

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

**CORSO DI STUDIO MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO
CLASSE DELLE LAUREE MAGISTALI IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO (CLASSE LM35)**

ABSTRACT

**INDAGINI SPERIMENTALI VOLTE ALLA DEFINIZIONE
DEL SISTEMA DI TRATTAMENTO DELLA FRAZIONE
LIQUIDA EFFLUENTE DALL'IMPIANTO DI DIGESTIONE
ANAEROBICA DEL C.E.A.**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Candidato

*Antonio Recetano
matricola M67/16*

Correlatore

*Dott. Ing. Luigi Frunzo
Ing. Luigi Comunale*

Anno Accademico 2013 - 2014

Abstract

È risaputo quanto la problematica dei rifiuti solidi urbani sia stata notevolmente sentita a livello sia nazionale che regionale. Viene decretato infatti nel 1994 il primo Stato d'emergenza rifiuti in Campania, condizione alla quale è stata soggetta la regione per più di venti anni. Negli anni lo sviluppo della tecnica di digestione anaerobica per il trattamento della FORSU è aumentato esponenzialmente, portando l'Italia nel 2012 a posizionarsi come secondo paese nell'ambito europeo per numero di impianti di produzione di biogas. Lo step successivo è volto evidentemente alla ricerca di nuove tecnologie che possano migliorare le prestazioni degli impianti esistenti in termini energetici e di completamento del ciclo produttivo, attraverso un'operazione di upgrading che possa innalzare l'efficienza processistica.

Il seguente lavoro di tesi si inserisce in quest'ottica: è stato analizzato l'impianto di digestione anaerobica situato nel comune di Caivano di proprietà del C.E.A. – Consorzio Energie Alternative, che presenta una capacità di trattamento di 33.000 ton/anno di FORSU, con una potenza di 1MW e una produzione di compost di 10.000 ton/anno. Il cuore dell'impianto è rappresentato dalla fase di digestione anaerobica, caratterizzata da un processo a secco di tipo batch in regime mesofilo, all'uscita della quale si presentano tre diverse aliquote: una frazione solida, inviata ad una fase di post- compostaggio; una frazione gassosa, il biogas, valorizzato energeticamente attraverso l'utilizzo di due motori di cogenerazione; una frazione liquida, il percolato, che viene ricircolato a monte della digestione per permettere una fase di mescolamento che permette il giusto contatto inoculo-substrato. Mentre lo smaltimento del rifiuto organico e la produzione d'energia rappresentano due voci di ricavo dell'azienda, il percolato in esame viene sistematicamente prelevato dall'impianto e smaltito in specifici impianti di trattamento, con un costo complessivo che si aggira intorno ai € 580.000, circa il 12% dell'intero fatturato dell'azienda.

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di proporre possibili linee di trattamento del percolato in esame che possano minimizzare o addirittura azzerare i costi di smaltimento, al fine di migliorare la produttività dell'impianto e rendere più efficiente l'intero bilancio aziendale.

L'attività sperimentale è stata svolta presso il Laboratorio di Analisi e Ricerche Ambientali "L.A.R.A" del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale D.I.C.E.A dell'Università di Napoli "Federico II".

