

Relazione tecnico-scientifica del progetto

Validazione di soluzioni territoriali e tecnologiche per la sostenibilità ambientale e la riduzione dei costi di gestione degli effluenti negli allevamenti suini delle regioni del bacino padano-veneto - SEESPIG

Grant n° 2010-2220 Filiera del suino

Attività svolte

dal gruppo di lavoro:

Partner	abbreviazione	referente scientifico
1. Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, sez. Ingegneria Agraria	UNIMI-DISAA-IA ex UNIMI-DIA	Prof. Giorgio Provolo
2. Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, sez. Economia	UNIMI-DISAA-ECO ex UNIMI-DEPAA	Prof. Guido Sali
3. Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, sez. Chimica Agraria	UNIMI-DISAA-CA ex UNIMI-DIPROVE-CA	Dott.ssa Fulvia Tambone
4. Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, sez. Agronomia	UNIMI-DISAA-AG ex UNIMI-DIPROVE_AG	Dott. Pietro Marino
5. Università degli Studi di Udine Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali	UNIUD-DISA	Prof. Pierluigi Bonfanti
6. Università degli Studi di Torino Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari	UNITO-DISAFSA ex DEIAFA	Prof. Paolo Balsari
7. Università degli Studi di Padova , Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente - Produzioni Vegetali	UNIPD-DAFNAE-PV ex UNIPD-DAAPV	Prof. Maurizio Borin
8. Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente - Biotecnologie Agrarie	UNIPD-DAFNAE-BIO ex UNIPD-DBA	Dott. Giuseppe Concheri

Giugno 2014

Sommario

Il progetto SEES-PIG: principali risultati e ricadute operative	1
Descrizione delle attività svolte	2
WPA Validazione di soluzioni tecnologiche per la gestione degli effluenti e riduzione delle eccedenze azotate	2
WPA.1 - Separazione solido-liquida	2
WPA.2 - Riduzione dell'azoto con alghe	3
WPA.3 - Impianti di fitodepurazione.....	4
WPA.4 - Prove in batch e continue di digestione anaerobica	6
WPA.5 - Processo di denitrificazione Anammox	7
WPA.6 - Efficienza dell'azoto da effluenti	8
WPB Sviluppo di un Decision Support System integrato con un GIS per la valutazione tecnica ed economica delle soluzioni territoriali per la gestione degli effluenti di allevamento.....	9
WPC Valutazione di soluzioni gestionali in casi di studio	14
WPC.1 - Sistema di gestione cooperativo	14
WPC.2 - Ricollocazione della frazione solida separata	15
WPC.3 - Monitoraggio di un sistema ibrido di fitodepurazione	16
WPC.4 - Valutazione di un impianto cooperativo per la produzione di energia e la rimozione dell'azoto.	17
Variazioni rispetto al piano sperimentale	18
Gestione del progetto.....	18
Collaborazioni all'interno del partenariato e formazione di giovani ricercatori	18
Attività di divulgazione e trasferimento tecnologico del progetto Sees-pig	Errore. Il segnalibro non è definito.

Il progetto SEES-PIG: principali risultati e ricadute operative

Le attività del progetto hanno fornito risposte concrete alla problematica relativa alla riduzione dell'impatto ambientale dell'allevamento di suini, legato essenzialmente alla gestione degli effluenti di allevamento.

L'obiettivo è stato quello di fornire indicazioni sulla validità tecnica e sostenibilità economica di possibili interventi e soluzioni operative volte al miglioramento ambientale e all'adeguamento alle normative nella produzione suinicola, anche attraverso la predisposizione di un sistema di supporto alle decisioni e la verifica di alcuni casi di studio in scala reale.

La valutazione delle **tecniche di separazione** ha fornito indicazioni chiare sulle efficienze di separazione con diverse attrezzature e sui criteri di scelta in funzione dell'obiettivo di efficienza di separazione (decanter > compressione elicoidale > rulli contrapposti). L'utilizzo di **additivi** e la separazione per flottazione è risultata costosa e difficile da gestire. Pertanto questa possibilità va studiata caso per caso nelle situazioni in cui sono necessarie efficienze di separazione particolarmente elevate.

Il **compostaggio** delle frazioni separate consente di ottenere un prodotto con proprietà ammendanti ed elevato valore agronomico. Il trattamento di digestione anaerobica stabilizza parzialmente il prodotto e rende proponibile un processo di compostaggio semplificato.

Le prove effettuate per il trattamento dei reflui zootecnici con le **microalghe** hanno evidenziato come tale sistema possa essere utilizzato per il finissaggio di processi di trattamento, con la concomitante produzione di biomassa a elevato valore aggiunto da inserire in filiere produttive innovative nei settori della mangimistica e della nutraceutica.

Le prove di **fitodepurazione** di effluenti, dopo opportuno trattamento preliminare, si propone quale sistema efficace e di facile gestione per alleviare il problema dell'eccesso di nitrati di origine zootecnica.

Il sistema pilota integrato di **filtri-fitodepurazione a cascata** ha presentato potenzialità interessanti, ma non ancora consolidate per indirizzare soluzioni operative.

Le attività finalizzate alla valutazione delle potenzialità produttive delle frazioni solide separate mediante **digestione anaerobica** e della sostenibilità delle **coperture delle vasche di stoccaggio** hanno evidenziato la possibilità di incrementare la produzione di circa il 4% riciccolando la frazione solida e di ridurre significativamente le emissioni dagli stoccaggi.

La realizzazione di un impianto di **denitrificazione Anammox** (unico con tecnologia e fanghi attivi italiani) ha consentito di ottenere interessanti risultati, anche se è necessario proseguire nella ricerca per ottimizzare le rese e garantire l'affidabilità del processo lungo un arco temporale adeguato prima di essere oggetto di un'applicazione commerciale nel trattamento degli effluenti zootecnici.

Lo studio dell'**efficienza dell'utilizzo agronomico dell'azoto da effluenti** ha fornito come indicazione operativa la possibilità di considerare l'azoto in forma ammoniacale presente negli effluenti come prontamente disponibile per la pianta e di conseguenza gestibile al pari dell'azoto di un fertilizzante minerale. Diversamente, la componente organica costituisce una fonte di azoto a lenta mineralizzazione di cui si può tener conto con una maggiorazione dell'efficienza in caso di applicazioni ripetute.

Le indicazioni ottenute sono state utilizzate, unite alle conoscenze pregresse, per la realizzazione di un **Sistema di Supporto alle Decisioni** che consente di fornire le soluzioni ottimali di gestione degli effluenti in una singola azienda o gruppo di aziende e di individuare nell'ambito di un territorio le soluzioni di trattamento consortile che consentano di minimizzare costi ed emissioni verso l'ambiente, raggiungendo la conformità rispetto alle normative vigenti.

Il sistema è stato implementato con **interfaccia WEB-GIS** che consente una forte interazione con l'utente e oltre a fornire i **risultati tecnici-economici** delle alternative di trattamento e gestione agronomica, utilizza un modulo di ottimizzazione per valutare le soluzioni più idonee mediante un'**analisi multiobiettivo**. Il software è **utilizzabile on-line** attraverso la pagina web del progetto (www.seespig.unimi.it/).

Il progetto ha anche analizzato alcuni **casi di studio in scala reale** che hanno fornito indicazioni operative e conferme tecniche su alcuni sistemi di gestione che hanno riguardato: una cooperativa di tre aziende per la produzione di energia; la ricollocazione della frazione solida separata; la fitodepurazione dopo trattamento di rimozione dell'azoto; il trattamento e la gestione consortile per la produzione di energia e la rimozione dell'azoto.

Le attività del progetto sono state ampiamente divulgate attraverso convegni, incontri, pubblicazioni divulgative e scientifiche, sito web dedicato. Sono stati direttamente coinvolti nelle ricerche 28 giovani ricercatori e numerosi studenti hanno seguito le attività in corso per la predisposizione del progetto di tesi.

Infine, è in corso di predisposizione un volume a stampa delle attività svolte e sono previsti alcuni convegni nell'autunno 2014 per assicurare il trasferimento dei risultati ottenuti agli utenti finali (agricoltori, tecnici, amministratori, funzionari pubblici).

Descrizione delle attività svolte

WPA Validazione di soluzioni tecnologiche per la gestione degli effluenti e riduzione delle eccedenze azotate

WPA.1 - Separazione solido-liquida

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-IA, UNIMI-DISAA-CA, UNITO-DEIAFA

Obiettivi dell'attività

L'attività era mirata a valutare in modo comparativo diverse tecnologie, consolidate ed innovative, atte a separare la frazione solida e liquida dei reflui, tal quali e dopo digestione anaerobica, e valutare sistemi diversi di trattamento delle diverse frazioni ottenute valutandone le possibili valorizzazioni in ambito agronomico o energetico. A questo scopo il lavoro congiunto dei tre partner coinvolti ha valutato: diversi sistemi di separazione meccanica in scala reale; le possibilità di utilizzo di additivi per migliorare l'efficienza di separazione mediante flocculazione e flottazione; la compatibilità del prodotto compostato con i requisiti di legge per assimilarli a ammendanti compostati misti.

Attività svolta e risultati conseguiti

Lo studio dei separatori meccanici ha riguardato le tipologie maggiormente impiegate a livello nazionale negli allevamenti di suini: a compressione elicoidale a rulli contrapposti decanter (con e senza aggiunta di additivi). E' stato inoltre testato un sistema combinato in cui la frazione liquida ottenuta con dispositivo a rulli contrapposti è stata sottoposta ad una ulteriore separazione con decanter.

Per ciascun sistema di separazione, sono stati esaminati i due tipi di liquame (liquame suino tal quale, liquame suino co-digerito) prodotti in azienda con due differenti portate in ingresso al separatore: una nominale e una ridotta di circa il 50% rispetto a quest'ultima. Nell'ambito di ciascuna prova sono stati determinati:

- la quantità di liquame in ingresso al separatore e quella delle due frazioni (liquida e solida) ottenute;
- le principali caratteristiche chimico-fisiche (solidi totali, ST; azoto totale, N_{tot} ; azoto ammoniacale, NH_4^+-N ; fosforo, P_2O_5 ; potassio, K_2O ; rame, Cu, zinco, Zn) del liquame in ingresso al separatore e delle due frazioni (liquida e solida) ottenute;
- i consumi energetici
- l'efficienza di separazione.

I risultati ottenuti, in termini generali, hanno evidenziato una considerevole correlazione tra efficienza di separazione dei parametri considerati (ST, N_{tot} , NH_4^+-N , P_{tot} , K_{tot} , Cu e Zn) e contenuto di ST del liquame in entrata al separatore (all'aumentare di questi ultimi si incrementa l'efficienza di separazione). I risultati confermano anche l'esistenza di una correlazione negativa tra la portata in ingresso del liquame e l'efficienza di separazione, soprattutto nel caso delle prove condotte con il liquame suino tal quale.

In tutti i casi esaminati è stato possibile ottenere una frazione solida separata di maggior valore agronomico, grazie al maggior contenuto in N_{tot} e P_{tot} , rispetto al liquame (suino tal quale, co-digerito) di partenza e quindi più convenientemente trasportabile a distanza se si vuole ridurre l'impatto ambientale negativo sul territorio di questi macroelementi.

Sono state effettuate prove di separazione con additivi in laboratorio e con un dispositivo pilota per la flottazione. Dalle numerose prove effettuate con dosi crescenti di additivi di diverso tipo è emersa la possibilità di incrementare l'efficienza di separazione, ma anche la difficoltà di ottimizzare questa tecnica soprattutto quando la matrice da trattare era costituita da digestato.

Le matrici utilizzate per le prove di compostaggio derivano da frazioni solide di digestati provenienti da impianti di produzione di biogas, dislocati nel nord Italia (province di Cuneo, Bergamo, Lodi e Brescia), e in parte derivavano dalle prove comparative di sistemi di separazione sopra riportate.

