

## **Filtrazione a Membrana di Reflui Zootecnici**

### **Un Confronto dei Metodi di Trattamento Convenzionali e VSEP, un Sistema di Filtrazione a Membrana Vibrante.**

Greg Johnson<sup>a</sup>, Dr. Brad Culkin Ph.D.<sup>a</sup>, Larry Stowell<sup>a</sup>

<sup>a</sup>New Logic Research, Incorporated  
1295 67<sup>th</sup> Street, Emeryville, CA 94608

#### **Introduzione**

Il vecchio metodo del lagunaggio, realizzato e gestito correttamente, è un metodo affidabile di stoccaggio e di trattamento dei reflui zootecnici. Lo stoccaggio in stagni di ossidazione, detti anche lagune, ha dimostrato di essere un metodo efficace nel corso del tempo, nelle aziende agricole locali. Tuttavia, la recente tendenza nell'allevamento industriale è orientata verso zone limitate che ospitano migliaia di animali. Il problema è che la biosfera locale utilizzata per la dispersione dei rifiuti è fissata in dimensioni e con una capacità altrettanto limitata di assorbire letame come fertilizzante. Sovraccarico di nutrienti, rilascio patogeno, eccessive emissioni di odori ed eutrofizzazione dell'affluente sono alcune potenziali minacce durante la gestione di reflui zootecnici e soprattutto in presenza di regolamentazioni governative.

Le preoccupazioni sugli obblighi e sulle sempre più severe regolamentazioni stanno guidando i cambiamenti nel settore. Se si considera per esempio che ci sono 4000 lagune solo in North Carolina, la probabilità statistica che esse siano realizzate e gestite correttamente è molto bassa.

Le nuove tecnologie di gestione dei reflui zootecnici sono attualmente in fase di sviluppo e poche ancora in commercializzazione. Decine di nuove tecnologie sono in lista per l'accettabilità, ma solo poche saranno approvate ed accetate. Per molte di queste tecnologie, vi è una mancanza di informazione e dati per una completa analisi della loro efficacia. Il processo di valutazione e ricerca in corso vede gruppi industriali, università e allevatori di tutto il mondo lavorare insieme per sviluppare nuovi metodi di trattamento delle deiezioni animali.

## Trattamento Osmosi Inversa (RO) VSEP

New Logic Research installa sistemi di filtrazione a membrana dal 1986, ma solo di recente ha lanciato il suo sistema di trattamento rifiuti da agricoltura e allevamento. Il sistema VSEP è in grado di filtrare qualsiasi tipo di acqua reflua includendo il percolato di discarica e i fanghi municipali. Centinaia di sistemi VSEP sono stati installati in tutto il mondo, rappresentando una tecnologia collaudata nel mercato industriale.

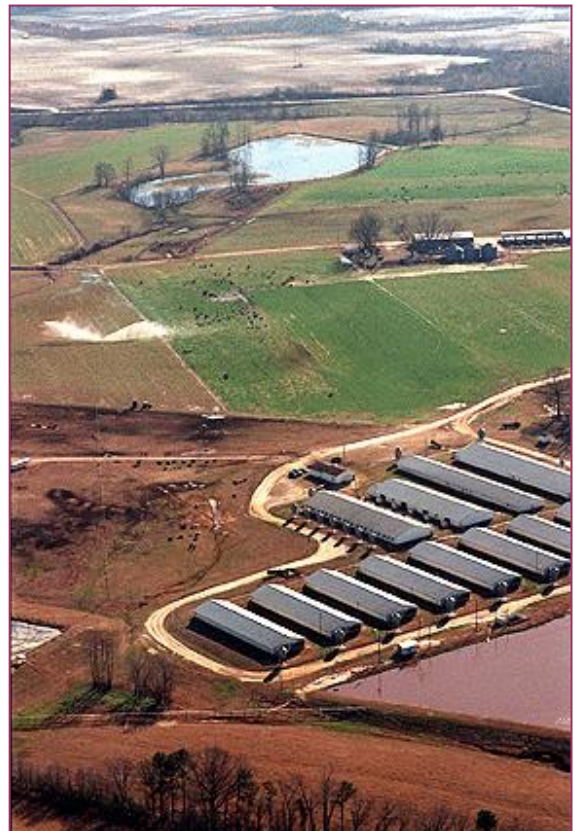
Confermati i vantaggi VSEP nel trattamento dei reflui zootecnici, New Logic ha installato il suo primo sistema di acque reflue da allevamento suino in Corea nel maggio del 2000. Da allora, ci sono state altre tre installazioni in Corea e tre in Giappone ed attualmente in corso installazioni in Nord America ed Europa.

VSEP, al contrario di una tecnologia sperimentale con problemi nascosti o sconosciuti, ha un track record di performance che dimostrano un funzionamento economico ed affidabile in vari settori di applicazione. Inoltre, VSEP rappresenta una soluzione completa per il trattamento del letame e allo stesso tempo un'opzione utilizzata in combinazione con altre tecnologie, come questo articolo discuterà.

## Metodi Standard di Lagunaggio

La maggior parte degli allevamenti suini o bovini adoperano stagni anaerobici per il trattamento degli effluenti zootecnici. Questo tipo di lagune possono essere semplici ed efficaci e se utilizzate propriamente possono contenere i problemi di odore. Le lagune anaerobiche, (in cui lo scambio di ossigeno con l'atmosfera è trascurabile), non sono in grado di processare correttamente tassi di materiale troppo alti o quando elevati carichi organici sono aggiunti infrequentemente. Quando in uno stagno anaerobico viene rotto l'equilibrio a causa di sovraccarico o carico irregolare, sorge il problema degli odori.

Lagune facoltative sono spesso usate come bacini di trattamento secondario in combinazione con stagni anaerobici. Un stagno facoltativo ha una zona aerobica, (ricca di ossigeno), strato sopra lo strato anaerobico. Se una laguna "facoltativa" non presenta area superficiale sufficiente o non è sufficientemente ossigenata si comporterà come uno stagno anaerobico. Questo problema può essere risolto posizionando aeratori all'interno degli stagni che permettono la creazione di lagune stratificate. Lagune stratificate sono stagni anaerobici caratterizzati da areatori meccanici installati per aerare la superficie della laguna.



L'aerazione è una collaudata tecnologia di controllo degli odori, tuttavia, ha elevati costi di gestione.

Lagune aerate sono talvolta utilizzate in combinazione con lagune anaerobiche e/o facoltative per fornire un ulteriore trattamento agli effluenti. Lagune naturalmente aerate sono profonde meno di 1,5 m per facilitare la penetrazione di luce e garantire la presenza di ossigeno. La superficie di questi stagni deve essere molto ampia e per tale motivo sono poco pratici nel caso di effluenti zootecnici da allevamento intensivo. Areatori meccanici possono essere utilizzati per promuovere condizioni aerobiche; tuttavia, questa operazione risulta molto costosa.