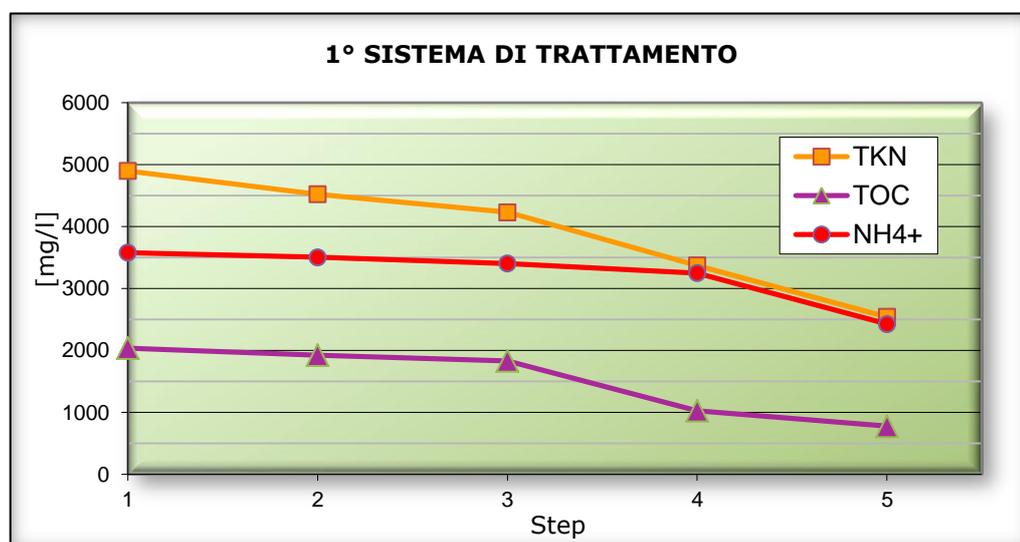
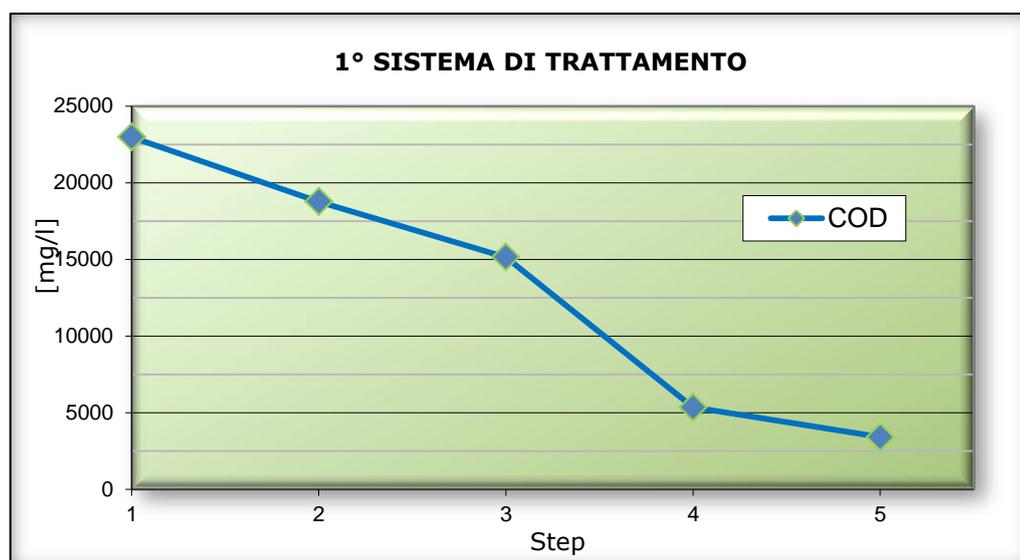
Dopo una prima fase di caratterizzazione del refluo in esame in termini di BOD₅, COD, NH₄⁺, TKN, Solidi Volatili e Solidi Sospesi Totali, sono stati effettuati vari trattamenti di natura biologica, meccanica e chimica, allo scopo di valutare quei parametri necessari al successivo dimensionamento delle unità di processo previste nei sistemi finali. In particolare il refluo tal quale è stato sottoposto a ulteriore digestione anaerobica, grazie alla quale è stato possibile caratterizzarlo in termini di Potenziale di Biometanazione. In seguito è stata effettuata una fase di centrifugazione, a valle della quale il surnatante è stato sottoposto a prove di Ultrafiltrazione, attraverso l'utilizzo di membrane a flusso tangenziale VIVAFLOW 50. Infine le prove di chiariflocculazione, le quali, sebbene l'ottimizzazione dei reagenti utilizzati (PAC come polielettrolita e Klaraid PC4000 come flocculante), non hanno mostrato risultati interessanti in termini di rapporto tra abbattimento di carico organico e quantità di reagenti utilizzati, ovvero produzione dei fanghi.

Si riporta di seguito la tabella dove vengono mostrati i trattamenti utilizzati sul refluo tal quale e sui vari effluenti derivanti dai suddetti trattamenti:

| EFFLUENTI POSTI A TRATTAMENTO | TRATTAMENTI EFFETTUATI | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | Pr. BIOLOGICO | Processo FISICO | | | | | | | | Pr. CHIMICO |
| | Biometanazione | Centrifugazione | Filtrazione a carta | Membrana 0,2 µm | Membrana 50 kDa | Membrana 30 kDa | Membrana 10 kDa | Membrana 5 kDa | Membrana 3 kDa | Chiariflocculazione |
| Refluo tal quale | X | X | X | | | | | | | X |
| Digestato | - | X | X | | | | | | | X |
| Centrifugato t.q. | | - | X | | | | | | | |
| Centrifugato DA | | - | X | | | | | | | |
| Filtrato carta t.q. | | | - | X | | | | | | |
| Filtrato carta DA | | | - | X | | | | | | |
| Permeato 0,2 µm t.q. | | | | - | X | X | X | X | X | X |
| Permeato 0,2 µm DA | | | | - | X | X | X | X | X | X |
| Permeato 50kDa t.q. | | | | | - | X | X | X | X | |
| Permeato 50kDa DA | | | | | - | X | X | X | X | |
| Permeato 30kDa t.q. | | | | | | - | X | X | X | |
| Permeato 30kDa DA | | | | | | - | X | X | X | |
| Permeato 10kDa t.q. | | | | | | | - | X | X | |
| Perm. 10kDa DA | | | | | | | - | X | X | |
| Perm. 5kDa t.q. | | | | | | | | - | X | |
| Perm. 5kDa DA | | | | | | | | - | X | |
| Perm. 3kDa t.q. | | | | | | | | | - | X |
| Perm. 3kDa DA | | | | | | | | | - | X |

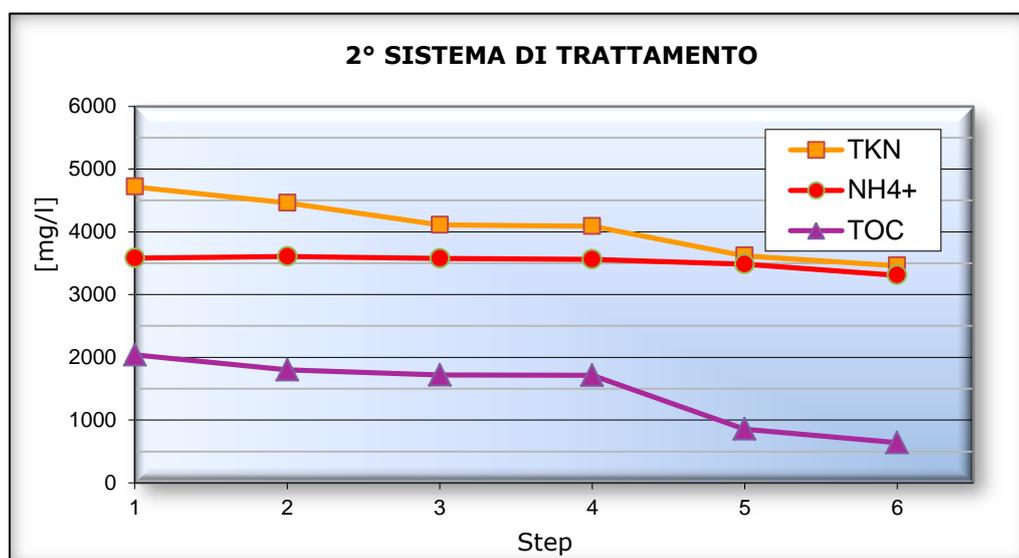
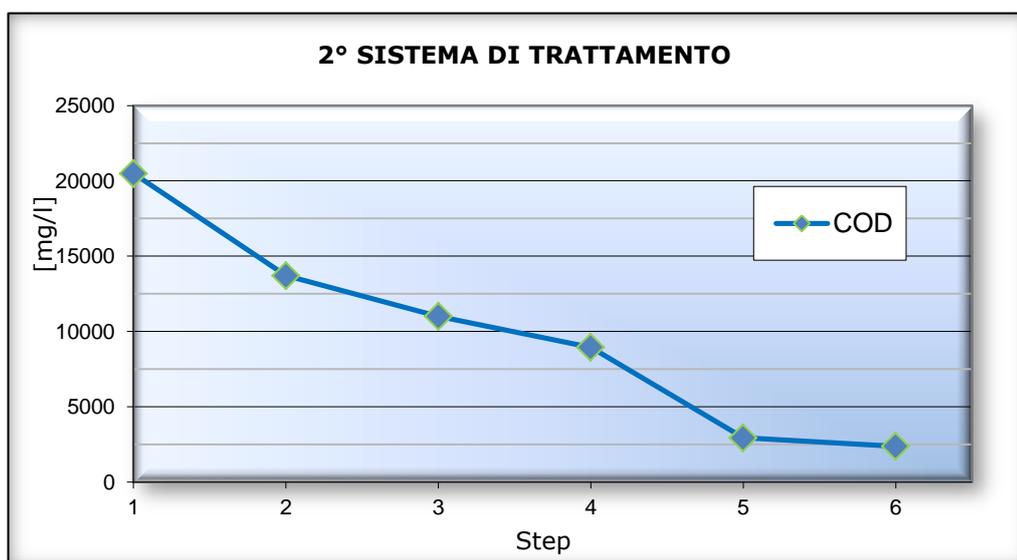
Alla luce dei risultati pervenuti, sono state individuate due linee di trattamento, di cui si riportano i relativi grafici in termini di abbattimento di COD e di altri parametri monitorati, in particolare l'azoto totale TKN, l'azoto ammoniacale e il carbonio organico totale TOC.