I risultati ottenuti mettono in evidenza che, quando la digestione anaerobica viene correttamente condotta, la frazione solida del digestato presenta discreti livelli di stabilità biologica e che, quindi, il processo di digestione anaerobica può, da solo, consentire una buona stabilizzazione della componente

organica delle biomasse. Tale aspetto dipende con ogni probabilità dalla tipologia delle miscele di alimentazione dei digestori, dai tempi di ritenzione e dalla gestione del processo di digestione anaerobica. Durante il processo di compostaggio delle miscele si assiste ad una diminuzione, così come era prevedibile, sia del contenuto di carbonio organico che di azoto ammoniacale. Tali aspetti risultano di fondamentale importanza se consideriamo che l'impoverimento di carbonio, seppur limitato, comporta una diminuzione delle qualità ammendanti del prodotto finale, mentre le perdite in atmosfera di azoto sotto forma ammoniacale, aspetto di elevata criticità nei confronti dell'ambiente, invece di essere limitata viene favorita dall'aerazione forzata durante il processo.

Il contenuto di azoto organico, sempre superiore all' 80% rispetto all'azoto totale, mostra come i separati solidi sottoposti a compostaggio esplicano bene l'azione di ammendante e meno di fertilizzante in quanto il rilascio di azoto nel terreno sarà prolungato nel tempo e non immediato. Rispetto al contenuto di metalli pesanti i valori ottenuti sono tutti al di sotto dei limiti previsti tranne un solo compost che risulta essere al di fuori dei limiti per il Ni (+23%) e per il Cd (+7%). Dal punto di vista igienico-sanitario nei campioni analizzati vi è l'assenza di organismi patogeni (*Salmonella* ed *Escherichia coli*). Anche per quanto attiene la presenza di materiali inerti i valori rilevati risultano essere conformi alla normativa vigente, salvo un caso dovuto a un alto contenuto di materiale plastico.

Ad ulteriore conferma del valore agronomico dei compost ottenuti, ne è stata testata la compatibilità nei confronti dei vegetali attraverso il test di germinazione con *Lepidium sativum* L., così come richiesto dalla normativa vigente per la valutazione qualitativa degli ammendanti. I risultati ottenuti hanno messo in evidenza valori di indice di germinazione compresi tra 61 e 131%, superiori quindi al valore limite previsto (> 60%). Inoltre, seppur non previsto per legge, sugli ammendanti vagliati è stato effettuato un test di crescita con *Lactuca sativa* L. utilizzando dosi crescenti di ammendante (da 20 a 150 t SS ha⁻¹) e confrontando gli indici di crescita del vegetale con il substrato testimone non trattato. I risultati hanno messo in evidenza che, per tutte le dosi testate, le produzioni medie ottenute sul substrato trattato con gli ammendanti risultano, rispetto a quelle del testimone, significativamente superiori, da ciò è possibile concludere che il prodotto non induce effetti avversi sulla crescita delle piante e si ritiene quindi idoneo all'utilizzo agricolo.

In conclusione, la frazione solida di digestati derivanti da reflui suini, ottenuta attraverso sistemi meccanici di separazione, è risultata effettivamente idonea per un trattamento di compostaggio anche con modeste aggiunte di supporti lignocellulosici (bulking agent) e il prodotto che se ne ricava è un ammendante che risponde alle caratteristiche di qualità prescritte dalle vigenti normative in materia (L.N. 75/2010).

Se il separato solido proviene da impianti di digestione anaerobica, condotti seguendo condizioni ottimali di processo, si configura come biomassa già mediamente stabile, si potrebbe quindi ipotizzare che, per gli eventuali successivi trattamenti di compostaggio, non sia necessario un trattamento ad aerazione forzata da condurre in impianti realizzati *ad hoc* ma che possa essere sufficiente un'aerazione passiva delle biomasse, ottenibile con periodici rivoltamenti dei cumuli, con evidenti vantaggi economici e gestionali, nonché limitazione delle emissioni dovute alle perdite di azoto ammoniacale in atmosfera.

In conclusione, i risultati ottenuti da questa attività consentono di fornire le seguenti indicazioni:

- le efficienze di separazione decresce nel seguente ordine: decanter, compressione elicoidale, rulli contrapposti;
- l'uso di additivi può consentire un miglioramento della separazione, ma la tipologia di additivo e la dose devono essere determinati in base al tipo di effluente. I digestati sono particolarmente critici a questo proposito. Quindi si consiglia di utilizzare questi prodotti solo in casi particolari quando sono necessarie efficienze di separazione particolarmente elevate;
- il compostaggio delle frazioni separate consente di ottenere un prodotto con proprietà ammendanti ed elevato valore agronomico. Il trattamento di digestione anaerobica stabilizza parzialmente il prodotto e rende proponibile un processo di compostaggio semplificato.

WPA.2 - Riduzione dell'azoto con alghe

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-CA

Obiettivi dell'attività

L'attività è stata finalizzata allo sviluppo di un sistema, a scala di laboratorio, in grado di ottimizzare le condizioni ambientali e nutrizionali volte a promuovere la crescita di microalghe selezionate utilizzando come substrato la frazione liquida dei reflui derivanti da sistemi diversi di separazione.

Attività svolta e risultati conseguiti

La sperimentazione ha avuto come obiettivo la valutazione delle capacità fitodepurative, soprattutto in termini di riduzione di azoto ammoniacale e fosforo, di due microalghe *Scenedesmus* sp. e *Chlorella* sp. che vengono ampiamente utilizzate per la loro resistenza a stress biotici e abiotici e per le loro capacità di crescere su substrati complessi quali possono essere i reflui zootecnici e in particolare liquami e digestati.

I due substrati utilizzati sono stati un liquame e un digestato di origine suina, entrambi sottoposti ad una separazione solido/liquido mediante una centrifuga di pieno campo. Per le prove sono stati quindi utilizzati il liquame e il digestato tal quale e i rispettivi separati liquidi dopo centrifugazione.

I due stream sono stati caratterizzati chimicamente in particolare per quanto riguarda il loro contenuto in azoto ammoniacale e fosforo. Precedenti prove di laboratorio hanno evidenziato come le elevate concentrazioni di azoto ammoniacale in questo tipo di substrati risultino tossiche per le microalghe. In questo caso è stata determinata la concentrazione ottimale di ammoniaca, non inibente per la crescita ($120 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$). In base a questo risultato i substrati utilizzati in questa sperimentazione sono stati diluiti fino alla concentrazione ottimale di ammoniaca. Entrambe le microalghe sono state fatte crescere in beute da 500 mL e sottoposte a luce costante con lampade a fluorescenza da 30 W con una intensità luminosa media di circa $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La miscelazione delle colture e l'anidride carbonica necessarie per la crescita sono state fornite mediante l'utilizzo di una pompa da acquario con una portata di 250 L h^{-1} .

La depurazione del liquame suino e del suo separato liquido è stata effettuata con la microalga *Scenedesmus* sp. la quale ha mostrato una crescita sostenuta su entrambi i reflui utilizzati. In particolare, con una crescita di 7 giorni le due prove hanno segnato una produttività giornaliera media di 1.53 ± 0.06 e $1.94 \pm 0.15 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ di clorofilla-a prodotta su liquame e su liquame centrifugato rispettivamente. La produttività maggiore è stata registrata sul liquame centrifugato probabilmente grazie alla riduzione dei solidi sospesi dopo il trattamento con centrifuga (incremento della penetrazione luminosa nel mezzo).

Riguardo alla riduzione di azoto ammoniacale e fosforo, in questo caso l'azoto ammoniacale è stato ridotto del 90% circa in entrambi i casi (90.4% e 89.8% nel liquame e nel separato liquido rispettivamente). A fronte di una riduzione così sostanziale è stato possibile determinare come in realtà l'azoto effettivamente assimilato dall'alga sia stato molto inferiore (27.6% e 26.1% nel liquame e nel separato liquido rispettivamente) con una quota maggioritaria di ammoniaca che è strippata ed è quindi stata persa in atmosfera.

La microalga *Chlorella* sp. è stata invece testata con il digestato e il corrispondente separato liquido. In questo caso la microalga ha mostrato una crescita molto più sostenuta (probabilmente essendo già adattata al substrato) con il separato liquido che ha mostrato una produttività in termini di peso secco pari a $0.166 \pm 0.023 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ contro i $0.102 \pm 0.012 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ottenuti con la prova sul digestato tal quale. Tale differenza è ancora più marcata se si tiene conto che il digestato è stato ulteriormente diluito (fino a 60 mg L^{-1} di ammoniaca) poiché nelle prove preliminari con una concentrazione di 120 mg L^{-1} di ammoniaca la microalga non aveva mostrato una crescita positiva. Anche nel caso di *Chlorella* sp. si è osservata una netta riduzione dell'ammoniaca (92% nel digestato e 90.3% nel separato liquido) a fronte di una quantità di azoto assimilato molto inferiore (23% e 26.2% per digestato e separato liquido rispettivamente).

In conclusione entrambe le microalghe hanno mostrato capacità di crescita su substrati quali liquame e digestato sebbene ad elevate diluizioni. Questo punto è di fondamentale importanza in quanto, probabilmente, a livello aziendale in ambito agricolo un aumento dei volumi così elevato per il trattamento microalgale diventa insostenibile sia logisticamente che economicamente.

In entrambi i casi la riduzione di fosforo e azoto ammoniacale è stata sostanziale in quanto circa il 60% e il 90% di fosforo e ammoniaca rispettivamente sono stati rimossi dal terreno di crescita.

In quest'ultimo caso è stato posto un interrogativo sulla sostenibilità ambientale del processo in quanto circa il 60% dell'ammoniaca è stata persa in atmosfera.

A questo proposito sarebbe interessante studiare e applicare dei sistemi per il recupero e il riciclo dell'ammoniaca strippata nel processo stesso di crescita microalgale.

In ogni caso pur presentando aspetti critici, il trattamento dei reflui zootecnici con le microalghe può essere visto come strumento di finissaggio di processi di trattamento con la concomitante produzione di biomassa ad elevato valore aggiunto da inserire in filiere produttive innovative nei settori della mangimistica e della nutraceutica.

WPA.3 - Impianti di fitodepurazione

Partner coinvolti: UNIPD-DAFNAE-PV

Obiettivi dell'attività

L'attività era finalizzata a esplorare le possibilità operative offerte dalla fitodepurazione per ridurre gli eventuali eccessi di azoto derivanti dall'allevamento suino. In particolare gli obiettivi specifici sono stati:

- ottimizzazione di un impianto aziendale per l'affinamento di reflui di allevamento ;
- sviluppo e monitoraggio di un sistema integrato di trattamento costituito da una batteria di filtri e un impianto di fitodepurazione "a cascata" con l'impiego di piante alofite per prospettare soluzioni di frontiera e di facile gestione.

Attività svolta e risultati conseguiti

Per quanto riguarda l'adattamento di un impianto in scala reale, è stato utilizzato l'impianto ibrido realizzato nel 2008 presso un allevamento suinicolo a Carmignano di Brenta (Pd) che è dimensionato per trattare $2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ di frazione liquida di refluo pretrattato.

L'attività svolta è stata incentrata sui seguenti aspetti:

- Taglio e caratterizzazione della biomassa prodotta durante la precedente stagione vegetativa.
- Adeguamento delle pompe alle esigenze della sperimentazione: sono state sistemate le raccorderie delle tre elettropompe sommerse da 200W posizionate all'interno dei pozzetti di ispezione di ogni vasca a flusso verticale.
- Prova sperimentale per verificare le performance di abbattimento del carico azotato durante la stagione invernale.
- Prove di identificazione genica effettuate su campioni di refluo raccolto.

I risultati del monitoraggio dell'impianto sono riportati nell'attività WPC.3.

L'impianto pilota integrato di filtri e di fitodepurazione a cascata è stato realizzato presso l'Azienda Agraria Sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università di Padova su una superficie totale di 72 m^2 . Esso trattava il refluo proveniente da una stalla di 100 suini costituito da feci, urine e da acque di lavaggio della stalla.