### **Gli Attuali Metodi utilizzati per il Trattamento di Reflui Zootecnici**

Lagune anaerobiche, aerobiche o facoltative rappresentano il processo di trattamento principale dei reflui zootecnici. Tuttavia, non esiste una sola soluzione completa. Alcuni dei metodi attualmente impiegati comprendono:

#### Diretta applicazione in terra:

I reflui vengono scaricati in un pozzo di raccolta. Il fango di letame è pompato in una cisterna e direttamente versato sul terreno agricolo senza trattamento.

#### Irrigazione locale con compostaggio:

I reflui sono scaricati in un pozzo di raccolta attraverso uno setaccio meccanico. I solidi raccolti vengono compostati con un agente di riempimento (segatura, paglia) e venduti come fertilizzante. La componente liquida senza trattamento irriga giornalmente i terreni agricoli.

#### Laguna anaerobica:

I reflui sono scaricati in uno stagno anaerobico convenzionale. Questo stagno si riversa in uno stagno di contenimento secondario da cui l'effluente è versato sui terreni agricoli. L'irrigazione può essere calcolata per incontrare le condizioni meteorologiche e di coltura. Una volta ogni dieci anni, i fanghi sono rimossi dallo stagno anaerobico, compostati e venduti come fertilizzante.

#### Laguna anaerobica con riciclo di acqua:

L'effluente trattato è riciclato dallo stagno secondario e rinviato all'edificio agricolo come acqua di lavaggio. Questo riduce la necessità di acqua pulita, esigenze di irrigazione, permette frequenti lavaggi e capannoni così più puliti.

#### Laguna meccanicamente aerata:

I rifiuti vengono scaricati dagli edifici agricoli in un bacino aerato meccanicamente. I solidi non sono rimossi. Dopo il trattamento, l'effluente fluisce in una laguna di stoccaggio prima dell'irrigazione. L'effluente trattato viene riciclato come acqua di lavaggio. Il fango accumulato viene rimosso, compostato e venduto come fertilizzante. Bacini aerati artificialmente sono tipici di sistemi di trattamento di reflui da trasformazione alimentare e acque di scarico. Questi dipendono da una buona gestione e manutenzione, in quanto la rottura degli aereatori sviluppa rapidamente numerosi problemi.

### Digestore anaerobico:

Reflui zootecnici sono digeriti anaerobicamente in un sistema controllato da serbatoi digestivi. Il metano prodotto può essere utilizzato per generare energia elettrica ed essere venduto alla rete locale. Questo sistema è costoso e complesso, ma elimina odore e ha il potenziale di generare reddito dalla vendita di energia elettrica e fertilizzante.

### **Caratteristiche dei Reflui Zootecnici**

Per reflui zootecnici si intendono le deiezioni degli animali da allevamento (feci e urina). Esso è costituito da acqua, carboidrati complessi e nutrienti. I carboidrati complessi sono suddivisi in composti più semplici come anidride carbonica e acqua durante il trattamento degli effluenti. L'effluente contiene anche grandi quantità di azoto, fosforo e potassio, oltre a nutrienti minori, oligoelementi e sali. Una gamma di agenti patogeni è inoltre contenuta nel letame suino.

I carboidrati complessi sono principalmente composti da carbonio (C), idrogeno (H) ed ossigeno (O) e contengono amidi, zuccheri, proteine e grassi. Nel caso di trattamento degli effluenti, i carboidrati complessi possono essere variamente misurati ed espressi in termini di Domanda Biologica di Ossigeno (BOD - dall'inglese Biological Oxygen Demand), Domanda Chimica di Ossigeno (COD - Chemical Oxygen Demand), Carbonio Organico Totale (TOC - Total Organic Carbon) o Solidi Volatili (VS - Volatile Solids). I carboidrati complessi contengono energia che può essere rilasciata quando sono suddivisi in composti più semplici, quali  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .



Le sostanze nutritive nel letame suino sono quelle che principalmente si trovano nei fertilizzanti in commercio tra cui azoto, fosforo e potassio. Sono anche presenti altri nutrienti secondari e oligoelementi. L'azoto è di solito sotto forma di ammonio o di azoto organico ( $\text{NH}_4$ ). L'ammonio è un catione idrosolubile. Durante l'attività biologica, il pH può aumentare, causando ammonio solubile per essere convertito in ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) che è un gas e può contribuire ai problemi dell'odore. I sali presenti nel letame sono principalmente sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloruro (Cl), solfato ( $\text{SO}_4$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3$ ). Sebbene alcuni sali sono contenuti nel mangime, la maggior parte del sale entra nel sistema mediante le furniture di acqua.

Il letame di maiale contiene una vasta gamma di batteri, virus e altri agenti patogeni. Appena il letame è prodotto, i microrganismi avviano il processo di rottura che si presenta in modo incontrollato, ma che può continuare in maniera precisa e ottimale se un sofisticato sistema di trattamento degli effluenti è utilizzato. Semplici lagune anaerobiche consentono la rimozione del 60%-90% di BOD. Sistemi di trattamento complessi come unità fanghi attivi e sequenze



reattori batch possono in modo più completo rompere i BOD. Se la materia organica è ripartita in condizioni anaerobiche, i prodotti finali sono principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) e anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), ma altri gas male odoranti sono anche prodotti. La maggior parte dei sistemi di trattamento prevedono la fuoriuscita dei gas in atmosfera. Tuttavia, il metano è una fonte di energia potenziale ed è un gas serra. I sistemi di trattamento possono essere progettati per raccogliere il metano prodotto dalla digestione anaerobica. Se la materia organica è ripartita

aerobicamente, è prodotto più  $\text{CO}_2$  e meno  $\text{CH}_4$ .

### **Creazione di Odore**

Nella maggior parte dei casi, gli odori provenienti da operazioni agricole sono creati da incompleta digestione anaerobica della sostanza organica nel letame. Digestione anaerobica avviene in assenza di ossigeno libero e utilizza microrganismi che prosperano in queste condizioni. Si tratta di un processo a due stadi. Nella prima fase, la materia organica è convertita in Acidi Grassi Volatili (VFA - Volatile Fatty Acids), mentre nella seconda fase i batteri convertono questi acidi in metano ( $\text{CH}_4$ ) e anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ). Questi batteri possono sopravvivere solo in ambienti specifici, per esempio con bassi valori di pH. Gli odori sono emanati dal rilascio di VFA e di altri composti nelle medesime circostanze.

### **Semplici Tecniche di Rimozione Solidi**

Oltre a grandi quantità di materiale organico disciolto e nutrienti, il letame contiene anche materiali in sospensione facilmente rimovibili utilizzando tecniche di screening. Setacci o presse a vite sono quasi sempre usati come primo step in qualsiasi processo di trattamento del letame. I solidi raccolti possono essere compostati e venduti come fertilizzante. Schermi vibranti o fissi sono un metodo semplice e a basso costo per la rimozione di solidi da effluenti zootecnici. Schermi meccanici rimuovono circa il 10-35% dei solidi totali. Presse a vite possono in genere rimuovere livelli più elevati di solidi sospesi rispetto ai setacci, ma sono meno efficienti se il flusso effluente ha un contenuto di TS inconsistente o basso. Le presse a nastro probabilmente hanno prestazioni simili alle presse a vite. Le presse sono più costose dei setacci, ma sono relativamente economiche della maggior parte delle altre tecnologie di separazione dei solidi.



