



## Progetto ROUTES

Modalità di lavorazione innovative per una gestione efficace dei fanghi di depurazione (Novel processing routes for effective sewage sludge management)

Gestione dei rifiuti

Recupero rifiuti

Rifiuti organici

### DESCRIZIONE

Con il progetto ROUTES sono state messe a punto soluzioni tecniche innovative per il **trattamento dei fanghi urbani**, che rappresentano un problema diffuso degli impianti di depurazione. Sono stati identificati 10 scenari di riferimento (2 per impianti di potenzialità inferiore a 20.000 A.E., 4 per impianti di potenzialità compresa tra 20.000 e 100.000 A.E. e 4 per impianti di potenzialità superiore a 100.000 A.E.) che sono stati confrontati con altrettanti scenari ove sono state applicate tecniche innovative di trattamento studiate e messe a punto nel progetto.

Tale confronto è stato fatto dal punto di vista sia tecnico ( *benchmarking*, inclusi i costi) sia ambientale (LCA/ *Life Cycle Assessment* e LCC/*Life Cycle Cost*). Una parte importante del progetto è stata dedicata allo studio della qualità dei fanghi prodotti dai trattamenti di stabilizzazione biologica intensiva. I parametri considerati sono stati:

- metalli;
- microinquinanti organici: idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB), ftalati, solfonati lineari dell'alchilbenzene (LAS), sostanze alogenate estraibili (EOX), composti di ammonio quaternario (QAC), composti farmaceutici e biocidi (tra cui *acetyl- sulfamethoxazole, carbendazim, carbamazepine, clarithromycin, climbazole, dihydro-dihydroxy-carbamazepine, dihydro-hydroxy-carbamazepine, diclofenac, diuron, fluconazole, irgarol (cybutryn), isoproturon, metoprolol, primidone, propiconazole, sulfamethoxazole, tebuconazole, terbutryn, trimethoprim, venlafaxine, bezafibrate, 2-benzyl-4-chlorophenol, mecoprop, triclocarban, triclosan*);
- fitotossicità;
- ecotossicità.



Attenzione specifica è stata poi data agli aspetti igienico-sanitari, ivi inclusi i problemi di possibile reinfezione dei fanghi durante lo stoccaggio.

### FASI DEL PROGETTO

Il progetto è stato articolato in 7 *workpackages* (WP), di cui quattro di ricerca e sviluppo, uno di attività dimostrative, uno di disseminazione di risultati e, infine, uno per la gestione del progetto. I quattro WP di ricerca e sviluppo hanno riguardato la messa a punto di processi innovativi per la stabilizzazione dei fanghi, la messa a punto di processi innovativi per la minimizzazione della produzione dei fanghi, lo studio del destino e degli effetti dei contaminanti a seguito dell'uso dei fanghi in agricoltura e, infine, lo studio di *benchmarking* di scenari diversi di gestione dei fanghi con i connessi aspetti ambientali. Il WP dedicato alle attività dimostrative ha riguardato cinque processi preventivamente studiati in scala laboratorio/pilota e successivamente verificati in **impianti in piena scala** (ossidazione termica in fase umida, *stripping* dell'ammoniaca e recupero di solfato di ammonio da correnti di riciclo alla linea acque dalla linea fanghi a valle della digestione anaerobica, processi alternati in linea acqua e linea fanghi, co-digestione anaerobica di fanghi e FORSU/"Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano). Il WP3 dimostrativo è stato



perciò interconnesso con il WP2 sulla minimizzazione della produzione dei fanghi, mentre il WP1 sulla messa a punto di processi innovativi di stabilizzazione è stato interconnesso con il WP4 relativo agli studi sul destino e sugli effetti degli inquinanti nell'uso agricolo dei fanghi. Il WP5 di *benchmarking* e di LCA ha agito come WP di sintesi di tutti i risultati ottenuti dal progetto. Le tecniche innovative, sia di stabilizzazione dei fanghi sia di minimizzazione della produzione, sono state implementate in schemi di processo innovativi confrontati con schemi convenzionali in funzione della potenzialità e di differenti contesti ambientali. **10 schemi innovativi sono stati perciò confrontati con 10 schemi convenzionali** sotto il profilo sia tecnico (consumi energetici, produzione dei fanghi, consumo di reattivi, recupero di risorse) che ambientale in riferimento a quattro categorie tipiche per l'analisi di LCA (potenziale sul riscaldamento globale, sull'acidificazione, sull'eutrofizzazione, sulla produzione di ozono fotochimico). Un tentativo di implementazione di LCA è stato fatto anche considerando l'impatto tossico e l'impatto dovuto agli agenti patogeni.

