PROGETTO IDROFORSU

Tecnologia Innovativa per la gestione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani con residuo di processo compatibile con un potenziale riutilizzo agronomico

Deliverable D2 – Analisi prestazionale del prototipo

REGIONE PUGLIA
DIPARTIMENTO SVILUPPO ECONOMICO, INNOVAZIONE, ISTRUZIONE, FORMAZIONE E LAVORO, SEZIONE RICERCA, INNOVAZIONE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE

UNIONE EUROPEA
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Intervento cofinanziato nell'ambito del POR Puglia FESR-FSE 2014-2020
Asse prioritario 1 - Ricerca, sviluppo tecnologico, innovazione - Azione 1.4.b
BANDO INNOLABS
Sostegno alla creazione di soluzioni innovative finalizzate a specifici problemi di rilevanza sociale
Investiamo nel vostro futuro

Progetto IDROFORSU - codice REGKH90

REGIONE PUGLIA
DIPARTIMENTO SVILUPPO ECONOMICO, INNOVAZIONE, ISTRUZIONE, FORMAZIONE E LAVORO, SEZIONE RICERCA, INNOVAZIONE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE

UNIONE EUROPEA
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Deliverable D2 – Analisi prestazionale del prototipo

Introduzione

Il censimento dei rifiuti urbani condotto da ISPRA nel 2021 ha evidenziato che il 51.2% dei rifiuti destinati al processo di digestione anaerobica è rappresentato da fanghi derivanti dal trattamento dei reflui dell'industria agro-alimentare (82%) e dei reflui civili (18%). Una percentuale inferiore pari al 37.8% dei rifiuti totali spetta invece alla frazione umida dei rifiuti solidi urbani (FORSU) con un volume di circa 334 mila tonnellate trattate mediante digestione anaerobica nel 2020 (ISPRA, 2021).

La digestione anaerobica è un processo promettente poiché consente di abbinare all'abbattimento dei rifiuti il recupero di energia sotto forma di biogas. Quest'ultimo può essere successivamente impiegato negli impianti di cogenerazione di energia elettrica e termica o nel settore dell'autotrazione a seguito della rimozione della CO_2 durante un processo di post-trattamento noto come upgrading. Ad oggi sono presenti su scala nazionale 23 impianti di digestione anerobica, dei quali 23 localizzati nelle regioni del Nord e tre unità operative nelle regioni del Sud. La regione Puglia dispone di un solo impianto di digestione anaerobica situato nella provincia di Taranto (ISPRA, 2021). Infatti, nel 2019 la regione Puglia ha dislocato ben 71 mila tonnellate di rifiuti organici fuori dal suo territorio, di cui il 62.2% è stato trattato nelle regioni del Nord (Piemonte, Veneto e Lombardia) ed il 24.7% al Sud (Campania e Molise). Ridotte quantità di rifiuti sono state inviate inoltre in Calabria, Umbria, Marche e Lazio (ISPRA, 2020). L'impossibilità di processare i rifiuti in loco genera inevitabilmente un aumento dei costi di esercizio a seguito della mobilitazione dei rifiuti da trattare.

Il progetto in oggetto ha avuto l'obiettivo di investigare possibili strategie di pretrattamento della FORSU volte a migliorarne le proprietà come substrato per processi di digestione anaerobica. L'attività è stata svolta in un impianto pilota, basato su reattore di idrolisi (volume geometrico 20 L) e da un digestore anaerobico (volume geometrico: 120 L; volume di lavoro: 60 L), progettato e realizzato nell'ambito del progetto stesso (per la descrizione dell'impianto si rimanda alla deliverable C4). Il processo di digestione anerobica è stato condotto in modalità di tipo "wet" ovvero, in un reattore operante ad una concentrazione di solidi inferiore al 10%. In particolare, la

configurazione impiantistica adottata prevedeva il ricircolo dell'effluente in uscita durante la fase di carico/scarico. Questa strategia ha permesso una contrazione del volume di effluente prodotto pari al 70%. Nell'ottica di una applicazione in piena scala dell'impianto in oggetto, questo approccio risulta vantaggioso poiché consentirebbe una riduzione dei costi di smaltimento/valorizzazione dell'effluente altrimenti destinato ad impianti di depurazione/valorizzazione. Inoltre, l'aumento del tempo di residenza idraulico (HRT) a seguito del ricircolo dell'effluente, consente un miglioramento delle performance in termini di efficienza di rimozione di COD e della frazione solida. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dalla riduzione del fenomeno di wash out cellulare, grazie ad una maggiore ritenzione della biomassa all'interno del sistema. Infine, l'impiego di una frazione liquida consente nello stesso tempo di sfruttare le elevate cinetiche di processo tipiche dei trattamenti anaerobici di tipo "wet".

Data l'eterogeneità e la recalcitranza tipica di alcune componenti organiche presenti all'interno della FORSU, ad oggi sono molteplici le tecniche di pre-trattamento investigate con l'obiettivo di aumentare la digeribilità di tale matrice, favorendo il processo di idrolisi ed incrementando conseguentemente le rese in biogas (Paritosh et al. 2018).