Typical Degritting Device

### **Alternative Tecnologie Avanzate**

Ci sono altri sistemi per il trattamento di letame suino, ma pochissimi di questi sono una soluzione completa al problema. La maggior parte hanno ancora bisogno di grandi lagune o simulare piccoli impianti municipali di depurazione delle acque reflue. Uno dei più grandi allevamenti di maiali negli Stati Uniti produce rifiuti per l'intera zona di Los Angeles. Tutti questi metodi contengono ancora il rischio di inquinamento di nitrati e agenti patogeni nell'approvvigionamento idrico.



**Typical Outdoor Aerobic Digester (Japan)**

Ci sono diverse tecnologie, simili ai normali impianti municipali di trattamento delle acque reflue. Tali impianti avranno sempre problemi di immagine e presentano un notevole ingombro che renderá la loro approvazione molto difficile. Un separatore a flusso tangenziale (TFS) è un dispositivo sofisticato che utilizza calce, polimero e flusso tangenziale per rimuovere i solidi. Questo sistema permette di rimuovere circa il 34% di TS e almeno il 90% di fosforo. I solidi separati avranno un contenuto di TS che varia da 6-40%, risulta invece una soluzione efficace per il fosforo, ma non per la rimozione di TOC, azoto e COD. Si aggiungono anche cloruri e ferro al flusso di rifiuti. I costi di capitale, operativi e di manutenzione di questa tecnologia sono molto alti.

La convenzionale digestione aerobica è un processo in cui i batteri che utilizzano ossigeno consumeranno biologicamente materia organica e la convertiranno in biossido di carbonio, acqua e ammoniaca. L'ulteriore elaborazione converte l'ammoniaca in nitriti e in fine in nitrati. Tra i diversi tipi di digestori aerobici troviamo Reattori a Carico Sequenziale (SBR- Sequencing Batch Reactors), dove il processo avviene in un contenitore in una sequenza di step. Alcune di questi step sono: riempimento, aerazione, tempo di reazione, assestamento. La digestione aerobica convenzionale avrebbe gli stessi passaggi, ma si verifica in vasche diverse, dove ogni fase ha luogo.



**Sequencing Batch Reactor (SBR)**

La digestione anaerobica è uno dei processi più antichi utilizzato per la stabilizzazione dei fanghi. In un digestore anaerobico, carboidrati complessi vengono convertiti in metano e biossido di carbonio. Solo il processo anaerobico può essere utilizzato per il recupero del metano e la generazione di elettricità. Il metano è bruciato per alimentare un generatore. Tale processo avviene in un sistema chiuso e richiede un tempo di ritenzione di 30-60 giorni. Il fango residuo conterrà molte delle sostanze nutritive per fertilizzare e sarà privo di organismi patogeni.

### **Limitazioni di Queste Tecnologie**

Come con lo stomaco umano, la digestione è molto efficace nel consumo di materia organica e la conversione in anidride carbonica, acqua, ed energia. I digestori possono ridurre alcuni materiali inorganici, ma il problema è che il refluo contiene molto più materiale organico e solidi stabilizzati. L'effluente restante è ancora potenzialmente dannoso, se non trattato in modo appropriato. Il digestore avrà poco o nessun effetto su sostanze come cloruri, nitrati, fosfati, potassio e solfati; inoltre, non sarà in grado di eliminare metalli come sodio, calcio, magnesio, ferro, alluminio, rame e zinco.

In aggiunta, con tutti i metodi descritti, rimarranno grandi serbatoi, vasche o lagune. Nessuno di questi rappresenta una soluzione completa di per sé e un metodo tecnologicamente superiore. In ogni caso, l'acqua restante effluente dovrebbe essere smaltita in modo sicuro, lo scarico diretto in acque superficiali non sarebbe possibile. Alcuni riutilizzi di quest'acqua potrebbero essere realizzati durante la fase di lavaggio, ma vi è la possibilità di accumulo di sali e metalli tossici nel sistema. Nel migliore dei casi l'acqua può essere mescolata con acqua dolce per mantenere un equilibrio.



## Sistema di Filtrazione RO VSEP

New Logic ha sviluppato un sistema di trattamento del letame di maiale tecnologicamente superiore rispetto a quelli presenti sul mercato, Processo di Filtrazione a Membrana Vibrante (VSEP). Poiché VSEP ha eseguito per molti anni filtrazione ad osmosi inversa nella dissalazione di acqua marina, è capace di concentrare tutti i solidi sospesi e disciolti e produrre acqua abbastanza pulita per il consumo animale, scarico superficiale o irrigazione. Con il sistema VSEP si raggiunge il 98% di sostanze organiche (BOD) filtrate e il 95% di ammoniaca rimossa. Il volume rigettato restante può essere 10% del totale e costituisce un prezioso fertilizzante organico. VSEP costituisce un processo di trattamento autonomo con un semplice setaccio per la rimozione di componenti di grandi dimensioni. Il setaccio, adoperato inizialmente, rimuove particelle di grandi dimensione e VSEP concentra il letame non trattato per raggiungere acqua potabile per gli animali e fango fertilizzante. Il rigetto di VSEP può essere pellettizzato o spedito e dispensato in un camion a spruzzo di liquame come fertilizzante.



Quando utilizzato in combinazione con un digestore aerobico, tutti i nutrienti vengono recuperati. Il digestore dividerà la materia organica e i solidi stabilizzati potranno essere recuperati. VSEP può essere adoperato per trattare l'effluente dal digestore, con il rigettato VSEP restituito al digestore ed il filtrato VSEP essere smaltito o riutilizzato. VSEP è in grado di concentrare molti dei sali metallici poco solubili come carbonato di calcio e fosfato di magnesio e restituire questi nutrienti per il recupero nel digestore. Utilizzando tale metodo, quasi il 98% di tutti i nutrienti viene recuperato dal letame.

Se l'energia elettrica è l'obiettivo, un digestore anaerobico può essere utilizzato con VSEP per trattare l'effluente risultante. L'efficienza del digestore è migliore quando il carico organico dei solidi è elevato. Utilizzando VSEP per trattare l'effluente e restituire materiale organico al digestore, aumentando così la concentrazione di combustibile biologico, si avrà un digestore molto più efficiente, con rendimenti più elevati di energia elettrica. Un più elevato livello di nutrienti nel fango si presenterà quando recuperato con un digestore aerobico.

I tre usi principali di VSEP per il trattamento del letame, come mostrato sopra rappresentano metodi di trattamento tecnologicamente superiore, con il massimo sfruttamento e recupero di

nutrienti possibile in ogni caso. Non vi è praticamente nessuno spreco e tutti i materiali recuperati, si tratti di acqua, sostanze nutritive o metano rappresentano prodotti di valore che generano profitto per l'allevatore. Oltre alla comprovata fattibilità tecnica, VSEP, cosa più importante, è anche economicamente sostenibile, alla portata della maggior parte degli agricoltori.

