

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale



Corso di Laurea Triennale in:

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

“TECNICHE DI RECUPERO DI NUTRIENTI DAL DIGESTATO”

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing.
Francesco Pirozzi

CANDIDATA

Piera Fattore
Matr. N49000236

CORRELATORE

Dott. Ing. Antonio Panico

Anno Accademico 2014 – 2015

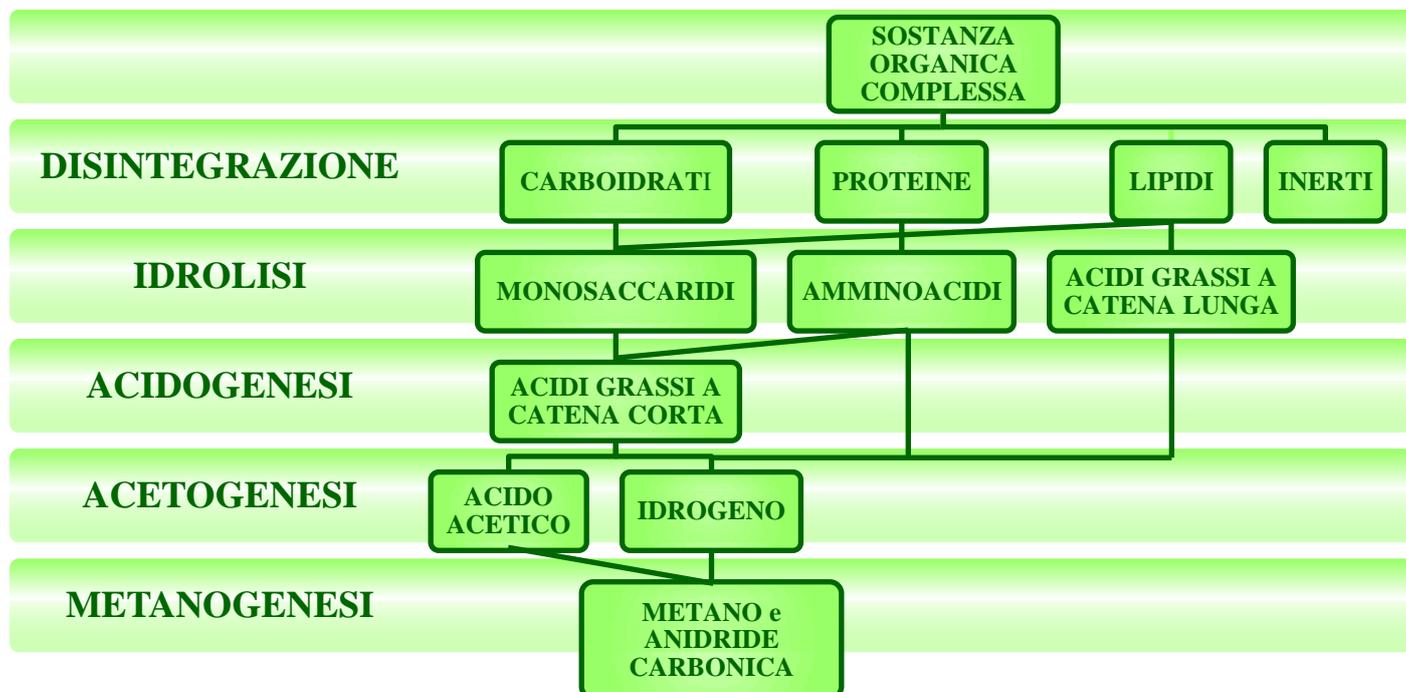
L'obiettivo di questo lavoro di tesi è la valorizzazione del **digestato**, uno dei prodotti finali del processo di **DIGESTIONE ANAEROBICA**.

LA DIGESTIONE ANAEROBICA

La DA è un processo biologico di degradazione della sostanza organica per mezzo di microrganismi in assenza di ossigeno. Questo processo è una validissima alternativa al compostaggio, in particolare per i prodotti finali che sono il biogas e il digestato. Essi sono da considerarsi il primo come una vera e propria fonte di energia alternativa, rinnovabile, e pulita; il secondo come una preziosa fonte di nutrienti.

LE FASI DEL PROCESSO

Il processo di DA si sviluppa secondo le seguenti fasi durante le quali la sostanza organica complessa diventa sempre più piccola di dimensioni e assume una struttura molecolare via via meno complessa fino ad arrivare ai due prodotti ultimi (CH_4 e CO_2).



Le prestazioni del processo dipendono fortemente da: temperatura, pH (6-8), grado di umidità e composizione del substrato in trasformazione.