| 1° SISTEMA DI TRATTAMENTO | | | | |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| | COD [mgO ₂ /l] | Abbattimento COD [%] | TKN [mg/l] | Abbattimento TKN [%] |
| Refluo tal quale | 22.978 | - | 4.900 | - |
| Centrifugato t.q. | 18.770 | 18,3 | 4.524 | 7,7 |
| Permeato 1,5µm DA | 15.145 | 19,3 | 4.232 | 6,4 |
| Permeato 0,2µm DA | 5.353 | 64,7 | 3.372 | 20,3 |
| Permeato 3kDa DA | 3.420 | 36,1 | 2.542 | 24,6 |



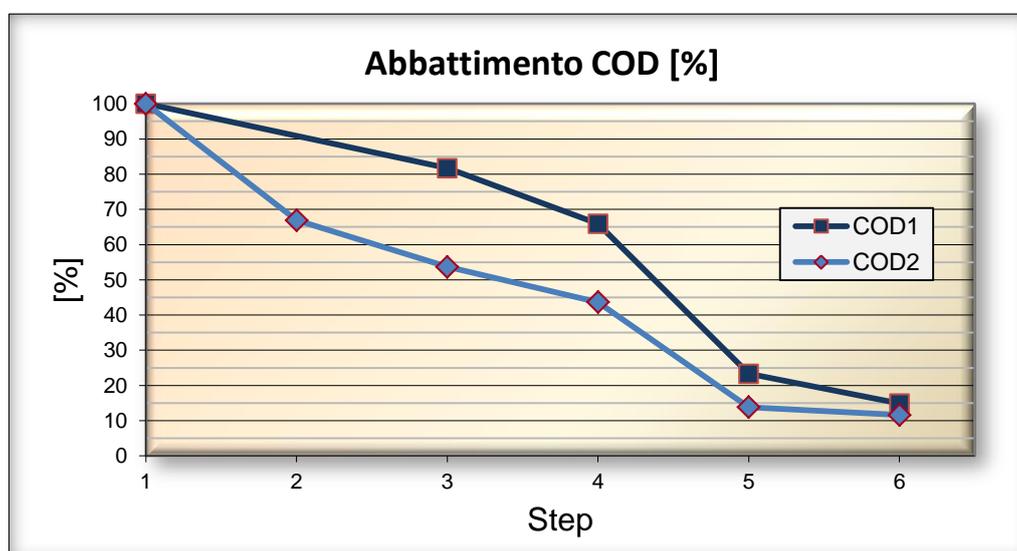
2° SISTEMA DI TRATTAMENTO

| | COD [mgO ₂ /l] | Abbattimento COD [%] | TKN [mg/l] | Abbattimento TKN [%] |
|-------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| Refluo tal quale | 20.488 | - | 4.718 | - |
| Digestato | 13.710 | 33,1 | 4.459 | 5,5 |
| Centrifugato DA | 11.002 | 19,7 | 4.110 | 7,8 |
| Permeato 1,5µm DA | 8.948 | 18,7 | 4.090 | 0,5 |
| Permeato 0,2µm DA | 2.936 | 67,2 | 3.618 | 11,5 |
| Permeato 3kDa DA | 2.377 | 19,05 | 3.459 | 4,4 |



Si riportano di seguito i confronti tra i due sistemi di trattamento in termini di abbattimento di COD:

| ABBATTIMENTO COD (%) | | |
|----------------------------|-------------|-------------|
| | COD1 | COD 2 |
| 1 | 0 | 0 |
| 2. Digestione | - | 33,08 |
| 3. Centrifugazione | 18,32 | 46,3 |
| 4. Filtrazione 1,5 μ m | 34,1 | 56,3 |
| 5. Microfiltrazione | 76,7 | 86,2 |
| 6 Ultrafiltrazione | 85,1 | 88,4 |