Il sistema di pre trattamento era costituito da 6 filtri indipendenti con contenitore cubico in ferro e volume di $0,64 \text{ m}^3$ riempiti con i diversi materiali (misto di ghiaia e zeolite, misto di sabbia e ghiaia, Arundo donax, tappi misti di plastica, ghiaia, bambù).

Il sistema di fitodepurazione constava in una struttura terrazzata di $7,5 \text{ m}^2$ con due lati opposti, con 6 linee di fitodepurazione. Ogni linea consisteva di tre vaschette in plastica in serie ($0,06 \text{ m}^3$ ciascuna), posizionate su livelli diversi in cui il refluo si muoveva per gravità dalla vasca più alta a quella più bassa. Esse erano riempite con LECA (light-weight expanded clay aggregates) su cui crescevano le piante.

Sia sui filtri che sulle cascate fitodepuranti il monitoraggio dei volumi in ingresso e uscita, assieme alle determinazioni di torbidità, pH, ossigeno disciolto e conduttività elettrica, è avvenuto con cadenza settimanale nel 2012 e due volte la settimana nel 2013.

Il sistema di fitodepurazione a cascata ha consentito di ridurre i carichi azotati in ingresso, con prestazioni nettamente influenzate dalla specie utilizzata (Tabella 1).

Tabella 1 - Rimozione giornaliera media (g m^{-2}) di ogni specie vegetale nell'impianto di fitodepurazione a cascata.

	anno	TN	N-NO ₃	N-NH ₄
<i>Typhoides</i>	2012	1,09	0,57	0,20
<i>Mentha</i>	2012	1,29	0,64	0,25
<i>Carex</i>	2012	0,77	0,34	0,17
<i>Puccinellia/nudo</i>	2013	0	0	0
<i>Halimione</i>	2013	2,5	0,2	1,2
<i>Sarcocornia</i>	2013	1,0	0	1,0
<i>Phragmites</i>	2013	0,6	0	0,6
<i>Cynodon</i>	2013	1,1	0	1,1
<i>Artemisia</i>	2013	0,5	0	0,5

Il sistema pilota integrato filtri-fitodepurazione a cascata ha presentato potenzialità interessanti, ma non ancora consolidate per indirizzare soluzioni operative. Fra i materiali filtranti è interessante riscontrare che anche quelli non convenzionali, quali i tappi di plastica, o quelli che potrebbero essere prodotti direttamente in un'azienda agricola (arundo o bambù) sono in grado di fornire prestazioni assimilabili a quelle dei materiali più comunemente utilizzati (ghiaia, sabbia, zeolite), ma anche più costosi.

Lo studio di specie non convenzionali da utilizzare in fitodepurazione ha fatto emergere la possibilità di far ricorso a piante alofite quando si sia in presenza di reflui ad alto tenore di salinità.

In definitiva la fitodepurazione, opportunamente preceduta da interventi di trattamento sul refluo tal quale, si propone quale sistema efficace e di facile gestione per alleviare il problema dell'eccesso di nitrati di origine zootecnica.

WPA.4 - Prove in batch e continue di digestione anaerobica

Partner coinvolti: UNITO-DEIAFA

Obiettivi dell'attività

L'attività di ricerca è stata finalizzata a quantificare, in digestori da laboratorio di tipo batch, le potenzialità residue, in termini di biogas, delle frazioni (solida e liquida) separate dal liquame suino co-digerito.

In particolare, gli obiettivi specifici di questa attività sono stati:

- valutazione delle potenzialità produttive, in termini di biogas, delle frazioni solida e liquida ottenute dalla separazione meccanica del liquame suino co-digerito;
- valutazione della possibilità di impiego della frazione solida separata del liquame co-digerito come biomassa di input per i digestori anaerobici;
- valutazione della sostenibilità, da un punto di vista energetico ed ambientale, della copertura delle vasche di stoccaggio della frazione liquida digerita con un sistema di recupero del biogas.

Attività svolta e risultati conseguiti

Per questa sperimentazione sono stati oggetto di valutazione campioni delle frazioni solide e liquide separate dal liquame co-digerito in uscita dall'impianto di digestione anaerobica dell'azienda presso cui sono state svolte le prove dell'attività WPA 1, ottenute con il separatore a rulli contrapposti (Rota Guido, mod. SEP 97). Le prove sono state condotte in condizioni di mesofilia (temperatura di 40°C), con tre repliche, per una durata di 60 giorni, facendo riferimento alle norme Standard VDI 4630 (2006). Nell'ambito di ciascuna prova sono stati determinate la produzione giornaliera di biogas e la relativa percentuale di metano.

I risultati ottenuti evidenziano che le due frazioni separate dal liquame co-digerito oggetto di valutazione presentano buone capacità produttive in termini di biogas e metano (26,5 NLCH₄kg SV⁻¹ per la frazione liquida e 110 NLCH₄kg SV⁻¹ per la solida). La capacità produttiva in termini di biogas e metano della frazione solida separata è risultata, rispettivamente, di circa 5 e 4 volte superiore rispetto a quella della frazione liquida.

Le prove sono proseguite in digestori da laboratorio di tipo ad alimentazione continua, per valutare la possibilità di utilizzare la sostanza organica ancora presente nel liquame digerito per la produzione di biogas, ricorrendo alla sua separazione meccanica e al riutilizzo della frazione solida separata come materiale di input del digestore anaerobico. Le produzioni specifiche di biogas e di metano sono state misurate con frequenza giornaliera, mentre la determinazione delle principali caratteristiche chimico-fisiche (pH, solidi totali, solidi volatili, azoto totale, azoto ammoniacale, fibra residua al detergente neutro, fibra residua al detergente acido, lignina residua al detergente acido) delle biomasse di input, del liquame co-digerito e della frazione solida separata è stata effettuata mensilmente.

I risultati ottenuti dalla sperimentazione hanno confermato che la frazione solida del liquame co-digerito possiede ancora un interessante potenziale produttivo in termini di biogas e metano. Nelle specifiche condizioni esaminate in questa sperimentazione, il ricircolo a lungo termine della frazione solida nel digestore ha portato ad un incremento della produzione specifica di metano pari ad oltre il 4% rispetto ai digestori alimentati tradizionalmente. Tuttavia, dopo circa 4 mesi di continua reimmissione della frazione solida, la produzione specifica di metano ha cominciato a diminuire sensibilmente. Tale risultato è presumibilmente da imputarsi alla graduale modifica della qualità della sostanza organica ricircolata con la frazione solida separata all'interno dei digestori. Con il passare del tempo, infatti, le frazioni più facilmente degradabili vengono metabolizzate dai microrganismi, mentre quelle più recalcitranti tendono ad accumularsi senza contribuire alla produzione di biogas.

La misura, in condizioni reali, della quantità residua di biogas che si genera durante lo stoccaggio della frazione liquida separata dal liquame co-digerito è stata condotta nella vasca di stoccaggio (capacità di circa 14000 m³) della frazione liquida separata del liquame co-digerito prodotto nell'impianto di digestione anaerobica dell'azienda presso la quale sono state svolte le prove dell'attività WPA.1. La misura delle emissioni di biogas è stata effettuata utilizzando una specifica attrezzatura galleggiante messa a punto dal DISAFA. Quest'ultima, copre una superficie di 6,25m² (2,5 X 2,5m) ed è equipaggiata

con un sistema in grado di recuperare il biogas prodotto. La sperimentazione ha avuto una durata di circa 6 mesi.

I risultati ottenuti nel corso della prova sono sintetizzati nella Tabella 2.

Tabella 2 - Prove in scala pilota di recupero del biogas dalla vasca di stoccaggio della frazione liquida digerita: sintesi dei risultati ottenuti nel corso della sperimentazione

Temperatura media ambientale (°C)	Temperatura media del liquame (°C)	Produzione media di CH ₄ (NL/m ² vasca /giorno)	Produzione media di CH ₄ (Nm ³ /m ³ liquame immesso)	Contenuto medio di CH ₄ nel biogas (%)
19,6	23,2	90,9	2,31	78
(9,50-25,7)	(12,9-26,2)	(31,3-243)	(0,80-6,18)	

In particolare, dai dati raccolti, è possibile stimare che dalla vasca di stoccaggio (circa 2800 m² di superficie) della frazione liquida digerita dell'impianto oggetto di monitoraggio vengono emessi, in media, circa 230 Nm³CH₄ giorno⁻¹. La copertura di tale vasca, con un sistema in grado di recuperare tali emissioni, consentirebbe di evitare di emettere in atmosfera circa 1600 t di CO₂ eq. all'anno e al contempo di produrre oltre 290 MWeI anno⁻¹.

WPA.5 - Processo di denitrificazione Anammox

Partner coinvolti: UNIPD-DAFNAE-BIO

Obiettivi dell'attività

Il processo anammox (anaerobic ammonium oxidation) è un processo biologico di rimozione dell'azoto alternativo a quello classico che opera per nitrificazione-denitrificazione. Si realizza in due tappe: a una prima parziale nitrificazione, arrestata allo stadio di nitrito NO₂⁻, segue la reazione anammox che converte l'ammonio e il nitrito in azoto molecolare gassoso N₂.

Lo scopo della ricerca è stato:

- lo studio dei parametri biochimici del processo anammox nelle fasi di start-up e di gestione ordinaria, passando dalla sperimentazione in laboratorio allo sviluppo di un impianto pilota per il trattamento del digestato liquido di un digestore anaerobico;
- la caratterizzazione genetica, fisiologica e tassonomica dei microrganismi presenti nel bioreattore ed attivi nel processo, per finalizzare intenti di standardizzazione del trattamento, reimpiego e produzione dell'inoculo.

Attività svolta e risultati conseguiti

E' stato progettato e realizzato un bioreattore anammox a doppio stadio mediante il know-how e il supporto tecnico della ditta Eurotec WTT di Padova. Nel primo stadio di 1000 l avviene il processo SHARON (Single reactor for High activity Ammonium Removal Over Nitrite) che realizza la parziale conversione dell'ammonio a nitrito in rapporto prossimo a 1:1; a valle di questo sono collocati il chiarificatore e il serbatoio di accumulo del nitrosato. Il secondo stadio, dove avviene il processo anammox, consta di due zone: la prima, avente un volume totale di circa 270 l, è la parte dove risiede il fango biologico attivo, mentre la seconda, posizionata sopra la prima, ha un volume di circa 200 l e funge da zona di chiarificazione del refluo in uscita. Entrambi i due reattori del pilota Sharon-Anammox (denominato in seguito BIOREATTORE) sono forniti di strumentazione per il monitoraggio fine del processo: un misuratore di pH e di temperatura, un misuratore del potenziale di ossido riduzione e un misuratore di ammoniaca; il misuratore di O₂ disciolto è collocato solo nel reattore di nitrosazione. Il processo di completamento, assemblaggio e verifica del BIOREATTORE si è concluso nel maggio 2012.

Nel giugno 2012 il BIOREATTORE è stato posizionato presso lo stabilimento AIA di Villaganzerla (VI) che consiste in un impianto di macellazione (circa 80000 tacchini-polli/die) e un impianto di recupero dei residui animali (rendering). E' importante sottolineare come le caratteristiche del digestato liquido (N-NH₄ pari a circa 2000 ppm e COD degradabile circa 300 ppm) siano molto simili a quelle del digestato liquido da suino, pertanto il loro uso come alimento per il BIOREATTORE si configura come un valido test per la sperimentazione.

In Figura 1 è riportato il grafico relativo al trend di abbattimento dell'azoto totale (kg/m³/die) rispetto a quello in ingresso e al nitrito in uscita (N-NO₂⁻ mg l⁻¹). Si può notare come fino al 320 giorno l'N abbattuto

non abbia mai raggiunto valori superiori a 0,2 kg/m³/die e ciò nonostante si fosse già nelle condizioni di preparazione controllata dell'alimento.