Sulla base dei risultati ottenuti durante i test di biometanazione e riportati nella deliverable C1, l'attività dell'impianto pilota è stata divisa in due periodi. Nel primo, il digestore è stato alimentato con FORSU sottoposta alla sola triturazione, nel secondo con FORSU sottoposta anche a pre-trattamento termico. Ciò permetterà di effettuare una comparazione più approfondita tra le effettive differenze nell'utilizzo di questi due substrati. I trattamenti termo-chimici non verranno invece testati sull'impianto pilota in quanto, come già riportato nella deliverable C1, a fronte di un maggior consumo di reagenti, non sembrano apportare vantaggi significativi al processo di digestione anaerobica.

Il confronto tra le due condizioni operative ha permesso di valutare l'effettiva utilità del pretrattamento proposto nel migliorare le prestazioni del digestore. Le due condizioni operative sono state selezionate a seguito di test preliminari effettuati sulla FORSU e descritti nella deliverable C1.

Materiali e metodi

Fase di start-up e modalità operativa

Al fine di poter selezionare una popolazione microbica in grado di garantire performance ottimali in termini di abbattimento della frazione solida e qualità del biogas, si è inizialmente provveduto a prelevare ed analizzare un campione di fango proveniente dal digestore anaerobico di fanghi municipali del comune di Monopoli. Le analisi condotte hanno evidenziato uno scarso tenore di solidi sospesi totali (TSS;11 g/L) ed una ridotta capacità di sedimentazione del campione in esame. Dal momento che la letteratura scientifica riporta una concentrazione ottimale di TSS all'interno di un digestore anaerobico di circa 30-40 g/L, si è scelto di utilizzare anche una aliquota del medesimo fango già sottoposta a processo di disidratazione mediante centrifugazione. L'impianto è stato quindi inoculato con un campione di fango misto (350 g fango centrifugato in 1 L di fango non trattato), selezionando un rapporto fango non trattato/fango disidratato tale da ottenere una concentrazione finale di 30 g/L di TSS all'interno del digestore. Durante la fase di start-up, l'impianto è stato inizialmente alimentato settimanalmente e poi due volte a settimana con un carico di 1,75 kg di FORSU umida.

Terminata la fase di avviamento e raggiunta una percentuale di metano nel biogas superiore al 50%, si è optato per un incremento del carico giornaliero con una frequenza di tre carichi settimanali mantenendo fisso il quantitativo alimentato ad ogni caricamento. L'impianto ha operato in modalità operativa "wet" con ricircolo parziale dell'effluente (70%). Nel dettaglio, durante ogni operazione di caricamento, il digestore è stato alimentato con 1,75 kg di FORSU diluita in 3,5 L di effluente in modo da ottenere un volume finale di influente di 5 L. Al fine di ridurre la viscosità della matrice in ingresso nel reattore, la FORSU è stata preventivamente tritata meccanicamente. Inoltre, la FORSU è stata arricchita in azoto e fosforo mediante l'aggiunta di una soluzione di nutrienti contenente cloruro d'ammonio e fosfato di potassio monobasico. Durante l'intera sperimentazione, il digestore ha operato in condizioni mesofile ad una temperatura di 35 °C.

Analisi chimico-fisiche

I campioni di influente ed effluente sono stati periodicamente prelevati durante ciascuna fase di carico e scarico dell'impianto e sottoposti ad analisi chimico-fisiche al fine di valutare le performance del processo. Le analisi condotte includono: pH, conducibilità, domanda chimica di ossigeno totale (COD) e solubile (sCOD), azoto totale (TN), fosforo totale (TP), solidi totali (ST), solidi volatili (SV), solidi sospesi totali (SST) e solidi sospesi volatili (SSV). pH e conducibilità sono stati analizzati mediante sonde specifiche. I kit per analisi acque Hach-Lange sono stati impiegati per la determinazione di COD e sCOD (LCK414 e LCK514), TN (LCK 138 e LCK238) e TP (LCK348). Per la determinazione della frazione solubile del COD, il campione è stato precedentemente sottoposto a filtrazione con filtri a porosità di 0.45 µm. Solidi totali e volatili sono stati analizzati mediante metodo APAT-IRSA sezione 2090, metodi A e D (APAT-IRSA 2003). TSS e VSS sono stati determinati con metodo APAT-IRSA sezione 2090, metodi B e D (APAT-IRSA 2003). La produzione volumetrica di biogas è stata monitorata quotidianamente e quantificata mediante un analizzatore on-line (si veda la Deliverable C4). La composizione di biogas in termini di CH_4, CO_2, N_2, H_2, O_2 e H_2S è stata determinata mediante gas cromatografia con micro-gascromatografo Agilent mod 490 su campioni raccolti all'interno di buste per campionamento gas (Tedlar sampling bag, Supelco) del volume di 10 L.