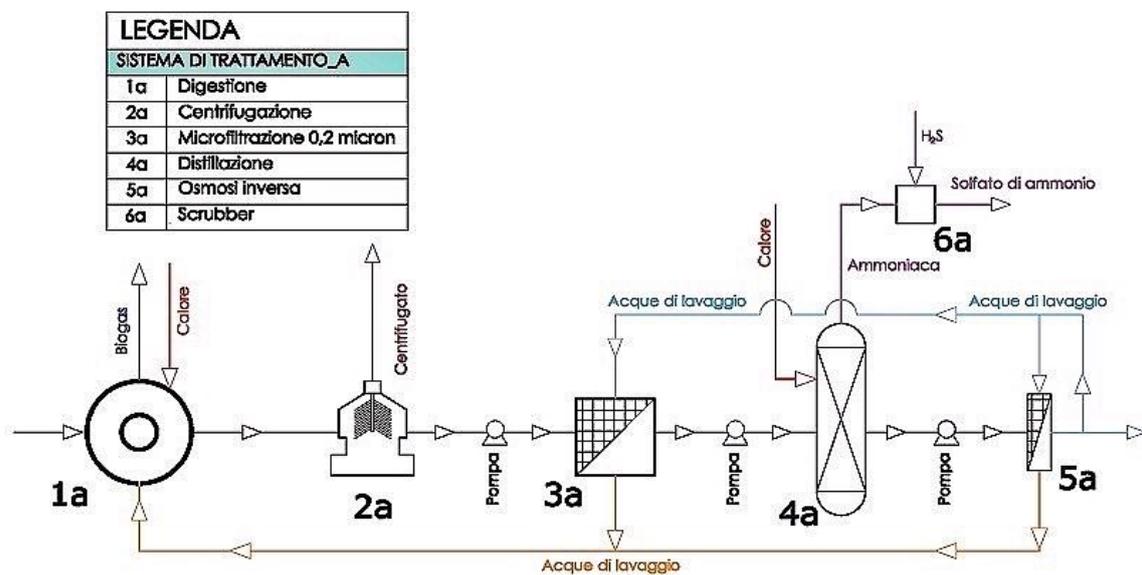


La degradazione del COD risulta essere più rapida con la fase di digestione anaerobica. Inoltre, confrontando i valori percentuali di COD abbattuto, è possibile notare come il sistema con la digestione a monte non necessita di una fase di Ultrafiltrazione.

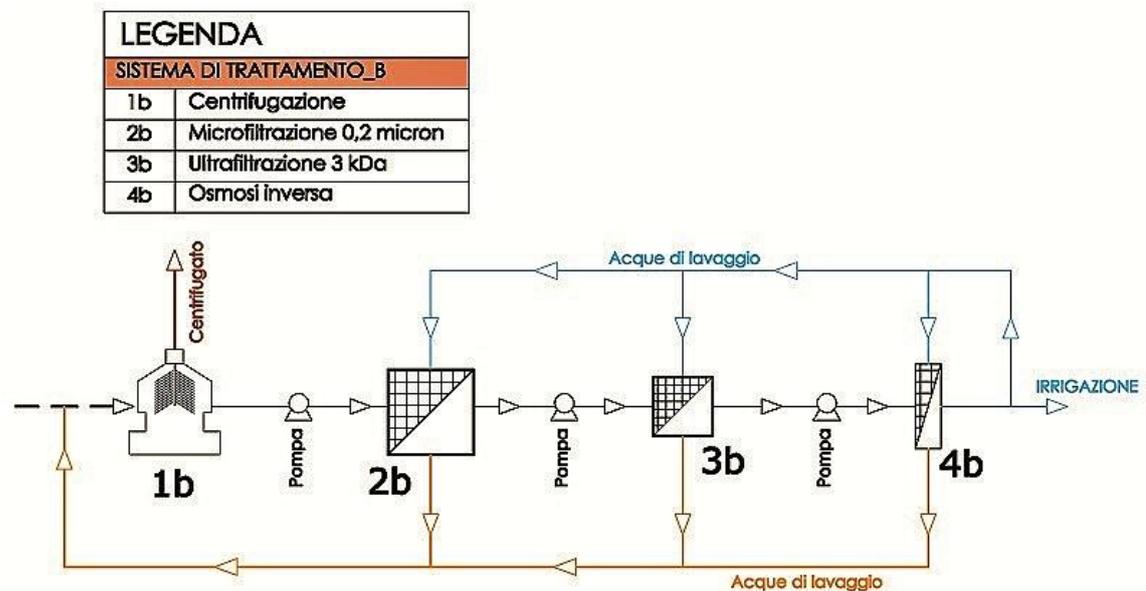
Prima di passare alla fase impiantistica, sono state effettuate delle valutazioni sulle possibili finalità dell'effluente finale: vi è un'impossibilità di ricircolo a monte della fase di compostaggio, dato il limite di umidità che deve presentare il compost in uscita; l'assenza di un allacciamento alla rete di drenaggio urbana del Comune di appartenenza non permette di trattare il refluo al fine di scaricarlo in fogna (D. Lgs 152/2006). La valutazione più opportuna è stata quella del riutilizzo ad uso irriguo (DM 185/2003). A tale scopo, vista la natura del refluo, che presenta una