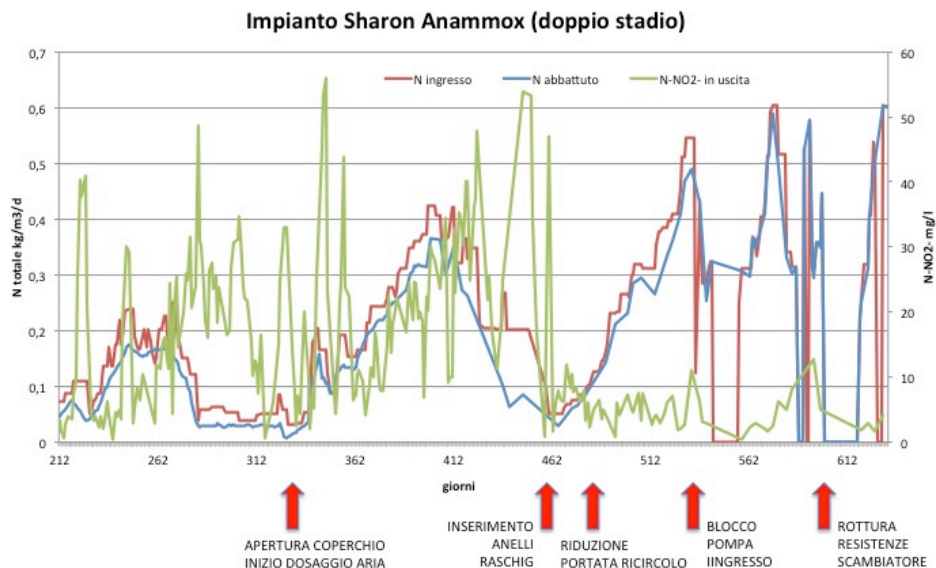


Figura 1 - Trend di abbattimento dell'azoto totale rispetto a quello in ingresso e all'azoto nitroso in uscita nel BIOREATTORE Anammox.

Le soluzioni migliorative hanno consentito di raggiungere valori di azoto abbattuto di 0,5-0,6 kg/m³/die e probabilmente si sarebbe potuti arrivare a performance ancora migliori se non fossero intervenuti impedimenti meccanici e tecnici che hanno rallentato il processo anammox negli ultimi mesi di sperimentazione: il blocco della pompa di alimentazione al 2° stadio (anammox) che ha richiesto 3 settimane per la riparazione e la successiva avaria a entrambe le resistenze dello scambiatore che non hanno potuto garantire temperature ottimali al processo per altre 3-4 settimane.

Durante la sperimentazione sono stati effettuati prelievi di fanghi e campioni liquidi da sottoporre ad ulteriori analisi microbiologiche. I risultati hanno consentito di stabilire che nel bioreattore anammox la microflora dominante è largamente rappresentata da specie del phylum Planctomycetes e che il loro corretto rilevamento quantitativo si avvantaggia grandemente della procedura di sequenziamento diretto dell'RNA in quanto i metodi basati su amplificazione PCR da geni per la corrispondente molecola tenderebbero a sottostimarne la consistenza a favore del phylum dei Proteobacteria.

In conclusione, si ritiene che il processo anammox, pur avendo manifestato interessanti risultati, necessiti ancora di un periodo di sperimentazione e di monitoraggio per ottimizzare le rese e garantire l'affidabilità del processo lungo un arco temporale adeguato prima di essere oggetto di un'applicazione commerciale nel trattamento degli effluenti zootecnici.

WPA.6 - Efficienza dell'azoto da effluenti

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-AG, UNIUD-DISA

Obiettivi dell'attività

L'obiettivo dell'attività prevista in questo WP è stato quello di quantificare, attraverso un'incubazione di laboratorio, la disponibilità potenziale di N per la pianta in seguito all'applicazione di un liquame suino tal quale o dopo digestione anaerobica. La disponibilità potenziale di N è stata determinata dopo una, tre e sei applicazioni dei reflui, stimando in questo modo l'effetto residuo delle precedenti applicazioni.

Le conoscenze acquisite forniscono un utile supporto per stimare meglio, in fase di redazione dei piani di concimazione, l'efficienza potenziale dell'azoto veicolato con i liquami tal quali o digeriti in relazione anche alla ricorrenza della loro applicazione.

Attività svolta e risultati conseguiti

Per conseguire l'obiettivo preposto sono state allestite due prove di incubazione nelle quali sono stati confrontati i seguenti trattamenti: 1) un liquame suino; 2) lo stesso liquame dopo digestione anaerobica;

3) un controllo concimato con solfato di ammonio e 4) un controllo non concimato. La prima prova ha previsto l'impiego di reflui e solfato di ammonio non marcati mentre nella seconda prova, al fine di discriminare l'N proveniente dai materiali da quello nativo del suolo, sono stati impiegati materiali arricchiti in ^{15}N .

Il bilancio del C ha evidenziato come durante la digestione anaerobica circa il 50% del C del refluo venga mineralizzato (come CH_4 e CO_2). Le perdite di C dovute alla mineralizzazione nel suolo sono state inferiori nel caso del digestato (38% del C applicato) rispetto al liquame (66% del C applicato), ciò a causa della stabilizzazione della sostanza organica del refluo dopo digestione anaerobica. Considerando complessivamente le perdite di C dovute alla digestione anaerobica e quelle dovute alla respirazione nel terreno, sono stati ottenuti risultati equivalenti tra i due materiali, con valori pari al 66-68% del C inizialmente presente nel liquame.

Durante la digestione anaerobica, parte dell'N organico del refluo è stato mineralizzato, con conseguente incremento del rapporto $\text{NH}_4\text{-N}/\text{N tot.}$ rispetto al liquame di partenza; ciò, unitamente alla maggior stabilità, e ad un minor rapporto C/N della sostanza organica del digestato rispetto a quella del liquame ha determinato una ridotta immobilizzazione netta di N nel suolo. Viceversa, nel trattamento con liquame, parte dell'N minerale applicato è stato immobilizzato nei primi tre giorni di incubazione, per essere poi mineralizzato nelle settimane successive. Nello stesso trattamento, dopo sei applicazioni, non vi è stata più una consistente immobilizzazione netta di N, probabilmente a causa di una concomitante mineralizzazione di N organico precedentemente applicato.

La disponibilità potenziale di N per le piante è risultata essere prossima al rapporto $\text{NH}_4\text{-N}/\text{N tot.}$ dei materiali, indicando una contenuta mineralizzazione netta dell'N organico apportato con i reflui. All'aumentare del numero di applicazioni, si è evidenziato un incremento della disponibilità di N che è risultata più marcata nel caso del liquame che nel caso del digestato. Rispetto ad una sola applicazione, l'incremento è risultato pari a 4-5% e 7-10% dopo tre e sei applicazioni rispettivamente, considerando le determinazioni eseguite dopo 110 giorni dal trattamento.

L'effetto residuo più marcato del liquame è in accordo con la minor stabilità della sostanza organica di quest'ultimo rispetto al digestato e quindi ad una sua più marcata mineralizzazione nel medio periodo.

Sul piano dell'inserimento degli effluenti suini tal quali o digeriti nei piani di concimazione si può ritenere opportuno considerare come azoto disponibile per le piante nel breve periodo quello da essi veicolato in forma ammoniacale. La stima dell'azoto disponibile derivante dalla mineralizzazione dell'azoto organico richiede invece di considerare il grado di stabilizzazione dell'effluente, maggiore in caso di digestione, ed il regime di applicazione, se con applicazioni occasionali oppure ripetute.

WPB Sviluppo di un Decision Support System integrato con un GIS per la valutazione tecnica ed economica delle soluzioni territoriali per la gestione degli effluenti di allevamento

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-IA, UNIMI-DISAA-ECO, UNIUD-DISA

Obiettivi dell'attività

Obiettivo del WP è la realizzazione di un sistema di supporto alle decisioni (DSS) a scala aziendale a uso di imprenditori agricoli alla ricerca di un'ottimizzazione dei fattori produttivi su base economica, tecnologica e ambientale che, quando applicato a una molteplicità di aziende operanti in un territorio omogeneo, può diventare strumento di valutazione territoriale e di orientamento delle politiche agroambientali.

Data la forte interazione tra le diverse componenti di questo WP, l'attività svolta viene riportata in modo integrato.

Attività svolta e risultati conseguiti

Per quanto riguarda la realizzazione di una banca dati delle tecnologie da implementare nel DSS, dopo una prima selezione delle tecnologie, è stato valutato come inserirle nel sistema. La scelta dei procedimenti tecnologici da sottoporre a valutazione come alternative è basata sulle caratteristiche dei liquami/letami (volume, N totale, NH_3 , SS, SV, P_{tot} , K). Gli output generati da utilizzare nel modello di ottimizzazione sono i medesimi parametri elencati aventi diversi valori a seguito dei trattamenti subiti. Gli output

quantificano, inoltre, le emissioni in atmosfera di CH₄, NH₃, CO₂, N₂, N₂O, i costi, i ricavi (esercizio, investimento, vendita eventuale ecc.) e il bilancio energetico (energia consumata e prodotta).

Per ogni tecnologia analizzata sono stati prodotti algoritmi di trasformazione che utilizzano dei parametri di progetto modificabili per consentire al modello di rispecchiare nel modo più fedele la realtà operativa aziendale. Tali algoritmi permettono di ottenere le caratteristiche chimico fisiche dell'effluente trattato, ricavare dati significativi riguardo la tecnologia adottata e i dati gestionali in merito a costi e ricavi, energia ed emissioni in aria di gas a effetto serra o a effetto acidificante.

I moduli di trattamento realizzati sono i seguenti:

1. Stoccaggio
2. Separazione a vite elicoidale
3. Separazione centrifuga
4. Digestione anaerobica (impianto completamente miscelato con o senza aggiunta di biomassa)
5. Rimozione biologica dell'azoto mediante nitrificazione-denitrificazione con trattamento batch (SBR)
6. Rimozione biologica dell'azoto mediante nitrificazione-denitrificazione con trattamento continuo
7. Flottazione
8. Strippaggio a caldo
9. Strippaggio a freddo
10. Evaporazione
11. Stabilizzazione aerobica
12. Digestione anaerobica (impianto non miscelato)
13. Fitodepurazione
14. Compostaggio
15. Gestione Azoto (valutazione delle eccedenze e della necessità di esportare)

Ogni singola alternativa di trattamento dei reflui è stata ricondotta ad una serie di moduli di trattamento la cui modellizzazione consente, a partire da determinate caratteristiche chimico fisiche iniziali dell'effluente prodotto da ogni azienda, di calcolare le trasformazioni quali-quantitative.

Le alternative definite sulla base delle soluzioni effettivamente proponibili per il trattamento degli effluenti sono riportate in Tabella 4. Per ogni alternativa è prevista l'esportazione degli effluenti se in eccesso e l'effettuazione del compostaggio delle frazioni solide separate, se presenti, nel caso in cui risultasse economicamente conveniente.

Il DSS è stato realizzato per essere utilizzato mediante una piattaforma interattiva disponibile su web, dove l'utente può interfacciarsi con il database della propria azienda e individuare aziende con cui potenzialmente potrebbe cooperare per un progetto di trattamento consortile degli effluenti di allevamento. Questa soluzione di gestione consortile degli effluenti, potrebbe portare notevoli vantaggi sia da un punto di vista ambientale che da un punto di vista economico.

Il sistema creato è disponibile su web previa autenticazione e permette di agire con tre differenti approcci:

- Modifica azienda, per visionare e modificare le caratteristiche aziendali (tipologia di effluente prodotto, caratteristiche strutturali dell'allevamento, consistenza della mandria, strutture di stoccaggio, assetto colturale...) e decidere se modificarle creando un nuovo scenario, ovvero una copia dello stato attuale presente nel data base. All'interno di questa sezione è presente anche il collegamento con la piattaforma "web-gis agronomica" che permette di prendere visione dell'azienda e dei suoi appezzamenti attraverso foto satellitari e modificare l'assetto delle colture.
- Gruppo aziende, consente di selezionare l'azienda o le aziende da analizzare e definire gli obiettivi economici, energetici e ambientali.
- Localizzazione, consente di individuare i migliori insiemi di aziende che potrebbero dare vita ad un consorzio per il trattamento consortile degli effluenti di allevamento.