## Introduzione Membrana

La tecnologia di separazione a membrana è stata inizialmente utilizzata a solo scopo di laboratorio. Tuttavia, i miglioramenti negli ultimi venti anni hanno reso possibile ampliare l'uso delle membrane a livello industriale. Una membrana è una semplice barriera sintetica, che impedisce il passaggio di alcuni componenti sulla base di caratteristiche diverse. Sono presenti membrane molto diverse tra di loro con l'obiettivo comune di separare. Le membrane possono essere liquide o solide, omogenee o eterogenee e variare in spessore; possono, inoltre, essere realizzate per essere elettricamente neutre, positive, negative o bipolare. Le differenti caratteristiche delle membrane permettono di eseguire diversi tipi di separazione, da osmosi inversa a microfiltrazione.

Ci sono quattro categorie principali di filtrazione a membrane, determinate dalla Dimensione dei Pori o Peso Molecolare Separato:

<b>Tipo di Filtrazione</b>	<b>Dimensione Particelle Rigettate</b>	<b>Peso Molecolare Separato</b>
Osmosi Inversa (RO)	$\leq 0.001$ micron	$\geq 100$ dalton
Nanofiltrazione (NF)	0.001 to 0.01 micron	100 to 1000 dalton
Ultrafiltrazione (UF)	0.01 to 0.1 micron	1000 to 500.000 dalton
Microfiltrazione (MF)	$\geq 0.1$ micron	$\geq 500.000$ dalton

La prima categoria di membrane è per Osmosi Inversa. Queste rappresentano le più strette membrane per la separazione dei materiali e sono nella maggior parte dei casi valutate sulla % di sali rimossi da un flusso di alimentazione oppure in base al Peso Molecolare separato. Generalmente, una membrana classificata RO avrà un rifiuto di NaCl superiore al 95%. Il taglio di peso molecolare è mostrato nella tabella sopra. Un esempio del loro uso potrebbe essere il filtraggio dell'acqua marina per eliminare il sale, o anche per rimuovere colore, profumo e sapore da flussi d'acqua.

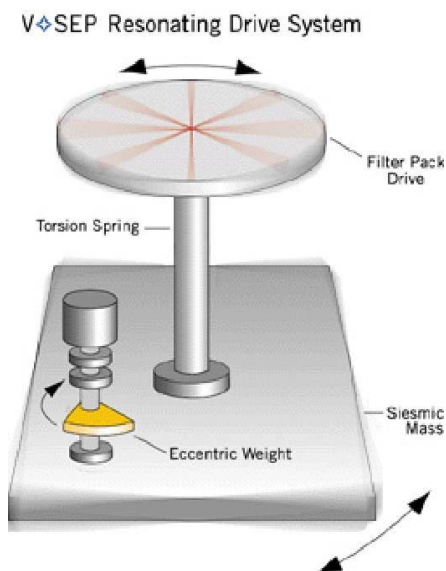
La pura separazione ionica a membrana ha sempre destato l'interesse nel settore del trattamento delle acque reflue. In passato, le limitazioni dei sistemi convenzionali a membrana relativi allo sporramento (fouling) rapido a causa della formazione di scala colloidale hanno impedito la loro diffusione. Il Fouling colloidale ostruisce i pori della membrana riducendo notevolmente il flusso, aumentando la frequenza e la quantità di pulizia richiesta. Per combattere la formazione di calcare all'interno del sistema vengono utilizzati elaborati pretrattamenti. Inoltre aziende del settore hanno sviluppato membrane estremamente idrofilo in grado di respingere sostanze organiche. Anche con questi miglioramenti, le limitazioni di membrane a spirale convenzionali non hanno permesso il loro uso diffuso nel trattamento delle acque reflue.

## Vantaggi VSEP vs Membrane Convenzionali

Un nuovo sistema a membrana conosciuto come VSEP (Vibratory Shear Enhanced Process) impiega membrane vibranti che generano elevata energia di taglio sulla superficie e vicino ai pori delle membrane. Il risultato è una notevole riduzione del fouling colloidale e polarizzazione della membrana dovuto alla concentrazione dei materiali rigettati. Poiché il fouling è evitato grazie alla vibrazione, l'uso di pretrattamento per prevenire la formazione di calcare non è necessario. Inoltre, i tassi di flusso con VSEP sono 5-15 volte superiore in termini di LMH (litri per metro quadrato per ora). Le onde sinusoidali di taglio che si propagano dalla membrana agiscono per mantenere le particelle sospese sopra la sua superficie consentendo libero attraversamento dei liquidi attraverso i pori della membrana. Questo spiega le migliori prestazioni di VSEP rispetto ai tradizionali sistemi di filtrazione a membrana a spirale.

## Panoramica della Tecnologia VSEP

Al contrario dei sistemi convenzionali, VSEP riesce a produrre un taglio estremamente elevato facendo vibrare la superficie della membrana ad alta frequenza. Il risultato è la vibrazione torsionale di un disco piatto in risonanza all'interno del sistema massa-molla-massa. La membrana è collocata sulla piastra e si muove ad una ampiezza di 1/2 "a 1" picco-picco di spostamento, con una frequenza compresa tra 50 e 55 Hz. Come in una lavatrice, il fluido nel blocco rimane abbastanza immobile creando una zona altamente focalizzata di taglio sulla superficie della membrana. I solidi trattenuti sulla superficie della membrana vengono rimossi dal taglio consentito per la maggiore pressione operativa, ottenendo come risultato un aumento del flusso permeato. La pressione di alimentazione è fornita da una pompa, che costantemente circola nuovo fluido al filtro.



In generale, VSEP presenta semplicemente due masse collegate da una molla di torsione, eccitata alla sua frequenza naturale di risonanza. Una massa, il Blocco dei Filtri, situata sopra la molla, contiene le membrane e si muove con ampiezza maggiore dell'altra massa, la Massa Sismica. L'uso di due masse consente al sistema di risuonare senza l'aggancio del dispositivo ad una superficie rigida.

L'eccitazione viene creata da un Motore di Azionamento della Vibrazione AC. Il Motore gira un Cuscinetto Eccentrico attaccato alla Massa Sismica. Poiché l'eccentricità del peso induce l'oscillazione, la Massa Sismica inizia a muoversi con l'aumento di velocità del Motore di Azionamento della Vibrazione. Questa energia viene trasmessa nella molla di torsione che comincia a spostare il Blocco dei Filtri nella parte superiore, a 180 gradi fuori fase. Quando la velocità del motore si avvicina alla frequenza di risonanza, l'ampiezza del movimento del Blocco dei Filtri raggiunge un massimo e la maggiore velocità del motore diminuirà solo l'ampiezza. VSEP viene eseguita sotto la massima ampiezza per ridurre lo stress della molla e assicurargli una vita quasi infinita.