## RISULTATI RAGGIUNTI

Il progetto ROUTES ha consentito di ottenere risultati molto interessanti per la riduzione della produzione dei fanghi con tecnica SBBGR (*Sequencing Batch Biofilm Granular Reactor*), basata sull'uso di un reattore aerobico a *biofilm* per il trattamento di un refluo urbano ad elevato carico non pre-sedimentato. Con un reattore di 30 L è stato possibile ridurre la produzione di fanghi almeno del 70% rispetto ad un tipico impianto a fanghi attivi non dotato di sedimentazione primaria, assicurando nel contempo efficienze di abbattimento di COD (*Chemical Oxygen Demand*) del 90%. I fanghi biologici prodotti sono risultati completamente stabilizzati, non richiedendo, pertanto, alcun trattamento di stabilizzazione finale.

L'uso di celle elettrolitiche microbiche (MEC), sebbene le loro caratteristiche siano tipicamente attinenti a ricerca di base, si è rivelato assai promettente ai fini di uno sfruttamento fino alla scala pilota. Ancora molti aspetti devono essere approfonditi e risolti, considerando che l'applicazione di tale tecnica è stata studiata su un refluo sintetico che ha simulato uno scarico urbano. I risultati più interessanti hanno riguardato la possibilità di usare le MEC per produrre idrogeno e metano al catodo, essendo il comparto anodico dedicato all'ossidazione del substrato del refluo da trattare. Inoltre, il trasporto dello ione ammonio dall'anodo al catodo consentirebbe lo sfruttamento di questa tecnica per l'abbattimento ed il possibile recupero dell'azoto ammoniacale presente nel refluo.

La produzione di biopolimeri è stata provata con successo sull'installazione di *Anox Kaldnes* a Bruxelles, primo impianto pilota al mondo di questa tipologia, ove sono stati prodotti Polioidrossialcanoati (PHA) partendo da refluo urbano. Il trattamento può essere così descritto: in un primo stadio di fermentazione acida di fanghi primari sono prodotti acidi organici volatili (VFA) che costituiscono il substrato per l'accumulo di PHA da parte di biomassa ingegnerizzata prodotta in un secondo stadio di trattamento biologico del refluo ad alto carico. Nel terzo stadio i VFA costituiscono il substrato per la sintesi di PHA da parte della biomassa prodotta nel secondo stadio. Nella quarta fase del processo i PHA prodotti e accumulati nella biomassa sono separati da questa e valorizzati.

La codigestione anaerobica di fanghi e FORSU non è certamente un approccio nuovo, ma dovrebbe essere maggiormente sfruttata ove i digestori in linea fanghi risultassero sovradimensionati rispetto alla produzione effettiva. Problemi che devono essere affrontati in questo caso riguardano il pretrattamento della FORSU per separare plastica e materiali inerti che possono ostacolare il processo anaerobico. Un secondo problema riguarda lo *status* delle infrastrutture dedicate al trattamento dei fanghi che dovrebbero essere inquadrati nella disciplina sui rifiuti. Il destino del digestato e le possibilità d'uso diretto in agricoltura, al pari dei fanghi e con le stesse regole, costituisce un ulteriore aspetto significativo. Nella ricerca condotta è stato verificato che il contenuto di microinquinanti organici nel digestato non costituisce alcun pregiudizio per l'uso agricolo.

Il recupero di solfato d'ammonio dalla corrente liquida separata nella disidratazione meccanica a valle della digestione anaerobica è risultato di grande interesse sia per le possibilità di recuperare un fertilizzante tipico, sia per i connessi vantaggi di evitare il riciclo di azoto ammoniacale in linea acque. Questa attività è stata sviluppata sull'impianto in piena scala di *Kloten-Opfikon* dove, per minimizzare il consumo di soda richiesto per condurre lo *stripping* dell'ammoniaca a pH > 9, è stata introdotta una colonna di *pre-stripping* della CO<sub>2</sub> con aria. È stata raggiunta una rimozione del 90% di azoto ammoniacale minimizzando i consumi energetici del processo, nonché quelli della soda.