Il DSS calcola sulla base delle caratteristiche delle aziende analizzate le quantità e caratteristiche degli effluenti che si ottengono con le diverse alternative di trattamento e definisce le quantità che vengono utilizzate per la distribuzione sui terreni aziendali.

Inoltre, il modello di simulazione fornisce un'importante proiezione temporale della potenziale quantità di nitrati lisciviati in funzione del sistema colturale adottato. Il sistema colturale e le rotazioni adottate vengono viste, quindi, non tanto in funzione della resa agraria, quanto come possibili alternative, con diversi gradi di limitazione, all'inquinamento causato dai nitrati di origine agricola.

I risultati simulativi uniti alle funzionalità offerte dal DSS, che si avvale di una interfaccia grafica WEB GIS *user friendly*, permettono all'utente di creare una serie di scenari alternativi in cui può modificare le

informazioni agronomiche, nonché diversi aspetti legati al management, e ottenere una risposta relativa al livello di lisciviazione dei nitrati. La flessibilità del sistema e le sue *features*, lo rendono utile non solo all'allevatore e ai tecnici del settore, ma anche ai decisori politici.

Le soluzioni individuate sono valide in tutto il bacino Padano Veneto con due livelli di dettaglio: particellare (implementato nelle aree campione) e comunale.

Per la simulazione degli aspetti legati alla lisciviazione dei nitrati è stato utilizzato Cropsyst che è un modello deterministico multi-annuale, multi-culturale, con intervallo di integrazione giornaliero, che simula aspetti legati alla coltura, il bilancio dell'acqua, dell'azoto, della sostanza organica nel terreno, il fenomeno dell'erosione, utilizzando come input dati pedologici, colturali, delle tecniche applicate e climatici. Il modello permette di eseguire simulazioni ad ampia scala territoriale grazie al modulo GIS che associa una simulazione a un'unità territoriale omogenea caratterizzata da una combinazione suolo, meteo, rotazione colturale (coltura e relativa gestione). Esperienze passate, anche condotte in condizioni particolarmente stressanti, hanno dimostrato che il modello ben si adatta all'ambiente colturale italiano, in particolare del Nord Italia.

Per lo sviluppo del DSS sono state utilizzate delle aree campione che sono state individuate in base alla pressione zootecnica e alla localizzazione in zone vulnerabili o ordinarie. Sono stati individuati i tre comuni con le caratteristiche riportate in Tabella 3.

I comuni sono stati scelti anche in funzione del fatto che i dati necessari alle simulazioni fossero dettagliati e disponibili. In queste aree il livello di dettaglio simulativo ottenuto è a livello particellare. Questo si manifesta anche nel DSS ove l'utente, se opera nei comuni campione, può agire su colture, irrigazione, concimazione, oltre che su altre *features*, a livello particellare.

Il sistema è stato studiato per essere valido in tutto il bacino interessato dal progetto, cioè in Piemonte, Lombardia, Veneto e Friuli Venezia Giulia, anche al di fuori delle aree campione. In questo caso i valori restituiti dal sistema all'utente sono a livello di dettaglio comunale (comuni con almeno un allevamento suinicolo).

Tabella 3 - aree campione e loro caratteristiche

Comune	Regione (Provincia)	Vulnerabilità	Numero allevamenti suinicoli	Capi suini	Capi bovini
Corte Palasio	Lombardia (LO)	V	9	15.798	3.613
Pieve Fissiraga	Lombardia (LO)	NV	9	20.860	2.691
San Quirino	FVG (PN)	NV	3	22.801	2.608

Per ogni area campione sono state raccolte le informazioni su: caratteristiche dei terreni sulla base delle carte dei suoli disponibili; dati meteo in serie storiche opportunamente uniformate; caratteristiche degli effluenti da utilizzare.

Il DSS non include il modello di simulazione, CropSyst, in quanto una simulazione richiede tempo, necessita di appositi file e non vi è controllo sulla qualità dei valori restituiti. Inoltre gli output, ai fini del DSS, devono essere opportunamente elaborati.

Per questo motivo, i valori di concimazione organica e minerale sono stati messi in relazione con gli output al fine di costruire delle rette di regressione. Le rette vengono calcolate utilizzando diversi valori di azoto organico e minerale. Ogni singolo punto è calcolato come valore medio di una simulazione trentennale della coltura in esame. L'elaborazione è finalizzata a ricavare una funzione tale da permettere il calcolo degli output nel continuo, specificando i valori di azoto organico e minerale.

Le simulazioni effettuate sono state definite dopo un attento confronto tra diversi metodi in modo da ottenere risultati che rappresentino adeguatamente il territorio esaminato.

Per verificare la bontà dei metodi di riduzione della complessità, rette di regressione e combinazioni meteo - suoli si è proceduto al calcolo degli output di interesse. I valori calcolati sono stati confrontati con quelli ottenuti dalle simulazioni per verificare che siano, statisticamente, non diversi.

La distribuzione non risulta normale e vi è omoschedasticità, per cui viene utilizzato il test di Kruskal Wallis. Relativamente all'azoto lisciviato risulta che non vi è differenza tra i valori calcolati tramite le rette di regressione e i valori simulati delle combinazioni suolo - clima dei cluster.

Ulteriore verifica statistica è stata condotta tra gli output della simulazione e i valori calcolati tramite la retta di regressione di ogni singola combinazione suolo - meteo. In questo caso viene utilizzato il test di Wilcoxon. Alla luce dei test applicati non vi è differenza statistica e quindi i risultati risultano rappresentare validamente le aree considerate.

L'utente può modificare la composizione particellare della propria azienda e specificare il tipo di irrigazione di ogni particella, se prevista (Figura 2). Aspetto più importante di tale modulo è la possibilità di specificare le colture presenti, le superfici ad esse dedicata, la quantità di azoto organico e minerale destinate ad ognuna. Al momento dell'accesso, tramite un'applicazione WEBGIS, l'utente visualizza le particelle associate alla sua azienda. Vengono visualizzate le particelle di proprietà, quelle in affitto e quelle in convenzione, indicate con colori peculiari. In considerazione del fatto che un'azienda è un'entità dinamica, è possibile modificarne la composizione. L'utente può aggiungere o togliere particelle entro un buffer di 3 km rispetto alle particelle delle aziende studio.

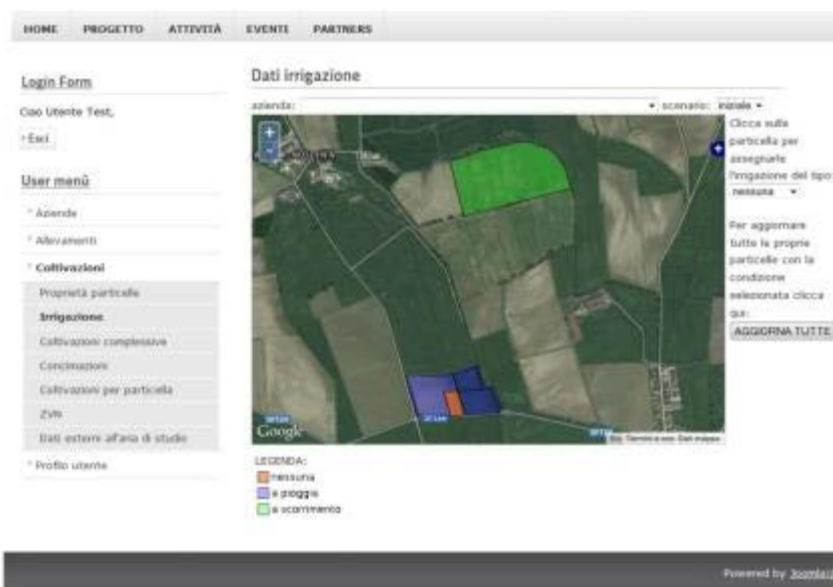


Figura 2 - Schermata relativa alla modifica delle proprietà delle particelle

Una delle funzioni implementate nel DSS permette all'utente di specificare quali particelle ricadono in zona ordinaria o in zona vulnerabile. Con tale funzione si vuole tenere conto della possibile evoluzione della normativa vigente in materia di inquinamento da nitrati.

I valori calcolati vengono inviati all'ultimo blocco del DSS, il modulo di ottimizzazione, il cui scopo è di fornire la migliore soluzione dal punto di vista economico, tecnologico ed ambientale.

In sintesi le scelte da effettuare per gestire l'ottimizzazione riguardano i seguenti aspetti:

- 1) nel caso un'azienda volesse realizzare un impianto di trattamento a fronte di un eccesso di azoto zootecnico, quale alternativa di trattamento risulta migliore;
- 2) nel caso ci fossero più aziende nelle medesime condizioni, quale aggregazione consente di gestire nel modo migliore i reflui tramite un impianto consortile;
- 3) in questo caso, oltre alla definizione dell'alternativa di trattamento migliore occorre individuare anche la migliore ubicazione dell'impianto consortile.

A questi quesiti se ne aggiunge un quarto:

- 4) quale accezione dare al termine "migliore" ricorrente nei tre punti precedenti.

Il problema di ottimizzazione è stato espresso mediante un modello di programmazione non lineare multi obiettivo con la seguente funzione obiettivo

$$\min \sum \left(w_i * \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \right)$$

con w = peso attribuito a ciascun obiettivo (con $\sum_i w_i = 1$).

Ogni variabile X_i viene inserita nella funzione obiettivo opportunamente standardizzata in modo da eliminare il fattore di scala. La standardizzazione ha inoltre lo scopo di riportare la variabile entro un intervallo compreso tra 0 e 1. I valori $X_{i\max}$ e $X_{i\min}$ sono i valori rispettivamente massimo e minimo assunti dall'obiettivo i -esimo riscontrabili tra tutte le soluzioni possibili (Tabella 4).

Le variabili di trattamento non rientrano nella funzione obiettivo. In particolare il contenuto di azoto, sovente causa principale dell'adozione di tali processi di adattamento aziendale, non viene minimizzato,

data l'importanza agronomica e la necessità di non privarsi di questa risorsa, ma sottoposto al vincolo normativo (rispetto delle soglie definite dalle norme applicative della direttiva nitrati) e al vincolo agronomico. Il contenuto di azoto costituisce infatti l'elemento di raccordo con il modello agronomico di gestione dei terreni pertinenti.

Oltre al livello di riduzione del contenuto di azoto, i vincoli inseriti nel modello riguardano il fabbisogno di biomasse vegetali, i limiti dimensionali dell'impianto e i limiti massimi di distanza per la movimentazione dei reflui. Le variabili di trattamento vengono trasformate da ciascun modulo di trattamento generando nel contempo gli output della funzione obiettivo secondo le relazioni descritte nei paragrafi relativi a ciascun modulo.