La regolazione della ampiezza/velocità del motore si ottiene dal Controller Velocità Motore (VFD).

Per consentire il libero movimento del sistema, VSEP è montato su isolatori. Tubazioni ferme per la massa filtrante sono bloccate sulla molla di torsione e rimosse nel punto di zero-ampiezza (nodo). Tubazioni flessibili sono utilizzate sulla parte superiore del pacco filtrante. Sistemi industriali o di test VSEP (*Serie-i e L/P*) possono operare in una configurazione a singolo passaggio, che li rende ideali per applicazioni su scala industriale per processare un grande volume di prodotto. Durante operazioni a singolo passaggio, il materiale entra dalla parte superiore del blocco filtrante e progressivamente viene disidratato dalle membrane durante l'attraversamento verso il basso del blocco. In questo modo è stabilito un gradiente di concentrazione, il materiale in cima alla pila sarà più simile all'alimentato, mentre nella parte inferiore si avrà il rigetto concentrato, essendo stato disidratato attraverso il blocco filtrante. Il materiale concentrato è essenzialmente estruso dal fondo del pacco, il filtrato viene invece rimosso mediante il centro del blocco da un poroso panno di drenaggio sotto ogni foglio di membrana. Il limite di concentrazione varia da alimento ad alimento, ma deve essere in grado di fluire per essere rimosso dalla tubazione di scarico.

### **Descrizione Processo Proposto da VSEP**

VSEP può essere utilizzato per diverse applicazioni. Quasi ogni installazione VSEP per il trattamento di reflui zootecnici finora installato presenta una configurazione leggermente diversa. VSEP è un sistema compatto, modulare, versatile, può essere usato in condizioni operative molto diverse e capace di gestire ampi range di temperatura da 5 °C a 60 °C istantaneamente. Si ha un miglioramento delle prestazioni con alte temperature, ma il sistema può operare a qualsiasi normale temperatura ambiente necessaria. Sono anche tollerate ampie fluttuazioni di pH, carico di solidi e cambiamenti nella composizione chimica delle acque reflue. VSEP funziona in modo autonomo e produce prodotto immediatamente senza tempo di reazione o attesa di sviluppo di attività biologiche.

VSEP può essere utilizzato nei seguenti modi:

1. Come metodo di trattamento singolo con solo un setaccio meccanico per ottenere acqua pulita da riutilizzare e fango nutriente concentrato per compostaggio, applicazione in terra o fertilizzare fuori l'impianto mediante camion a spruzzo.
2. Come pre-trattamento per digestore aerobico o anaerobico. L'acqua pulita per il riuso è prodotta prima del digestore, il concentrato VSEP viene poi inviato al digestore con un volume molto ridotto. Questo conduce un sistema digestivo più piccolo che lavora maggiormente sul materiale concentrato migliorando così l'efficienza.
3. Come post-trattamento digestore per trattare l'effluente prodotto. VSEP lucida l'acqua per renderla adatta al riutilizzo o smaltimento. Il rigetto VSEP può essere rinviato al digestore o unito con il fango del digestore o compostato.

## VSEP per il Solo Trattamento di Reflui Zootecnici

L'unico pre-trattamento richiesto da VSEP è un grossolano setaccio meccanico per evitare che particelle di dimensione di granelli di sabbia entrano nel sistema. È necessario rimuovere i solidi sospesi grandi sufficienti da agire come proiettili ed eventualmente danneggiare la membrana. Normalmente, è sufficiente un setaccio con maglia di 60-100 mesh.

Il processo proposto viene alimentato con effluente, da vasca di decantazione o da altro serbatoio di contenimento, che è stato fatto fluire attraverso un setaccio e successivamente filtrato utilizzando una membrana ad osmosi inversa. Il filtrato così ottenuto viene inviato a una struttura di stoccaggio dell'acqua e reso disponibile per essere consumato come acqua potabile per gli animali, acqua di risciacquo, per l'irrigazione o per qualunque uso si ritiene necessario. Il rigetto concentrato dal sistema di filtrazione ritornerà al serbatoio di alimentazione per essere processato con un nuovo lotto. Il processo "Concentrazione Lotto" continuerà fino a quando la % solidi nel serbatoio raggiunge un valore pari o superiore al 12% e il concentrato, a questo punto, potrà essere trasportato e venduto come fertilizzante.

Vi è un trade off tra alta % solidi e flusso filtrato pulito. Una elevata % solidi può essere raggiunta, ma a scapito della velocità e viceversa. Maggiore flusso potrebbe essere gestito a spese della % solidi al termine di un lotto di concentrazione. L'ottimo tra % solidi e flusso è stato stabilito per essere circa 12% di solidi, 80% recupero di filtrato e 20gpm (76 lpm) per modulo. Per spiegare il rapporto tra concentrazione e flusso, VSEP potrebbe raggiungere 20% di solidi nel concentrato, ma ad un tasso di solo 10 gpm (38 lpm). Al contrario, si potrebbe produrre 5% di solidi nel concentrato ad una portata di 25 gpm (95 lpm). Questi numeri sono approssimativi e possono variare a seconda del tipo di azienda e temperatura ambiente, ma mostrano la corrispondenza tra concentrazione e produttività. I moduli sono unità all'interno del sistema e l'intero sistema può essere dimensionato per ogni portata totale.



**Sistema VSEP installato per il Trattamento Letame Suino in Korea**

## Componenti di Sistema

Il refluo verrebbe estratto da un bacino di decantazione mediante una pompa autoadescante di pozzetto o centrifuga, installata su una boa galleggiante per aspirare il fango dal livello superiore della vasca. Il liquame verrà trasferito nell'area di trattamento VSEP e fatto passare in

un'unità di pre-screening per rimuovere le particelle più grandi, (100 mesh). Ci sono molti tipi di setacci meccanici che potrebbero essere utilizzati.

Il refluo successivamente fluisce in un serbatoio di alimentazione dove potrà essere riscaldato se necessario per migliorare le prestazioni. Questo serbatoio funziona sulla base della domanda ed è controllato dal suo livello. Una pompa di trasferimento sarà attivata per riempire il serbatoio di una quantità stabilita dal segnale ricevuto dal sensore di livello. L'effluente, in prossimità del fondo del serbatoio, viene pompato attraverso un filtro a sacco protettivo ed inviato alla macchina VSEP. I filtri a sacco e le pompe vengono fornite con il sistema VSEP.



**Primario Bacino di Sedimentazione**

Il sistema VSEP è dotato di un serbatoio per la fase di pulizia e molte delle valvole e altre attrezzature di interfaccia. Il sistema è "Plug and Play". Il serbatoio di alimentazione, l'unità di pre-screening, gli scambiatori di calore e la caldaia non sono normalmente inclusi, ma possono essere come parte di un pacchetto di processo completo. Il sistema VSEP è automatizzato e controllato da PLC (Programmable Logic Controller). Interfaccia con operatore è limitata al monitoraggio del sistema e al regolamento periodico dei parametri impostati. La pulizia è automatico e controllata dalla diminuzione delle portate.