Una possibile alternativa di gestione della corrente liquida di solfato di ammonio è stata verificata essere la sua miscelazione diretta con il fango digerito a valle della disidratazione meccanica, incrementando così il tenore di azoto dei fanghi da recuperare in agricoltura. In questo caso, invece delle tradizionali colonne di *stripping* è stata utilizzata un'unità pilota di *stripping* a membrana. La sperimentazione, condotta sugli impianti di *Neugut* e *Altenrhein* in Germania, ha dimostrato che l'uso di membrane permeabili all'azoto ammoniacale disciolto in fase liquida presenta un grande potenziale applicativo.

**Le attività di laboratorio ed in piena scala sull'ossidazione in fase umida hanno consentito di comprendere la potenzialità applicativa di tale tecnica in confronto con quella convenzionale dell'incenerimento.** In condizioni ottimali (temperatura 250°C e tempo di reazione 1 h) sono state ottenute rimozioni di COD e solidi volatili del 70% e 95%, rispettivamente. Il liquido effluente, seppur con elevato carico di COD, è risultato ben biodegradabile anche in relazione alla temperatura piuttosto elevata che migliora la cinetica del reazioni di biodegradazione del substrato organico nel trattamento biologico convenzionale. **Il residuo solido è disidratato meccanicamente e quindi smaltito come rifiuto non pericoloso con codice 190814.** 3V Green Eagle, partner di ROUTES, ha condotto test industriali per verificare la possibilità di essiccare il

residuo solido producendo il cosiddetto "TOP® filler", potenzialmente utilizzabile come materiale inerte per la formulazione di aggregati bituminosi, in accordo con la norma UNI 13043. Anche rispetto al test di cessione tale aggregato non ha evidenziato differenze rispetto ad un aggregato inerte convenzionale.

Il "TOP® filler" ha ricevuto pertanto il marchio CE come riempitivo per aggregati bituminosi e simili. Il bilancio energetico del processo ha dimostrato che l'energia chimica contenuta nei fanghi da trattare è convertita per il 50% in energia termica con un'efficienza energetica di recupero finale del 90%.

Le attività di pompaggio dei fanghi pretrattati mediante sonicazione o idrolisi termica hanno evidenziato che il primo trattamento è inefficace ai fini della riduzione del consumo energetico richiesto per il pompaggio, probabilmente a causa del rilascio di sostanze polimeriche esa-cellulari (EPS), mentre l'idrolisi muta completamente le caratteristiche del fango, che risulta perciò pompabile fino a concentrazioni di secco molto elevate (16% di secco).

I processi a cicli alternati, sia in linea acque sia in linea fanghi, hanno consentito di ridurre la produzione dei fanghi nell'intervallo 16-43%, valutata dal valore di crescita specifica della biomassa rispetto al COD abbattuto (cosiddetto  $Y_{obs}$ ).

Le attività del WP1 e del WP4, fortemente interconnesse, hanno avuto l'obiettivo di valutare come processi intensificati di stabilizzazione biologica avessero influenza sulle caratteristiche chimiche, microbiologiche, fito-tossicologiche ed ecotossicologiche del fango prodotto. I risultati, pertanto, sono stati molto utili per i possibili sviluppi della disciplina di settore sull'utilizzazione agricola dei fanghi.

**I risultati ottenuti riguardano soprattutto l'igienizzazione dei fanghi:** i trattamenti di idrolisi termica a monte della digestione anaerobica e gli stessi trattamenti anaerobici termofili a 55°C hanno consentito di raggiungere l'obiettivo di igienizzazione di assenza di *Salmonella* in 50 g di prodotto umido finale, di presenza di *E coli* < 500 CFU/g di secco e di presenza di colifagi somatici (indicatori della presenza di virus enterici) < 10<sup>4</sup>/g di secco.