Tabella 4 - Caratteristiche dei reflui (variabili di trattamento), tecnologie di trattamento e obiettivi

Variabili di trattamento	Alternative tecnologiche - Sequenze di moduli di trattamento	Obiettivi X_i (i=1, 2, 3, 4)
1. Volume 2. Azoto totale 3. Azoto ammoniacale 4. Sostanza secca 5. Solidi volatili 6. Fosforo totale 7. Potassio totale	0. Solo stoccaggio 1. Separazione vite elicoidale 2. Digestione anaerobica (AD) 3. AD + Separazione centrifuga 4. Rimozione biologica azoto con processo sequenziale (SBR) 5. Rimozione biologica azoto con processo continuo (NDN) 6. SBR con AD dei fanghi 7. NDN con AD dei fanghi 8. AD + Separazione centrifuga + SBR 9. AD + Separazione centrifuga + Strippaggio a caldo 10. AD + Ultrafiltrazione, Osmosi inversa e strippaggio a freddo 11. AD + Separazione centrifuga+ evaporazione 12. Separazione centrifuga + Ultrafiltrazione, Osmosi inversa e strippaggio a freddo 13. Separazione vite elicoidale + Stabilizzazione aerobica 14. Separazione vite elicoidale + AD-Plugflow 15. Rimozione biologica dell'azoto + fitodepurazione 16. Flottazione + AD + separazione centrifuga + rimozione biologica dell'azoto + fitodepurazione	1. Costo di esercizio (al netto di eventuali prodotti congiunti ottenuti): a. trasporto b. trattamento 2. Energia consumata (al netto dell'energia eventualmente prodotta) 3. Emissioni di gas serra 4. Emissioni di gas acidificanti

All'interno del problema multi obiettivo il tema dell'individuazione della configurazione ottimale dal punto di vista consortile richiede un approccio specifico. La tecnica di ottimizzazione utilizzata si basa su un algoritmo *greedy* di ricerca locale. Di ricerca locale perché l'algoritmo va a cercare, partendo da una configurazione iniziale, attraverso una serie di mosse di modifica di tale configurazione, una configurazione migliore, a partire dalla quale ogni configurazione ottenibile attraverso una singola mossa va a peggiorare la soluzione ottenuta. Una configurazione è una rappresentazione di quella che può potenzialmente essere una soluzione del problema. Essa fornisce informazioni su quali aziende ospitino un impianto di trattamento, sulla tipologia di tale impianto e su come dovranno essere effettuati i trasporti (cioè verso quale impianto ogni azienda debba far confluire i propri reflui).

Particolarmente delicata è la valutazione dei risultati che si ottengono dalle valutazioni multiobiettivo.

La presenza di quattro differenti obiettivi (costi, energia consumata, emissioni di gas a effetto serra, emissioni di ammoniaca gassosa), potenzialmente conflittuali tra di loro, richiede un'attenta valutazione dei risultati ottimali dato che dipendono strettamente dal valore assegnato ai pesi attribuiti. I pesi esprimono l'importanza assunta da ciascun obiettivo rispetto agli altri e dipendono dagli obiettivi di politica economica e ambientale perseguiti.

Al fine di considerare la gamma completa delle importanze assegnate a ciascun obiettivo, e quindi di tutte le possibili ponderazioni date al sistema di pesi, si è calcolata la soluzione ottimale in corrispondenza delle diverse combinazioni dei pesi. Questa analisi viene poi rappresentata come profilo (grafico radar) in modo da fornire una rappresentazione che fornisca una comparazione immediata delle soluzioni.

Il confronto tra le alternative consente anche di esprimere valutazioni in ordine alla conflittualità tra gli obiettivi. In questo caso possono essere utili i confronti delle funzioni bi-obiettivo, in cui è possibile osservare in quale misura occorre rinunciare a un obiettivo per migliorare il raggiungimento di un altro.

La valutazione dei risultati del DSS in casi operativi ha riguardato, oltre all'analisi di singole aziende, la simulazione dei due casi consortili oggetto di monitoraggio nell'ambito del progetto e riportati (WPC.1 e WPC.4). I confronti effettuati riguardano sia la produzione di effluenti basata sulle caratteristiche aziendali ottenuta dal DSS rispetto ai dati analitici riscontrati, sia i risultati del trattamento ottenuti dalla simulazione rispetto a quanto monitorato negli impianti. La valutazione consente di confermare la validità del DSS sviluppato e la coerenza dei risultati forniti con quelli ottenuti in casi reali. Il DSS è a disposizione degli utenti, accessibile dal sito www.seespig.unimi.it.

WPC Valutazione di soluzioni gestionali in casi di studio

WPC.1 - Sistema di gestione cooperativo

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-IA, UNIMI-DISAA-ECO

Obiettivi dell'attività

La finalità era di valutare un sistema di gestione cooperativo degli effluenti. Nell'affrontare questa attività, per difficoltà nell'individuare una situazione di questo tipo senza la presenza di trattamenti, ci si è orientati verso un sistema cooperativo che prevede la produzione di biogas e la successiva distribuzione in campo del digestato.

E' rimasto inalterato l'obiettivo di valutare i costi e i benefici di una gestione di questo tipo, tenendo conto in particolare dei trasporti.

Attività svolta e risultati conseguiti

L'impianto monitorato comprende tre digestori circolari collegati tra di loro secondo il principio dei vasi comunicanti, alimentati da una prevasca e da una tramoggia. Nella prevasca vengono convogliati la totalità dei liquami prodotti dalle tre aziende e saltuariamente parte delle biomasse. Il carico giornaliero delle biomasse viene registrato quotidianamente. Le biomasse utilizzate sono: trinciato di mais, farina di biscotti, farina di mais e semola. Esse costituiscono, con un rapporto rispettivamente di 15:2:1:2, un carico giornaliero di circa 30 t.

Sia la prevasca, sia i 3 digestori sono muniti di sensori di livello, che permettono di registrare i livelli del liquido ogni 5 minuti. Sono stati installati sensori di livello anche per la vasca di stoccaggio finale.

La qualità e i livelli di biogas prodotto giornalmente nonché la potenza dei due motori, in grado di sviluppare complessivamente 1 MW di potenza elettrica, vengono monitorati costantemente attraverso un sistema computerizzato.

I dati ottenuti e raccolti dalle diverse campagne di monitoraggio sono stati usati per ottenere un bilancio di massa dell'impianto (Figura 3).

L'energia ceduta dall'impianto risulta, per la maggior parte del periodo monitorato, sempre intorno i 600 MWh mensili, che si può tradurre in una potenza media di 833 KW (83% della nominale).

La distribuzione del digestato stoccato viene operata dai tre soci mediante carrobotte con piatto deviatore oppure attraverso rotolone ombelicale. Le operazioni di distribuzione sono state monitorate in modo da definire i tempi di lavoro e i costi delle operazioni.

L'utilizzo del rotolone permette una capacità di lavoro di circa $150 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ con un costo di circa 78 € h^{-1} . Per il carrobotte risulta una capacità di lavoro paria circa $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ con un costo di 70 € h^{-1} . Questo comporta che la distribuzione con rotolone incide con un costo di 0.52 € m^{-3} mentre con il carrobotte si ottiene un costo di 1.17 € m^{-3} .

Il monitoraggio effettuato ha confermato la sostenibilità di questa soluzione in aree con moderato carico zootecnico.

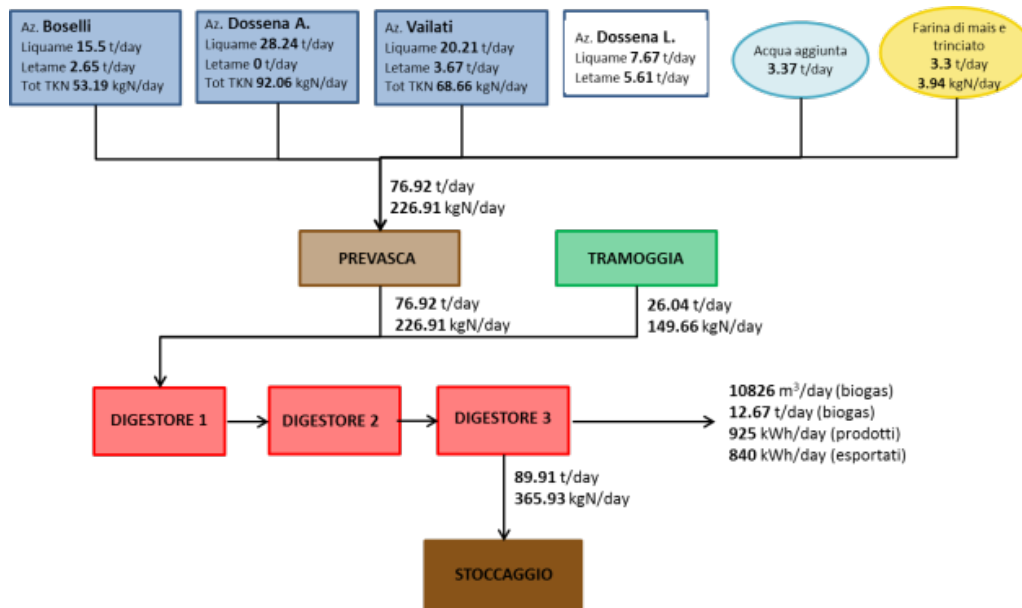


Figura 3 - Bilancio di massa delle quantità di effluenti e di azoto nell'impianto monitorato

WPC.2 - Ricollocazione della frazione solida separata

Partner coinvolti: UNITO-DEIAFA, UNIMI-DISAA-ECO

Obiettivi dell'attività

Questa attività prevede lo studio dei sistemi più idonei per la ricollocazione degli effluenti in eccesso, in particolare il materiale palabile derivante dalla separazione degli effluenti.

Attività svolta e risultati conseguiti

L'attività, che si basa sui risultati di un precedente progetto (Impreza) finanziato dalla Regione Piemonte ha previsto la riprogettazione e l'implementazione del prototipo di spandi-separato solido precedentemente realizzato. In particolare, di quest'ultimo sono stati mantenuti il solo telaio, il cassone e il sistema di alimentazione a tapparella, mentre i sistemi di distribuzione e di controllo e regolazione della dose distribuita sono stati completamente riprogettati, installati sulla macchina e verificati in campo. Al fine di garantire una buona transitabilità nell'interfila dei frutteti, si è dovuto trovare un compromesso tra la manovrabilità e leggerezza del mezzo e la sua autonomia operativa, necessaria per ottimizzare i tempi di lavoro.

Con l'obiettivo di garantire la distribuzione della dose di prodotto desiderata, lo spandi-separato è stato equipaggiato con un nuovo sistema elettronico di controllo della dose distribuita (DIKEY-John, IntelliAg AI50), integrato con un dispositivo di posizionamento geografico globale (GPS) in grado di georeferenziare, rendendole tracciabili, le operazioni di spandimento.

Il sistema consente all'operatore di impostare sull'unità di controllo la dose di distribuzione desiderata (in termini di kg elemento fertilizzante/ha), il contenuto di nutrienti del separato solido e di garantire la distribuzione della dose impostata indipendentemente dalla velocità di avanzamento della macchina.

Le prove condotte per verificare la gittata e l'uniformità di spandimento trasversale e longitudinale, ottenibili con il nuovo sistema di distribuzione, hanno evidenziato che l'inclinazione dei dischi centrifughi influisce sensibilmente su questo parametro. In particolare, utilizzando il disco in posizione orizzontale, il prodotto viene distribuito su una fascia di terreno di circa 1,5 metri di ampiezza, ma in maniera non sufficientemente omogenea. Un'inclinazione del disco di circa 25° consente, al contrario, di localizzare oltre il 98% del materiale in una fascia di 1 metro di ampiezza, con una buona uniformità di distribuzione trasversale, indipendentemente dalla dose di distribuzione impostata. Anche l'uniformità di distribuzione longitudinale è caratterizzata da valori del coefficiente di variazione accettabili e inferiori al 15%.

Il sistema di controllo e regolazione della dose distribuita installato sulla macchina è risultato in grado di applicare le unità di azoto desiderate, con errori compresi tra il -7,1% e il +2,8%. Di conseguenza, il sistema di controllo della dose distribuita realizzato risulta ampiamente in grado di soddisfare tali requisiti operativi.

Considerando una distanza tra il frutteto e il centro aziendale di 1450 m, un contenuto in N del separato solido di 5 kg t^{-1} e una velocità operativa di 3.5 km/h , è stata valutata l'incidenza delle diverse fasi di lavoro dell'operazione di spandimento. Dai risultati emerge come i trasferimenti dal centro aziendale agli appezzamenti (e ritorno) possano arrivare ad incidere per quasi il 50% sui tempi complessivi di distribuzione del separato solido in frutteto, quando si operi alla dose più alta (50 kg N ha^{-1}). Al contrario, ad una dose di 25 kg N ha^{-1} , sono i tempi di spandimento ad incidere maggiormente, costituendo oltre il 41% di quelli complessivi.