**Serbatoi di Processo VSEP**

### **VSEP come Pre-trattamento per un Digestore**

VSEP può essere usato per pre-concentrare o per addensare il refluo prima della digestione aerobica o anaerobica, riducendo significativamente la dimensione del Digestore e le spese

relative. Il sistema potrebbe essere usato per rimuovere il 50-85% in volume di liquido come acqua pulita, diminuendo la dimensione del Digestore di una quantità proporzionale. Molti digestori saranno più efficienti quando il livello dei solidi è elevato. In questo scenario, l'alto recupero non sarebbe così critico e VSEP sarebbe utilizzato in primis per occuparsi del carico del Digestore. VSEP potrebbe anche essere usato come bypass ridondante nel caso in cui il Digestore richiede tempo di reazione o altri tempi di inattività per manutenzione. Ancora una volta, VSEP prenderebbe il liquame dal bacino di decantazione, che ha già subito il pre-screening e quindi filtrato mediante osmosi inversa. Come detto prima, l'acqua pulita è deviata verso un serbatoio di accumulo di acqua o bacino per il riutilizzo. Il concentrato addensato da VSEP sarà inviato al digestore per il processamento.

Il vantaggio di questo scenario rispetto al solo VSEP è che il fango, dopo essere stato digerito, non si putrefa poiché tutto il materiale organico viene convertito in composto stabile. Esso può essere pellettizzato o essiccato per ottenere fertilizzante in sacchi e rimane stabile. Nel processo di digestione gli agenti patogeni sono distrutti. Gli acidi grassi volatili (VFA- Volatile Fatty Acids) sono suddivisi in anidride carbonica e acqua e l'ammoniaca è convertita in nitrato in modo da neutralizzare l'odore associato al letame.

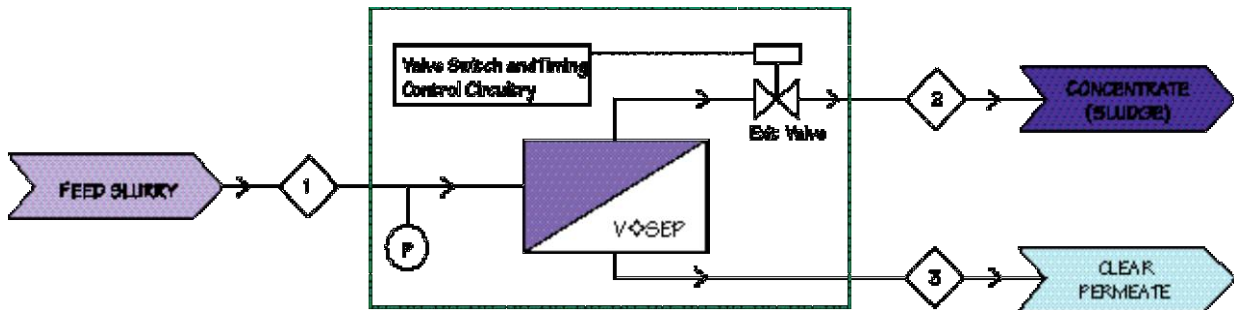
### **VSEP Post-Digestore**

Questo è il metodo più comune di utilizzare VSEP. La nostra prima installazione in Corea prevede Reattori a Carico Sequenziale (SBR- Sequencing Batch Reactors) di fronte al sistema di filtrazione ad osmosi inversa VSEP. In questo caso, lo scopo di VSEP è di produrre acqua pulita dall'effluente del digestore che può essere smaltita o riutilizzata e per catturare eventuali nutrienti rimanenti nell'effluente del digestore che possono essere disciolti o tralasciati dal digestore. Nel caso sopra, in cui VSEP viene utilizzato come pre-trattamento per ridurre il volume del refluo, il concentrato ha una destinazione che è il digestore. Mentre, nel caso di post-trattamento, ci sarebbero diverse possibili destinazioni per il concentrato VSEP. Esso può ritornare al digestore per supplementare degrado biologico, può essere unito al fango rimosso dal digestore o può essere miscelato con uno schermo per il compostaggio.

Uno setaccio meccanico, pressa a vite o centrifuga viene normalmente utilizzato prima del digestore per rimuovere solidi di grandi dimensioni che richiedono molto tempo a deteriorarsi nel digestore. Dopo la fase di degritting e screening, un air stripper può essere usato per rimuovere ammoniaca e VFA e agevolare i lavoratori operanti con il digestore. I SBR operano al chiuso, in questo caso l'odore di letame può essere un problema, anche con SBR aerobici. Inoltre, il gas solfuro rimosso mediante air stripping, può essere un problema per la salute. In ambienti aperti i digestori convenzionali non avrebbero bisogno di aria stripping. A seguito del degritting, il letame diventa alimento del digestore in un processo a lotti che prevede la fase di riempimento del digestore, reazione e stabilizzazione. Dopo la decantazione e tempo sufficiente per la digestione, l'acqua viene prelevata e questo effluente viene inviato al serbatoio VSEP. VSEP può essere utilizzato su richiesta e essere avviato e arrestato in base al livello del serbatoio. VSEP filtra l'effluente per ottenere acqua pulita per lo smaltimento o riutilizzo.

## Prestazioni VSEP

New Logic possiede numerosi impianti installati per il trattamento di reflui zootecnici e i risultati delle prestazioni di VSEP sono ben note. Ci possono essere comunque leggere variazioni da un luogo all'altro e i test pilota permettono sempre di confermare i risultati stimati. Ci possono essere molte differenze da azienda ad azienda. Il letame di mucca è diverso da quello di maiale e ci sono diversi tipi di letame suino. Il letame di mucca è di solito più ricco di solidi sospesi e povero di solidi disciolti rispetto a quello di maiale. Ogni animale elabora sostanze nutritive e minerali in modo diverso; inoltre, le sostanze nutritive, sali e minerali presenti nel letame sono funzione dell'acqua utilizzata e il materiale di alimentazione dato agli animali.



In generale, VSEP è in grado di ottenere prestazioni leggermente superiori sull'effluente del digestore che sul concime crudo. Questa affermazione non è vera in tutti i casi, ma in media. La tabella che segue mostra le prestazioni del sistema in diversi scenari. Le membrane sono valutate in base al loro rendimento per metro quadrato di superficie, il valore è dato in LMH, litri di permeate prodotto per metro quadro di membrana per ora.

Medie		Osmosi Inversa in un Singolo Stadio			
	Non Trattato	Digestore Aerobico	Non Trattato	Digestore Aerobico	
	Letame Suino	Letame Suino	Letame Bovino	Letame Bovino	
Flusso Permeato	31 LMH	48 LMH	33 LMH	41 LMH	
Recupero Filtrato	78%	88%	82%	85%	
Temperatura	25°C	25°C	25°C	25°C	
Membrana Usata	LFC 1	LFC 1	LFC 1	LFC 1	
Pressione Usata	40 bar (575 psi)	41 bar (600 psi)	41 bar (600 psi)	34 bar (500 psi)	

La temperatura ambiente e il pH sono anche in grado di influire sulle prestazioni del sistema VSEP. Come tante variabili che possono influenzare la composizione del letame, è difficile generalizzare sulle prestazioni di VSEP, ma possono essere effettuate alcune stime. La tabella seguente riporta i risultati di uno recente studio condotto su letame bovino a seguito del trattamento con digestione aerobica.



