativa sugli "End-of-Waste" è attualmente esplicitata nell'art. 6 della Direttiva 2008/98/CE recepita nell'art. 184 ter del D.Lgs 152/2006. In mancanza di un regolamento europeo sulla possibilità di convertire un materiale da rifiuto a EoW, occorre un decreto specifico del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.

In pratica, la cessazione della qualifica di rifiuto richiede che non solo sia possibile, ma che esista il mercato per l'utilizzo del materiale in un processo produttivo e che questo sia certificato dal Ministero o dalla Commissione Europea.

Nel caso delle ceneri e dei loro derivati, questa possibilità non è oggi concreta, in quanto chi usa questi materiali nei propri cicli produttivi li considera rifiuti e, come tali, chiede una tariffa per accettarli. Lo stesso vale per il biochar da fanghi per il quale è stata fatta la richiesta di inserirlo tra i prodotti compresi nella lista del Regolamento 1009/2019.

Solo se si realizzasse una concreta concorrenza tra utilizzatori, allora si creerebbero le condizioni per cui i produttori del rifiuto da convertire in EoW potrebbero far valere la loro posizione come fornitori di un materiale utile ai processi produttivi e richiedere un intervento regolamentare che lo sancisca.

Non si può prevedere a breve quale sia l'evoluzione della regolamentazione ufficiale per questi materiali,

soprattutto per la scarsità degli operatori attivi a livello industriale.

Alcune linee d'azione per promuovere una regolamentazione EoW per i materiali prodotti a partire dai fanghi si possono citare:

- norme che richiedano tassi di recupero per i nutrienti dai fanghi
- aprire il mercato dei nutrienti ottenuti da fanghi e loro derivati;
- non vietare l'EoW solo in base all'origine dal materiale;
- specificare criteri EoW per ciascun mercato.

Regola aurea per chiudere il ciclo della sostanza organica e dei nutrienti è l'equilibrio tra recupero di materia e consumi di energia, ricordando che nessun ciclo si chiude al 100% senza dispendio di energia.

Secondo i nuovi paradigmi che vogliono che gli impianti di depurazione evolvano verso "bioraffinerie", le azioni per il potenziamento e adeguamento devono considerare prioritariamente il destino preferenziale che si vuole dare al fango, valutandone le caratteristiche e adeguando anche la linea di trattamento dell'acqua per ottenere un fango che sia idoneo al destino che gli si vuole dare.

Riferimenti bibliografici

- Agrafioti E., Bouras G., Kalderis D., Diamadopoulos E. (2013) Biochar production by sewage sludge pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 101, 72-78, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.02.010>
- Berardi D., Tallarigo M., Traini S. (2018) Contributo n. 107 – Acqua – I fanghi della depurazione: l'acqua entra nell'economia circolare, ottobre 2018, <https://laboratorioref.it/i-fanghi-della-depurazione-lacqua-entra-nelleconomia-circolare/>
- Boniardi G., Sessolo L., Gelmi E., Turolla A., Canziani R. (2024), Targeting phosphorus recovery from sewage sludge while preventing contaminant spread via combined hydrothermal carbonization and wet chemical extraction. *Separation and Purification Technology*, 339, 126620, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126620>
- Canziani R. (2016) I fanghi, inevitabili prodotti della depurazione delle acque di rifiuto, *Ingegneria dell'Ambiente*, vol. 3, n. 3, 177-178, <https://doi.org/10.14672/ida.v3i3.743>
- Egle, L., Marschinski, R., Jones, A., Yunta Mezquita, F., Schillaci, C. and Huygens, D., (2023) Feasibility study in support of future policy developments of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC), Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://doi.org/10.2760/305263>, JRC134591.
- ESPP (2023) P recovery technology inventory, <https://www.phosphorusplatform.eu/activities/p-recovery-technology-inventory>
- Eurostat, 2022. Sewage sludge production and disposal [env_ww_spd] [WWW Document].
- Feng C., Lotti T., Canziani R., Lin Y., Tagliabue C., Malpei F. (2021) Extracellular biopolymers recovered as raw biomaterials from waste granular sludge and potential applications: A critical review, *Science of the Total Environment* 753, 142051, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142051>
- Ferrentino R., Langone M., Fiori, L. and Andreottola, G. (2023). Full-Scale Sewage Sludge Reduction Technologies: A Review with a Focus on Energy Consumption. *Water*, 15, 615. <https://doi.org/10.3390/w15040615>
- Frison N., Katsou E., Malamis S., Oehmen A., Fatone F. (2015) Development of a Novel Process Integrating the Treatment of Sludge Reject Water and the Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs). *Environ Sci Technol.* 2015 Sep 15;49(18):10877-85. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01776>.
- González-Arias, J., Sánchez, M. E., Cara-Jiménez, J., Baena-Moreno, F. M., & Zhang, Z. (2022). Hydrothermal carbonization of biomass and waste: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01311-x>
- ISPRA (2023) Rapporto Rifiuti Speciali edizione 2023, https://www.isprambiente.gov.it/files2023/publicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2023_n-389_versioneintegrale.pdf
- Istituto Superiore di Sanità (2022) <https://www.iss.it/one-health>
- Ottosen L. M.; Thornberg D., Cohen Y., Stiernström S. (2022) Utilization of acid-washed sewage sludge ash as sand or cement replacement in concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 176, 105943, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105943>.
- Salimbeni A., Di Bianca M., Lombardi G., Rizzo A. M., Chiaramonti D. (2023). Opportunities of Integrating Slow Pyrolysis and Chemical Leaching for Extraction of Critical Raw Materials from Sewage Sludge. *Water* 15, no. 6: 1060. <https://doi.org/10.3390/w15061060>
- Spinosa L., Canziani R. (2024) Sludge/biosolids management: a new global vision and the regulatory evolution in Europe; Keynote speech given by Ludovico Spinosa at the IWA Sludge 2024 Conference, Beijing, China, 18 – 20/05/2024.
- UBA, Umwelt Bundesamt (2017) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klaerschlammsorgung-in-deutschland#:~:text=2017%20wurde%20au%C3%9Ferdem%20die%20Kl%C3%A4rschlammverordnung,also%20zum%20Beispiel%20als%20D%C3%BCnger.>
- Wang L., Chang Y., Li A. (2019) Hydrothermal carbonization for energy-efficient processing of sewage sludge_ A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 423-440, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.011>



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2024 è sostenuta da:



INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE



N. 3/2024