Sulla base dei risultati ottenuti, è possibile affermare che lo spandi-separato solido è in grado di distribuire il prodotto in modo uniforme sia in senso longitudinale, sia in quello trasversale rispetto alla direzione di avanzamento, e di localizzarlo nella fascia di terreno in cui è presente la porzione di apparato radicale maggiormente efficiente da un punto di vista dell'assorbimento dei nutrienti. Il sistema di controllo e regolazione della dose permette di applicare le dosi di nutrienti desiderate, indipendentemente dalla velocità di avanzamento della macchina. Tuttavia, il maggior limite operativo risulta costituito dalla ridotta capacità di lavoro (circa $0,6 \div 1,2 \text{ ha h}^{-1}$ a seconda della dose di distribuzione), che è una conseguenza diretta delle dimensioni contenute del cassone e dei frequenti trasferimenti dal centro aziendale al frutteto. Pertanto, risulta opportuno mettere a punto degli idonei cantieri di lavoro che consentano di separare la fase di trasporto (da effettuarsi con mezzi di elevata capacità) da quella di distribuzione. In quest'ottica, la delocalizzazione del separato solido in frutteto si ritiene debba essere idoneamente supportata da uno specifico servizio affidato a contoterzisti. In questa ipotesi, il sistema di georeferenziazione delle operazioni di spandimento potrebbe fungere da valido strumento di controllo delle operazioni eseguite, consentendone un'efficiente tracciabilità.

WPC.3 - Monitoraggio di un sistema ibrido di fitodepurazione

Partner coinvolti: UNIPD-DAFNAE-PV, UNIMI-DISAA-ECO

Obiettivi dell'attività

L'attività si prefigge di valutare le prestazioni di un impianto di fitodepurazione a scala reale nell'abbattimento delle forme azotate, prendendo in esame gli andamenti temporali e la produzione della biomassa vegetale.

Attività svolta e risultati conseguiti

L'impianto di fitodepurazione ibrido messo a punto nel WPA.3 è stato monitorato per valutarne le prestazioni tecniche ed economiche.

L'impianto di fitodepurazione occupa complessivamente un'area di circa 130 m^2 e tratta fino a 2 m^3 di frazione fluida del liquame prodotto giornalmente e precedentemente sottoposta a pre trattamento di nitrificazione-denitrificazione. Il sistema, che funziona quindi come finissaggio, è un impianto ibrido costituito da tre vasche a flusso sub superficiale verticale (FV) in parallelo seguite da una vasca a flusso sub superficiale orizzontale (FO). Due di esse sono riempite con ghiaino lavato ($\varnothing 10\text{-}20 \text{ mm}$) vegetate l'una con *Canna indica* L. (FV1) (canna indica), l'altra (FV2) con *Phragmites australis* (cav.) Trin. (canna palustre); la terza (FV3) è riempita con ghiaino lavato ($\varnothing 10\text{-}20 \text{ mm}$) per 0.10 m seguito da sabbia di fiume ($\varnothing 3\text{-}5 \text{ mm}$) e zeolite, ed è vegetata con *Ph. australis*. La vasca a flusso sub superficiale orizzontale (FO) è stata riempita con ghiaino lavato ($\varnothing 10\text{-}20 \text{ mm}$) ed è vegetata prevalentemente con *Ph. australis* e alcune piante di *Carex pseudocyperus* L. (carice), *Juncus effusus* L. (giunco) e *Iris pseudacorus* L. (giaggiolo acquatico), collocate ai bordi della vasca per conferire un aspetto visivo gradevole nel periodo di fioritura. Nel corso del progetto il sistema è stato alimentato sia con refluo di allevamento pre trattato che con una soluzione di nitrato ammonico avente concentrazione di 250 mg L^{-1} di N totale; la soluzione è stata utilizzata per mantenere operativo l'impianto di fitodepurazione in un periodo in cui il sistema di pre trattamento dei reflui non era funzionante. In entrambi i casi il carico era giornaliero, con una portata di 1.7 m^3 . Alla fine di ciascuna stagione vegetativa la parte aerea delle piante è stata raccolta, pesata e campionata per determinare la concentrazione di sostanza secca e di azoto al fine di calcolare le asportazioni dell'elemento.

Nel periodo gestito con carico di refluo pre trattato, la concentrazione di N totale in ingresso è risultata mutevole nel tempo, con valori compresi fra 420 e 990 mg L^{-1} . Si tratta di valori di concentrazione piuttosto elevati per il trattamento con la fitodepurazione, dovuti alle difficoltà di funzionamento della nitro-denitro a monte dell'impianto. Nonostante questo la vegetazione non ha manifestato sintomi di sofferenza e l'impianto di fitodepurazione ha fornito abbattimenti del 40% e 43%, rispettivamente per l'azoto totale e ammoniacale. In media le vasche FV hanno abbassato la concentrazione di N totale di 200

mg L⁻¹, senza mostrare differenze significative in relazione al tipo di vegetazione o alla presenza di zeolite nel substrato. Nel periodo in cui si è apportata soluzione di nitrato ammonico la concentrazione in ingresso era, ovviamente, regolare e costante. L'abbattimento complessivo di N totale è risultato del 54%, quello di N ammoniacale del 60%.

Il funzionamento delle vasche FV è stato diverso rispetto a quello della FO ed è stato influenzato dall'andamento della temperatura del refluo.

Nel complesso l'intero impianto ha rimosso 27 g di N al giorno per una rimozione specifica di 1.78 g m⁻². Proiettando il valore su base ettaro-anno si ottiene una rimozione di 6497 Kg ha⁻¹: un impianto di fitodepurazione dalla superficie di un ettaro potrebbe quindi ricevere e trattare l'equivalente di N di 37 ettari di terreno coltivato soggetto al limite imposto dalla Direttiva Nitrati.

La produzione di biomassa aerea è stata di 1.8 e 0.6 g m⁻² rispettivamente per *Canna indica* e *Phragmites australis* cui hanno corrisposto asportazioni di 40 e 10 g m⁻².

L'impianto di fitodepurazione operativo a scala reale ha evidenziato capacità di abbattere l'azoto nel refluo in ingresso, mostrandosi soluzione praticabile per contenere gli eccessi di disponibilità di questo elemento. Le piante hanno saputo adattarsi a concentrazioni mutevoli nel corso del periodo di monitoraggio che hanno raggiunto valori di punta superiori a 350 mg L⁻¹ di azoto ammoniacale, ben oltre la soglia di 150-200 mg L⁻¹ comunemente ritenuta critica per i processi di fitodepurazione. Grazie alla stabilità della vegetazione l'impianto è stato in grado di mantenere la sua funzionalità nel corso degli anni. Non bisogna dimenticare che l'impianto ha richiesto interventi di manutenzione di scarso impegno. Nelle normali condizioni operative, infatti, le operazioni (eseguibili da personale aziendale) si limitano alla gestione della vegetazione e alla periodica ispezione di pozzetti e parti idrauliche.

WPC.4 - Valutazione di un impianto cooperativo per la produzione di energia e la rimozione dell'azoto.

Partner coinvolti: UNIMI-DISAA-IA, UNIMI-DISAA-ECO

Obiettivi dell'attività

Lo scopo di questa attività è stato quello di valutare le prestazioni, i costi e i benefici di un impianto cooperativo che produce energia da biogas e tratta il digestato in modo da ridurre il contenuto di azoto dell'effluente e renderne la gestione compatibile con le richieste normative.

Attività svolta e risultati conseguiti

L'impianto raccoglie gli effluenti zootecnici prodotti da dieci aziende. I reflui, comprendenti liquami suini, liquami bovini, letame e pollina, sono convogliati all'impianto mediante pompaggio, per l'azienda più vicina all'impianto, o trasportati mediante un carro spandiliquame.

Il liquame viene dapprima trattato in una sezione di digestione anaerobica per il recupero di biogas da effluenti zootecnici (liquami suini e bovini, letame, pollina) e biomasse (silomais, silosorgo e triticale). La sezione di digestione anaerobica è composta da due fermentatori, aventi un volume di 2280m³ ciascuno, e un post-fermentatore (3185 m³).

L'effluente digerito viene convogliato in un impianto di rimozione biologica dell'azoto tramite nitrificazione-denitrificazione sequenziale (SBR), composto da due reattori di 660 m³ ciascuno. In questi reattori vengono alternate fasi di anaerobiosi a fasi di aerazione, al fine di trasformare l'azoto presente nell'effluente in azoto molecolare, che si libera in atmosfera.

Tra i trattamenti di digestione anaerobica e rimozione biologica dell'azoto è inserita una fase di separazione solido-liquido mediante due separatori a vite elicoidale, successivamente sostituiti con una centrifuga, al fine di rimuovere le particelle più grossolane, rendendo le caratteristiche chimico-fisiche dell'effluente adeguate al successivo trattamento SBR.

L'effluente in uscita dal trattamento di rimozione biologica dell'azoto viene stoccato temporaneamente presso l'impianto e, successivamente, riconsegnato alle aziende conferenti mediante carro spandiliquame o sistema di pompaggio. Le caratteristiche del prodotto finale, infatti, consentono di utilizzarlo ai fini fertilizzanti con un apporto di azoto e fosforo ridotti e rapportati ai reali fabbisogni delle colture praticate.

I risultati ottenuti dal monitoraggio (Figura 4) hanno permesso di stabilire le efficienze dell'impianto nelle diverse fasi di trattamento.

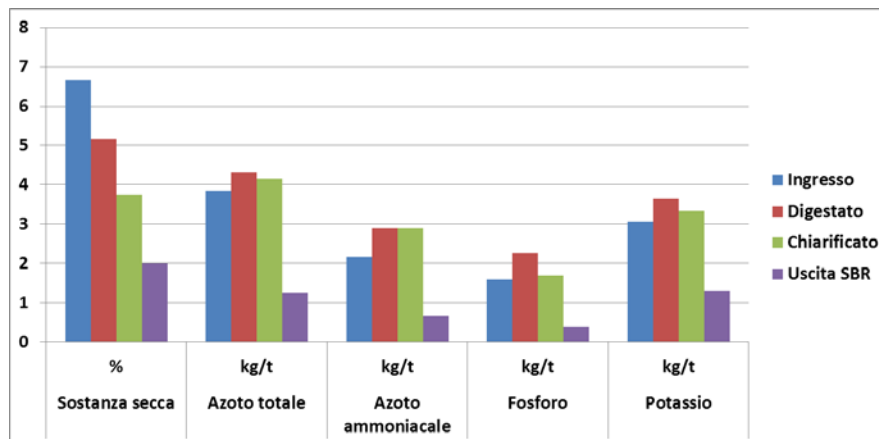


Figura 4. Efficienze di rimozione ottenute nelle diverse fasi di trattamento nell'impianto monitorato

I dati raccolti sul bilancio di massa evidenziano che l'impianto di trattamento riceve circa 220 t di prodotto ogni giorno e restituisce alle aziende circa lo stesso volume. A questo proposito bisogna considerare che la riduzione di volume durante il processo è bilanciata dall'utilizzo di biomasse (circa 10 t al giorno) e dalle acque piovane raccolte dalla vasche di trattamento e stoccaggio dell'impianto.

I risultati ottenuti confermano l'interesse nell'introdurre sistemi cooperativi di gestione degli effluenti per la produzione di energia e rimozione dell'azoto in aree ad alto carico zootecnico.

Variazioni rispetto al piano sperimentale

Le attività previste si sono svolte secondo il piano previsto. Si è verificata l'opportunità di riorientare alcune attività come riportato nelle relazioni di ridefinizione. Tali modifiche non hanno comportato una variazione degli obiettivi del progetto e dei risultati finali previsti.