## Letame Bovino Aerato/Osmosi Inversa



		VSEP Alimento	VSEP Concentrato Estimate	VSEP RO Permeato	% Riduzione
		Alimento	Concentrato	Permeato	% Riduzione
Solidi Totali	TS	1.88%	9.28%	0.03%	98.6%
Solidi Sospesi Totali	TSS	8,000	40,000	0	100.0%
Azoto Totale	TN	2,210	10,734	79	96.4%
Ammoniaca	NH4	1,200	5,736	66	94.5%
Solfati	SO4	950	4,498	63	93.4%
Calcio	Ca	146	726	1	99.3%
Cloruro	Cl	2,420	11,988	28	98.8%
Rame	Cu	0.7	3.5	0	100.0%
Ferro	Fe	2.5	12.5	0	100.0%
Magnesio	Mg	42	210	0	100.0%
Manganeseo	Mn	0.3	1.5	0	100.0%
Fosforo	P	211	1,039	4	98.1%
Potassio	K	2,730	13,530	30	98.9%
Sodio	Na	868	4,340	0	100.0%
Zinco	Zn	1.7	8.5	0	100.0%

### Risultati dell'Analisi VSEP da Prove Pilota su Letame Bovino

Rispetto ad altri metodi di trattamento, VSEP ha la capacità di produrre acqua di migliore qualità ed è efficace su tutti i solidi disciolti anziché solo su pochi o alcuni di questi. Ad esempio, digestori e biofiltri non permettono una buona rimozione di fosforo, potassio e cloruri. Separatori di flusso tangenziale consentono un buon processamento del fosforo, ma aumentano la quantità di cloruri, calcio e ferro nell'effluente a causa dell'aggiunta di cloruro di calce e ferro. La seguente tabella illustra le relative performance.

Confronto Tecnologie		Sistema di Filtrazione VSEP	Reattore SBR	Separatore Flusso Tangenziale	Biofiltro Trattamento
Solidi Sospesi Totali	TSS	100%	98%	82%	82%
Ossigeno Chimico	COD	94%	93%	49%	75%
Azoto Totale	T-N	96%	60%	22%	61%
Fosforo Totale	T-P	98%	15%	90%	24%
Cloruri	Cl	99%	0%	-210%	0%
Rame	Cu	100%	10%	87%	5%
Calcio	Ca	100%	10%	-60%	5%

### Confronto dei Risultati VSEP con le altre tecnologie

## Fattori di Flusso VSEP

VSEP può operare a qualsiasi temperatura ambiente. Tuttavia, il flusso può essere aumentato con l'aumentare della temperatura. Il limite per le membrane polimeriche RO è di 60 °C. Il motivo di questo è che l'aumento della temperatura riduce la viscosità del letame. La viscosità può agire come un fattore variabile limitante quando si tratta di filtrazione e gli effetti possono essere molto gravi. Ad esempio, il flusso VSEP a 45 °C potrebbe essere il doppio che a 20 °C. Anche se il riscaldamento dell'alimento non è obbligatorio, esso può essere considerato per un progetto di sistema più economico, in quanto si avrebbe un lieve aumento dei costi di gestione, ma una riduzione del costo capitale.

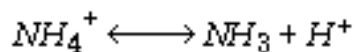
Un altro fattore che influenza il flusso è la percentuale di acqua rimossa dal volume totale dell'effluente, nota come %recupero. All'aumento della concentrazione del refluo, ci sono più ioni di solidi disciolti che concorrono per lo spazio con l'acqua sulla superficie della membrana. Inoltre, il rigetto altamente concentrato in prossimità della membrana può causare la pressione osmotica, che è la tendenza naturale per due liquidi separati da una membrana per equalizzare le concentrazioni. Per guidare il flusso nella giusta direzione e consentire all'acqua pulita di attraversare la membrana è necessaria maggiore pressione. La pressione osmotica risulta molto bassa per minori recuperi come del 50% e molto alta per recuperi superiori come del 90%, riducendo la velocità di trasporto di massa attraverso la membrana. Aumentando o diminuendo il recupero l'effetto sulla velocità di flusso può essere inverso.

Il pH è un altro strumento molto efficace per manipolare il flusso e il rigetto della membrana. Inferiori pH aiutano a solubilizzare i sali minerali che possono rallentare le prestazioni. Il pH ha anche un altro effetto molto importante come mostrato di seguito.

## Effetti del pH e Temperatura sull'Ammoniaca

Ammoniaca libera (NH<sub>3</sub>-N) e ammonio-ionizzato (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-n) rappresentano due forme di azoto inorganico ridotto che esistono in equilibrio a seconda del pH e temperatura delle acque in cui si trovano. L'ammoniaca libera è una sostanza chimica gassosa, mentre la forma NH<sub>4</sub><sup>+</sup> di azoto ridotto è una forma ionizzata, che rimane solubile in acqua.

Un fattore che influenza l'entità della volatilizzazione dell'ammoniaca è il pH. NH<sub>3</sub> (ammoniaca gassosa) e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ione ammonio acquoso) sono in equilibrio ad un pH di circa 9. La relazione di equilibrio è definito dalla seguente equazione.

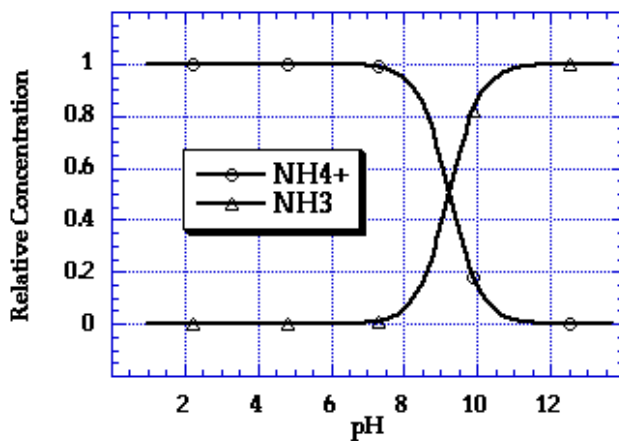


$$\frac{[NH_3][H^+]}{[NH_4^+]} = 5.7 \times 10^{-10}$$

L'ammonio ionizzato, (con una carica in più), è molto solubile in acqua. Grandi quantità di ammonio disciolto in acqua possono esistere se le condizioni sono giuste. L'attrazione dell'ammonio ionizzato con un anione con carica negativa, come carbonato o nitrato, mantiene l'ammonio in soluzione, anche se concentrato. L'ammoniaca, tuttavia, non è carica ed ha una limitata solubilità in acqua come gas. Se il pH o la temperatura varia o la

soluzione è concentrata spostando le concentrazioni di ammoniaca oltre la sua solubilità, questa si comporterà come gas evaporando, anziché convertirsi in ammonio.