I test di valutazione della reinfezione dei fanghi nel corso dello stoccaggio hanno fornito risultati assai interessanti in quanto alcuni fenomeni di incremento di presenza di *E coli* durante la prima ora di stoccaggio a 37°C non può essere attribuita ad una reinfezione, ma semplicemente a una riattivazione di cellule danneggiate nel corso del precedente trattamento termico di pastorizzazione. Infatti, nel corso dello stoccaggio successivo la conta di *E coli* si è ridotta drasticamente. Il team di ricercatori spagnoli dell'Università di Barcellona, responsabile di tale attività, ha concluso che non vi può essere reinfezione del fango né a 22 né a 37°C. Tale ipotesi è stata validata dagli studi paralleli con *Real-Time quantitative PCR* (qPCR). Lo studio ha anche evidenziato che le spore di batteri clostridi solfito riduttori non sono adatte per lo studio dei processi di igienizzazione dei fanghi. I test ecotossicologici hanno evidenziato che la maggior riduzione dell'ecotossicità rispetto all'organismo *A. globiformis* è stata ottenuta con il trattamento intensivo di digestione mesofila seguita da stabilizzazione aerobica. Gli studi di ecotossicità con *Daphnia magna* e alga (*Pseudokirchneriella subcapitata*) sono soggetti ad interpretazioni ambigue dovute alla sovrapposizione del colore che appare essere fattore controllante. La filtrazione del campione può risultare complessa e di lunga durata. Anche la presenza di sostanza organica può determinare situazioni anossiche con conseguente effetto sulle specie vegetali ed animali su cui è basato il test.

Fra i test di ecotossicità utilizzati, quello con *A. globiformis* è risultato utile soprattutto in relazione alla dimensione piccola del campione richiesta per il test. Ciò ha consentito di condurre il test completo a varie diluizioni per la determinazione della cosiddetta EC<sub>50</sub>, cioè la concentrazione alla quale si osserva un effetto del 50%. Al contrario, il test di schivamento con *Eisenia fetida* richiede un campione di significative dimensioni ed è potuto essere eseguito solo a una singola concentrazione. Ciò non ha consentito di quantificare la tossicità del campione rispetto a questo organismo. Ovviamente, tale test sarebbe invece molto utile per determinare la risposta del campione nei confronti di un organismo chiave complesso del terreno, mentre l'*A. globiformis* fornisce la tossicità rispetto all'enzima chiave che può risultare funzionalmente ridondante nella comunità microbica del terreno. I risultati dei test di ecotossicità hanno evidenziato risultati contraddittori che per i pre-trattamenti con ultrasuoni seguiti da un doppio stadio anaerobico, prima mesofilo e poi termofilo (riduzioni od incrementi di tossicità apparentemente non correlabili al campione). Al contrario, riduzione di ecotossicità è stata osservata per i campioni di fango prodotti con un doppio trattamento di stabilizzazione, prima anaerobico mesofilo e poi aerobico, e parzialmente per i campioni di fango derivanti da un trattamento di idrolisi termica seguita da digestione anaerobica termofila e per quelli derivanti da un trattamento di idrolisi chimica, disintegrazione idrodinamica, e doppio stadio di digestione anaerobica mesofila + termofila. Il solo trattamento con ultrasuoni ha determinato un incremento della tossicità, mentre l'ozonizzazione non ha evidenziato alcun effetto. Per i test eseguiti con *Eisenia fetida* solo alcuni campioni hanno evidenziato tossicità sull'habitat del terreno, ma a concentrazioni notevolmente più elevate (corrispondenti a 65 t di secco/ha) di quelle tipiche derivanti dall'uso dei fanghi in agricoltura.

I test condotti con fango prodotto da un impianto in piena scala del Canada hanno evidenziato tossicità nettamente inferiori a quelle dei campioni di fango trattati in laboratorio. Si potrebbe pertanto concludere che la tossicità è legata maggiormente all'origine del fango piuttosto che ai trattamenti cui è stato sottoposto.



**Progetto ROUTES**

Modalità di lavorazione innovative per una gestione efficace dei fanghi di depurazione (Novel processing routes for effective sewage sludge management)



**Acronimo**

ROUTES

**Protocollo**

265156

**Programma di riferimento**

7° programma quadro per la ricerca

**Beneficiario coordinatore**

CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Contatti**

Giuseppe Mininni - CNR/Istituto di  
Ricerca sulle Acque (IRSA)

**Contributo EU**

3.364.600,00

**Anno Call**

2010

**Anno di inizio**

2011

**Anno di chiusura**

2014

**Sede del Beneficiario**

Piazzale Aldo Moro, 7  
00185 Roma RM  
Italia

**Regione**

Lazio