Gestione del progetto

La gestione del progetto è stata impostata in modo da fornire la massima trasparenza delle comunicazioni e disponibilità dei documenti prodotti per tutti i partner. A questo scopo è stata utilizzata una piattaforma web per la gestione dei progetti (<http://basecamp.com/>) che ha consentito di mantenere in un unico contenitore accessibile a tutti i partner la documentazione, la messaggistica, i verbali delle riunioni e gli stati di avanzamento.

Come previsto, lo stato di avanzamento del progetto è stato monitorato ogni tre mesi mediante riunioni, alcune delle quali svolte con modalità telematiche, in modo da condividere le attività ed evidenziare gli aspetti problematici e di concordare come affrontarli.

Gli incontri plenari, i cui verbale sono stati trasmessi al referente di Progetto Ager, sono stati:

- Meeting inizio progetto - 14 settembre 2011, Milano
- Meeting progetto 3 mesi - 15 dicembre 2011 - videoconferenza
- Meeting progetto 6 mesi - 16 marzo 2012, Videoconferenza
- Meeting progetto 9 mesi - 11 giugno 2012, Legnaro (PD)
- Meeting progetto 12 mesi - 11-12 ottobre 2012, Milano
- Meeting progetto 16 mesi - 27-28 febbraio 2013, Grugliacco (TO)
- Meeting progetto 27 mesi - 18-19 dicembre 2013, Udine
- Meeting progetto finale - 24 marzo 2014, Milano

Collaborazioni all'interno del partenariato e formazione di giovani ricercatori

Nell'ambito delle attività del progetto sono state attivate numerose collaborazioni e diversi giovani sono stati formati collaborando alle ricerche in corso.

Inoltre, è stata attivata la collaborazione tra i diversi partner del progetto e rafforzate le sinergie tra le diverse attività di ricerca.

Le principali attività di formazione e condivisione delle attività di ricerca sono seguite sintetizzate:

- visita dei laboratori di UNITO-DEIAFA da parte di un gruppo di UNIMI-DISAA-IA in cui sono state illustrate le principali tecniche di misurazione delle emissioni ammoniacali e di gas effetto serra dagli stoccaggi agricoli. In questa attività di formazione sono stati coinvolti i dottorandi Alberto Finzi, Giorgia Cocolo e Francesca Perazzolo.
- coinvolgimento di Giorgia Cocolo e Francesca Perazzolo di UNIMI-DISAA-IA nelle prove di separazione solido-liquido svolte a Biella (CN) a marzo 2012 svolte da UNITO-DEIAFA. Le prove hanno riguardato lo studio dell'efficienza di separazione di un impianto di trattamento composto da vite elicoidale seguito da centrifuga verticale, utilizzando liquame suino e digestato suino.
- collaborazione di UNIMI-DISAA-IA e UNITO per la realizzazione di prove riguardanti la separazione solido-liquido mediante flocculanti organici (chitosano).
- Giorgia Cocolo, dottoranda di ricerca di UNIMI-DISAA-IA, ha trascorso 4 mesi di formazione presso l'Università di Aarhus (DK) approfondendo le metodiche di valutazione dell'efficienza di separazione sotto la supervisione di Maibritt Hjorth. L'attività è propedeutica alle attività di Giorgia Cocolo nel secondo anno del progetto.
- per lo sviluppo del software relativo al modello di ottimizzazione è stato coinvolto un gruppo di informatici dell'Università degli Studi di Milano, formato dal prof. Marco Trubian, dal dott. Roberto Cordone, dal dott. Fabio Colombo e dal dott. Marco Gasparri. Tale collaborazione è proseguita fino alla conclusione del progetto.
- nell'ambito della collaborazione con il Dipartimento di Informatica per lo sviluppo del modello di ottimizzazione multi obiettivo, le tematiche del WPB sono state utilizzate per lo sviluppo di case study nel corso "Laboratorio di modellistica matematica" del corso di laurea magistrale in "Matematica per le applicazioni", tenuto dal prof. Marco Trubian. Il caso di studio analizzato nel laboratorio informatico ha coinvolto 5 studenti ed ha affrontato le tematiche relative alla verifica della possibile integrazione in modelli di ottimizzazione basati su programmazione lineare di differenti problemi di decisione quali il dimensionamento di impianti smaltimento reflui e la loro localizzazione sul territorio.
- collaborazione di UNIPD-DAFNAE-PV per il Piano Formativo "AVI/26/11 - Sviluppo di sistemi innovativi per il trattamento di digestato, reflui zootecnici e rifiuti ceramici" finanziato dalla linea B dell'Avviso 3/2011 Fondimpresa - Formazione a sostegno dell'innovazione tecnologica di prodotto e/o di processo nelle PMI aderenti al settore manifatturiero. Ente titolare Sinergie Soc. Cons. a r. l. Imprese beneficiarie Pirani Srl e New Plant Srl
- collaborazione di UNIPD-DAFNAE-PV con Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA) dell'Università di Catania, per la messa a punto di sistemi di monitoraggio delle emissioni di gas serra in impianti di fitodepurazione, Dr. Antonio Barbera
- collaborazione di UNIPD-DAFNAE-PV con Dipartimento di Ingegneria agraria, Università di Catania, per la valutazione delle prestazioni di impianti di fitodepurazione, Prof. Giuseppe Cirelli
- collaborazione di UNIPD-DAFNAE-PV con Unità operativa DAFNAE ex BA per la determinazione di marker genetici indicativi di attività di trasformazione del ciclo dell'azoto, Prof. Squartini, Dr. Concheri.
- collaborazione con P.A.N. s.r.l. Spinoff dell'Università di Padova, per comparazioni dell'evoluzione temporale delle prestazioni dell'impianto di fitodepurazione presso l'Allevamento Master e analisi della bibliografia scientifica sulla fitodepurazione di reflui suini
- le tematiche e le metodologie sviluppate nell'ambito del WPB, UNIUD-DISA sono state utilizzate nei corsi di Geomatica e di Ingegneria agraria nei corsi triennali di Scienze agrarie e scienze per l'ambiente e la natura (docente: prof. Pierluigi Bonfanti) e come caso di studio nel corso di "Sistemi di Elaborazione delle Informazioni" della Laurea Magistrale Interateneo (Università di Udine e di Trieste) in Scienze e Tecnologie dell'Ambiente e del Territorio (6 CFU) dalla dott.ssa Donatella Gubiani, docente della materia e collaboratrice del progetto, nel corso degli AA. 2012-13 e 2013-14.
- il partner UNIUD-DISA ha altresì collaborato con il partner UNIMI-DISAA-AG attraverso la fornitura di reflui marcati per la conduzione degli esperimenti in capo a quest'ultimo.
- seminari, svolti dal dottorando Antonio Landa, in cui venivano esposti obiettivi e stato di avanzamento dei lavori del progetto SEES-PIG, nell'ambito del dottorato di ricerca in Scienze Agro-Ambientali, AA. 2012-2013, 2013-2014.
- nel corso del progetto è stata avanzata e discussa l'ipotesi di una collaborazione tra UNIUD-DISA e UNITO-DEIAFA sulla tematica della modellizzazione di diffusione ambientale degli odori derivanti da allevamenti zootecnici.

- Il partner UNIMI-DISAA-CA ha utilizzato per le prove di compostaggio anche materiali provenienti dalle prove di separazione svolte da UNITO-DEIAFA e dall'impianto monitorato da UNIMI-DISAA-IA
- Il partner UNIMI-DISAA-CA ha utilizzato per le prove di trattamento degli effluenti con alghe anche materiale proveniente dall'impianto di filtraggio sperimentato da UNIPD-DAFNAE-PV.
- Le attività relative al WPB sono state svolte in stretta collaborazione con i partner UNIMI-DISAA-IA, UNIMI-DISAA-ECO e UNIUD-DISA nello sviluppo del sistema di supporto alle decisioni, con frequenti contatti e incontri tra i diversi ricercatori e con riunioni dell'intero gruppo tenutisi in data 28/10/11 (Mestre), 03/04/2012 (videoconferenza), 20/4/12 (Mestre), 26/6/12 (videoconferenza), 17-18/7/12 (Milano) 19/9/12 (videoconferenza) 27/3/2013 (videoconferenza) e 17/7/2013 (videoconferenza). Si segnalano continui scambi di informazioni via skype tra i ricercatori coinvolti nello sviluppo del sistema di supporto alle decisioni.

Il progetto SEES-PIG ha coinvolto, a diverso titolo, 28 unità di personale non strutturato che è stato formato sulle tematiche oggetto delle ricerche, come risulta dal seguente elenco.

Partner	Nominativo	contratto
UNIMI-DISAA-IA	Francesca Perazzolo	dottoranda
	Alberto Finzi	dottorando
	Filippo Volontè	assegnista
	Davide Grimaldi	borsista
	Giorgia Cocolo	borsista (dottoranda)
	Gabriele Mattachini	collaboratore
	Elisabetta Riva	tecnico TD
UNIMI-DISAA-ECO	Stefano Uggeri	assegnista
UNIMI-DISAA-CA	Silvia Giovanna Salati	Assegnista
	Laura Terruzzi	Assegnista
	Claudio Ledda	Dottorando
UNIMI-DISAA-AG	Daniele Cavalli	Assegnista
UNIUD-DISA	Antonio Landa	Dottorando
	Valeria Muzzolini	collaboratrice
	Sara Vezzano	borsista
	Donatella Gubiani	collaboratrice
	Francesco Boscutti	collaboratore
UNITO-DEIAFA	Elio Dinuccio	assegnista
	Dalibor Cuk	borsista
	Simona Menardo	dottoranda
	Luca Rollè	tecnico TD
	Olga Popovic	Assegnista
UNIPD-DAFNE-DAPPV	Marco Politeo	dottorando
	Giulia Florio	dottoranda
	Jessica Tamiazzo	dottoranda
	Carmelo Mucieri	dottorando
UNIPD-DAFNE-BIO	Ottavia Romoli	assegnista
	Riccardo Rosselli	borsista

Il progetto è stato utilizzato anche per la formazione di numerosi studenti universitari mediante lo svolgimento della loro attività di tesi. Si riporta un elenco degli studenti che hanno seguito le attività di ricerca attivate nell'ambito del progetto SEES-PIG.

- Alessandro Nisoli, Laurea Magistrale in Scienze Agrarie (UNIMI)
- Andrea Vago, Laurea Magistrale in Scienze Agrarie (UNIMI)
- Catia Lapo, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie (UNIPD)
- Cristian Gambini, Laurea Magistrale in Scienze Agrarie (UNIMI)
- Francesco Occhi, Laurea triennale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente (UNIPD).
- Giacomo Barutta, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie (UNIPD).
- Greta Bottin, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio (UNIPD).

- Ilaria Piccolo, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio (UNIPD)
- Luca Bortone, Laurea Magistrale in Scienze Agrarie (UNIMI)
- Marco Gasparri, Laurea Triennale in Informatica (UNIMI)
- Martina Carraro, Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente (UNIPD)
- Matteo Giraldo, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio (UNIPD)
- Nicolò Avogaro, Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali (UNIPD)
- Silvia Ceriali, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio (UNIPD).
- Stefano Di Felice, Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio (UNIPD)

Giovani in formazione *post lauream* e altri ricercatori coinvolti nel progetto

- Dr.ssa Anna Mietto (DAFNAE - UNIPD)
- Dr. Simone Breschiagliaro (DAFNAE - UNIPD)
- Dott. PhD Piergiorgio Stevanato (DAFNAE - UNIPD)
- Dott. Fabio Poletto (ricercatore, Eurotec WTT - RWL Water, Padova).
- Dott. Matteo Cipani (ricercatore, Eurotec WTT - RWL Water, Padova).
- Dott. Alberto Meroni (ricercatore, Eurotec WTT - RWL Water, Padova).

Il coordinatore del progetto
Prof. Giorgio Provo