Ammoniaca e ammonio esistono in equilibrio relativamente al pH. Una soluzione di pH superiore a 7 inizia a ridurre la concentrazione di ione ammonio, in quanto l'equilibrio tra lo ione ammonio monovalente e le molecole di ammoniaca non cariche si sposta verso l'ammoniaca poiché il pH approssima range basici. Dato che il gas di ammoniaca ha una limitata solubilità, l'aumento di pH sposterà l'ammonio in ammoniaca e così facendo l'ammoniaca sarà liberata dalla soluzione come un gas sviluppato, che è lasciato in atmosfera. Il grafico sottostante mostra la relazione tra le concentrazioni di ammonio e ammoniaca per quanto riguarda pH.



Come si può vedere, a pH 6, quasi tutto l'azoto ammoniacale è in forma di ammonio ionizzato, che sarà solubile in acqua in quantità elevate. Ad un pH di 11, non si ha ammonio ed alcun azoto ammoniacale in forma di ammoniaca, poiché questo ha una solubilità limitata e qualsiasi eccesso evolverebbe e lascierebbe il liquido come un gas. Se l'obiettivo fosse mantenere l'azoto ammoniacale nel sistema, sarebbe necessario operare ad un pH uguale o inferior a 7.

Quando si tratta di rigetto di ammoniaca utilizzando membrane RO, con poca carica ionica per migliorare il rifiuto, le piccole molecole di ammoniaca non cariche rapidamente permeano le membrane RO. Quando il pH è aumentato da 5,0 a 8,5 il rigetto di ammoniaca del sistema RO scende da 95% a 62%. La carica in più dell'ammonio rende la sua diffusione attraverso la membrane più difficile; invece, l'ammoniaca non ha carica ed è molto piccola facilitando l'attraversamento della membrana.

Quindi, il migliore rigetto/concentrazione di azoto ammoniacale risulterà operando il sistema RO ad un pH inferiore a 7. Se l'obiettivo era quello di sbarazzarsi di azoto ammoniacale, il pH deve essere portato a 11 e quindi la soluzione deve essere inviata ad un estrattore d'aria (stripper air) per evolversi in gas di ammoniaca. Successivamente il pH può essere ridotto a 6 e l'alimento essere filtrato utilizzando membrane RO; tuttavia, ciò comporterà una drammatica riduzione di azoto ammoniacale nel filtrato.

Anche la temperatura influenza la solubilità dell'ammoniaca/ammonio, ma in misura minore. Come per la maggior parte dei gas, l'aumento della temperatura rende l'ammoniaca meno solubile. Se l'obiettivo è quello di recuperare l'azoto per il suo valore nutritivo, l'ammoniaca deve essere mantenuta come ammonio, per quanto possibile e per consentire questo, il pH del campione deve essere mantenuto a 6.

## Vantaggi VSEP

- Non è richiesto spazio per sprayfields.
- L'acqua trattata può essere riutilizzata più e più volte
- Quasi il 100% di sostanze nutritive di valore possono essere recuperate e vendute
- Può essere usato per complementare i bioreattori e ridurre il carico nelle lagune o sostituirle
- L'acqua riusata è sicura acqua potabile per gli animali
- La superficie necessaria è di circa 30 metri quadrati
- Il sistema consuma circa 15 hp e non sono richiesti prodotti chimici

Sin dall'inizio, l'agricoltura è sempre stata basata sul riciclaggio dei nutrienti. Il nostro sistema è il più avanzato nella cattura di sostanze nutritive e l'opzione migliore per la prevenzione dell'inquinamento causato dalle infiltrazioni, volatilizzazione, cadute o la trasmissione per via aerea di agenti patogeni. Inoltre, la risorsa più preziosa in assoluto, l'acqua, viene riciclata, permettendo così di poter ridurre il carico sulla falda acquifera o distretti di acqua comunale.

## Profilo Aziendale

New Logic è una società privata con sede a Emeryville CA, a circa 16 km da San Francisco. New Logic vende, progetta, produce membrana di disidratazione e sistemi di filtrazione usati per il processamento chimico, flussi reflui, processamento di cellulosa e carta, operazioni minerarie e applicazioni di acqua potabile. La tecnologia VSEP è stata inventata da Dr. Brad Culkin nel 1985. Dr. Culkin possiede un dottorato di ricerca in Ingegneria Chimica ed è un ex senior scienziato con Dorr-Oliver Corporation.

Autore: Greg Johnson, Ingegnere Chimico e Direttore Operativo di Logic Research New dal 1992, è responsabile della progettazione e ingegneria del sistema a membrane vibrante brevettato VSEP.

New Logic Research  
1295 67<sup>th</sup> Street  
Emeryville, CA 94608  
510-655-7305 tel  
510-655-7307 fax  
[www.vsep.com](http://www.vsep.com)  
[info@vsep.com](mailto:info@vsep.com)

## **BIBLIOGRAFIA**

The following Publications or Articles were used for preparation of this study:

Metcalf & Eddy , 1991, Wastewater Engineering 3<sup>rd</sup> Edition, Boston: McGraw-Hill, 1334 p.

American Society of Civil Engineers, 1997, Water Treatment Plant Design 3<sup>rd</sup> Edition, New York: McGraw-Hill, 806 p.

J. Morris, R. Fleming, M. MacAlpine, Pigs Accept Drinking Separated Water from Liquid Manure, University of Guelph, Ridgetown College Research Note, 2004

G. Johnson, VSEP Industrial Strength Filtration, Chemical Processing Magazine Article, 2003

G. Johnson, Kinetics of Mineral Scale Membrane Fouling, Desalination Article, 2003

New Logic Research, VSEP Case Study, Treatment of Hog Farm Liquid Manure Wastewater, 2001

R. Fleming, M. MacAlpine, Evaluation of Mechanical Liquid/Solid Manure Separators, University of Guelph, Ridgetown College Research prepared for Ontario Pork, 2003

K. Zering, How to Select an Alternative Manure Treatment System, North Carolina Pork Conference Paper, 2000

L. Jackson, Water Quality, University of Northern Iowa Article, 2001

J.G. Pieters, G. G. Neukermans, M. Colanbeen, Farm-Scale Filtration of Sow Slurry, University of Ghent Article, 1999

E. Warnemuende, R. Kanwar, The Effect of Swine Manure Application on Bacterial Quality of Leachate from Intact Soil Columns. 2001

United States Environmental Protection Agency (EPA), 2003, 40 CFR 141 & 143, National Primary Drinking Water Standards, 5 p.

United States Environmental Protection Agency (EPA), 2003, 40 CFR 141 & 143, National Secondary Drinking Water Standards, 5 p.

United States Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Regulation & Location of Hog Production, Agricultural Outlook Newsletter, 2000