Risultati

La **Tab. 1** riporta le principali prestazioni dell'impianto pilota alimentato con FORSU pre-trattata solo meccanicamente (triturazione). Come si può osservare dai dati riportati in tabella, l'impianto ha mostrato una elevata capacità di abbattimento del COD e della frazione solida . L'efficienza di rimozione (ER) del COD totale e solubile della FORSU si è stabilizzata attorno a valori pari all'88 ± 6% ed 85 ± 3%, rispettivamente. In particolare, la rimozione della frazione solida organica ha raggiunto una percentuale del 94 ± 3%.

Tab. 1 Efficienze di rimozione (ER) calcolate durante il primo periodo di attività dell'impianto, ovvero quando è stata alimentata FORSU sottoposta al solo pretrattamento meccanico (triturazione).

Parametro	**Valore medio ± deviazione standard**
ER COD	88 ± 6%
ER sCOD	85 ± 3%
ER TSS	89 ± 7%
ER VSS	92 ± 5%
ER TS	81 ± 6%
ER VS	94 ± 3%

La produzione volumetrica di biogas è stata quotidianamente monitorata. L'impianto ha raggiunto una produzione di biogas giornaliera di 65 L, pari a 54 L di metano, ed una resa media di metano di 241 ml per g di COD di FORSU alimentati (= 175 ml CH_4/g VS di FORSU alimentati). Inoltre, la resa di metano normalizzata per i grammi di COD rimossi durante il processo di digestione anaerobica, ha raggiunto un valore di 269 ml (=183 ml CH_4 per g VS di FORSU degradati). Questo valore non si discosta molto dal valore di rendimento teorico riportato in letteratura (310 ml CH_4/gCOD rimosso).

Inoltre, al fine di valutare la qualità del biogas in uscita dall'impianto, il biogas è stato sottoposto puntualmente ad analisi composizionale. Come mostrato graficamente (**Fig. 1**), le analisi condotte hanno riportato una percentuale di CH_4 pari al 66 ± 8% mentre il 31 ± 9% della miscela gassosa era costituita dalla CO_2. Tale risultato dimostra che la popolazione microbica selezionata è in grado di digerire la frazione organica del rifiuto solido urbano in condizioni mesofile con una elevata efficienza di conversione.

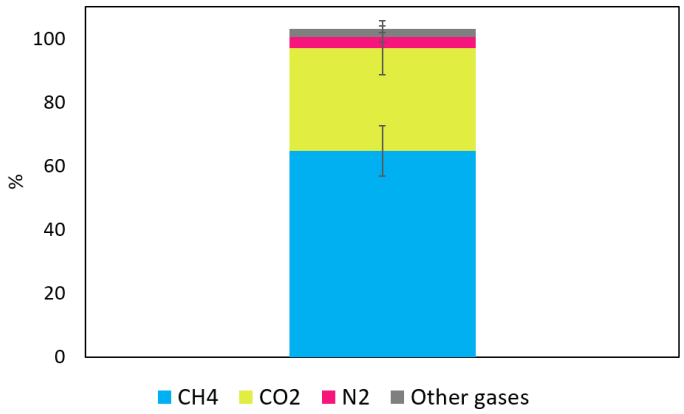


Fig. 1 Composizione del biogas in uscita dall'impianto di digestione anaerobica condotta mediante gas cromatografia.

I dati relativi alla composizione del biogas riportati dimostrano inoltre che il digestore anaerobico in oggetto è in grado di produrre un biogas ricco in metano. Questo risultato comporta un vantaggio in termini di riduzione dei costi generalmente impiegati nelle fasi di post-trattamento.

L'attivazione del pre-trattamento termico della FORSU, in aggiunta a quello meccanico di triturazione, durante il secondo periodo di funzionamento dell'impianto pilota ha portato ad un aumento significativo (fino al 30%), similmente a quanto ottenuto nei test di biometanazione, della velocità di produzione del biogas sottintendendo un aumento della cinetica del processo complessivo con ripercussioni importanti sulle volumetrie di impianto, che risultano essere significativamente più piccole, e quindi sui CAPEX.

Il pre-trattamento termico ha migliorato le prestazioni dell'impianto in termini di abbattimento di COD e solidi che comunque risultavano essere già molto elevate anche nel periodo precedente (ossia con solo pre-trattamento meccanico). La qualità del biogas è risultata essere invariata, confermando quindi l'ottimo tenore in metano del biogas.

Bibliografia

ISPRA, 2020. Rapporti rifiuti urbani edizione 2020.

ISPRA, 2021. Rapporti rifiuti urbani edizione 2021.

Paritosh K., Yadav M., Mathur S., Balan V., Liao W., Pareek N. and Vivekanand V. (2018). Organic Fraction of Municipal Solid Waste: Overview of Treatment Methodologies to Enhance Anaerobic Biodegradability. Front. Energy Res., 6:75.