disomogeneità puntuale nel tempo, l'OSMOSI INVERSA è stato considerato come unico processo in grado di garantire caratteristiche idonee all'irrigazione.

Successivamente a questa valutazione, alla luce dei risultati pervenuti in laboratorio, è stata effettuata una fase di scale-up dei due sistemi, con l'individuazione di due possibili soluzioni impiantistiche. La prima soluzione presenta un maggiore ingombro impiantistico ma minori costi gestionali, facilmente ammortizzabili mediante recupero energetico e concime di pregio, grazie all'utilizzo di processi biologici e biochimici.



Il secondo risulterà più compatto, con bassi costi d'installazione e maggiore facilità gestionale, ma ovviamente con costi di gestione più elevati



Conoscendo i parametri di progetto calcolati durante la fase di sperimentazione, è stato possibile dimensionare le varie fasi di processo, al fine di calcolare i costi impiantistici e quelli gestionali. In seguito un business plan relativo alle due soluzioni impiantistiche ha permesso di verificare la fattibilità e di confrontare la migliore scelta progettuale.

| DETERMINAZIONE UTILE ANNUALE PER UN PERIODO DI ANNI 15 CON CAPITALE FINANZIATO AL 100% E AL TASSO 6% | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | anno 1 | anno 2 | anno 3 | anno 4 | anno 5 | anno 6 | anno 7 | anno 8 |
| Ricavi da mancato smaltimento | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 |
| Costi esercizio | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 |
| Costi di manutenzione | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 |
| Marg. Op. Netto | 582.500 |
| rata ammortamento finanziario | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 |
| UTILE NETTO | € 532.563 |

| anno | anno 10 | anno 11 | anno 12 | anno 13 | anno 14 | anno 15 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 |
| 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 | 37.500 |
| -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 | -39.000 |
| 582.500 |
| -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 | -49.937 |
| € 532.563 |

SISTEMA A:

Ricavi da mancato smaltimento: € 584.000,00

Costo totale impianto stimato: € 485.000,00

Ricavi al netto dei costi d'esercizio: € 37.500,00

Costi di manutenzione stimati: € - 39.000,00

Vita dell'opera: 15 anni

Tasso d'interesse: 6%

TIR COS: 137%

VAN: € 5.320.425,41

| | anno 1 | anno 2 | anno 3 | anno 4 | anno 5 | anno 6 | anno 7 | anno 8 |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ricavi da mancato smaltimento | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 |
| Costi esercizio | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 |
| Costi di manutenzione | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 |
| Marg. Op. Netto | 382.500 |
| rata ammortamento finanziario | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 |
| UTILE NETTO | € 348.007 |

| anno 9 | anno 10 | anno 11 | anno 12 | anno 13 | anno 14 | anno 15 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 | 584.000 |
| -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 | -128.500 |
| -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 | -73.000 |
| 382.500 |
| -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 | -34.493 |
| € 348.007 |

Ricavi da mancato smaltimento: € 584.000,00

Costo totale impianto stimato: € 335.000,00

Costi d'esercizio stimati: € 128.500,00

Costi di manutenzione stimati: € 73.000,00

Vita dell'opera: 15 anni

Tasso d'interesse: 6%

TIR COS: 60%

VAN: € 2.637.674,75

La sperimentazione effettuata ha mostrato che è possibile trattare in maniera sostenibile questa tipologia di reflui, ottimizzando i cicli di trattamento della FORSU che vedono l'utilizzo di una fase di digestione anaerobica.

Entrambe le ipotesi progettuali derivanti dalle analisi in laboratorio si sono dimostrate capaci di risolvere in maniera economicamente vantaggiosa il problema legato allo smaltimento del percolato.

La soluzione impiantistica A risulta essere maggiormente sostenibile da un punto di vista economico rispetto alla soluzione B.