I prodotti maggiormente utilizzati come substrati per l'alimentazione dei digestori anaerobici sono:

- frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) proveniente da raccolta differenziata;
- fanghi degli ITAR (Impianti di Trattamento delle Acque Reflue);
- reflui zootecnici;
- scarti organici provenienti da mercati e mense;
- residui dei raccolti agricoli;
- reflui lattiero-caseari;
- rifiuti organici provenienti da processi di trasformazione industriale di carne, pesce, frutta e verdura.

TIPI DI IMPIANTI

Gli impianti in cui avviene la DA sono dei reattori detti **digestori** che possono essere di vario tipo e si classificano in base a vari criteri.

In base alle temperature di esercizio, il reattore può essere:

- **Psicrofilo** (10°-15°C);
- **Mesofilo** (35°-40°C);
- **Termofilo** (50°-55°C).

In base al grado di umidità del substrato da trattare si ha un processo:

- **Wet** (più del 90% in peso);
- **Semi-dry** (tra l'80% e il 90% in peso);
- **Dry** (meno dell'80% in peso).

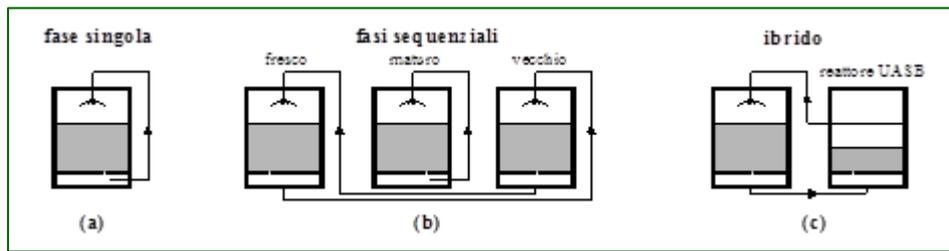
In base al ciclo di trattamento, i reattori possono essere:

- **Monostadio** (tutte le fasi avvengono in un unico reattore);
- **Doppio stadio** (l'ultima fase avviene in un reattore diverso).

In base alle modalità di alimentazione del substrato i digestori si distinguono in:

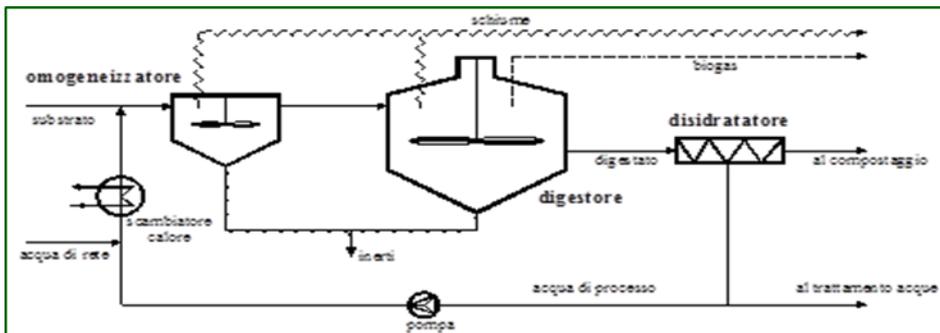
- **Digestori ad alimentazione continua;**

- **Digestori a carica singola, detti Batch.**



In base al comportamento idrodinamico, infine, si hanno:

- **Reattori a completa miscelazione CSTR;**
- **Reattori con flusso a pistone Plug Flow.**



In figura è illustrato un tipico trattamento wet con digestore monofase.

Tuttavia qualunque sia il tipo di impianto utilizzato esso è strutturato sempre in tre sezioni principali: una sezione di pretrattamento e ricezione; una di preparazione del substrato, digestione anaerobica vera e propria, produzione di energia; una sezione di stabilizzazione, raffinazione e stoccaggio.

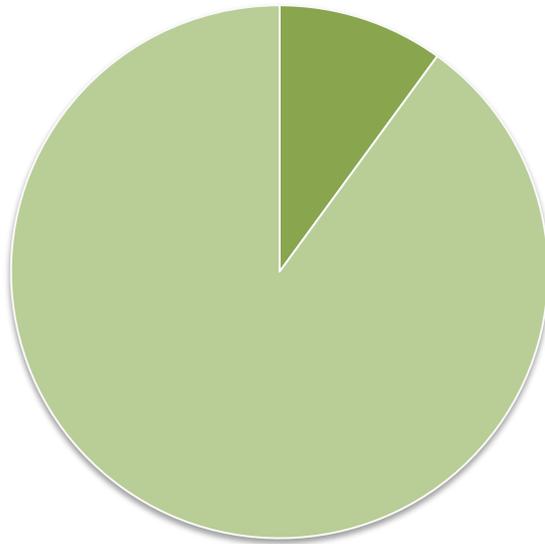
IL DIGESTATO

Il digestato è un materiale molto omogeneo e ha un alto tenore di umidità. Nella maggior parte degli impianti di DA il digestato è sottoposto ad una separazione solido-liquido con la produzione della:

- **frazione solida o palabile** è solo il 10%-15% in peso del digestato, ha un elevato contenuto di sostanza secca, un'elevata concentrazione della sostanza organica residua dalla digestione, un'alta percentuale di azoto organico sull'azoto totale e grande quantità di fosforo. Questa composizione la rende un ottimo ammendante per uso agronomico;
- **frazione liquida o chiarificata** è circa l'85%-90% in peso del digestato, ha un bassissimo contenuto di sostanza secca (1,5% minimo e 8% massimo),

un'altissima percentuale di azoto ammoniacale (70%-90%) sull'azoto totale. Rappresenta un ottimo fertilizzante.

SEPARAZIONE DEL DIGESTATO



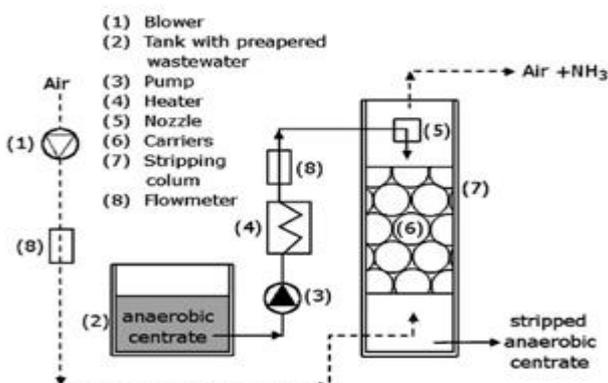
- FRAZIONE SOLIDA
- FRAZIONE LIQUIDA

COME VALORIZZARE IL DIGESTATO ?

La valorizzazione del digestato avviene mediante tecniche di trattamento volte al recupero dei nutrienti (fosforo, azoto e potassio) in esso presenti, alcune di esse utilizzano la frazione liquida, altre quella solida e altre infine i flussi gassosi.

TECNICHE PER IL RECUPERO DEI NUTRIENTI DALLA FRAZIONE LIQUIDA

STRIPPING E SCRUBBING DELL'AMMONIACA



Lo stripping dell'ammoniaca è un processo chimico mediante il quale si ha l'abbattimento dell'azoto ammoniacale. L'ammoniaca prodotta sotto forma di gas, viene mandata ad uno scrubber, una torre riempita di materiale inerte, in cui essa entra in contatto con una soluzione acida H₂SO₄ e

ne fuoriesce come solfato di ammonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, che può essere utilizzato per la produzione di fertilizzante. Per effettuare in modo ottimale questo processo è importante aumentare il pH del digestato liquido ad un valore di 10,5-11,5 e riscaldarlo per raggiungere elevate temperature. Lo strippaggio di ammoniaca ha il vantaggio di essere un processo facilmente controllabile, ma anche degli svantaggi che consistono nell'avere dei problemi di scaling e di fouling.

FILTRAZIONE PRESSURIZZATA A MEMBRANA

La frazione liquida dl digestato passa attraverso una membrana grazie ad una pressione realizzata da una pompa di alimentazione. La membrana trattiene una parte che contiene elementi inquinanti detta concentrata, mentre ne lascia passare un'altra, il permeato. A seconda delle dimensioni de pori presenti nelle membrane si può avere:

- **microfiltrazione**
- **ultrafiltrazione**
- **nanofiltrazione**

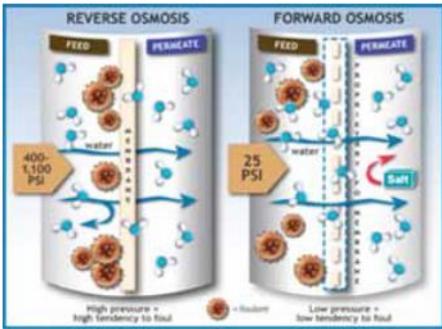
Microfiltrazione e ultrafiltrazione possono essere considerati come dei pretrattamenti della nanofiltrazione, poiché permettono di trattenere gran parte dei solidi sospesi e le macromolecole ed evitare l'intasamento delle membrane. La tecnica della filtrazione pressurizzata a membrana ha il vantaggio di rimuovere gran parte degli inquinanti e dei battei patogeni dal digestato, ma ha anche i seguenti svantaggi:

SCALING  precipitazione dei sali poco solubili sulla membrana, si può evitare con un aumento del pH o con l'uso di anti-scaling;

FOULING  incrostazione delle membrane a causa dell'adsorbimento di solidi sospesi sulla membrana

BIOFOULING  batteri che colonizzano le membrane causando incrostazioni molto difficili da rimuovere.

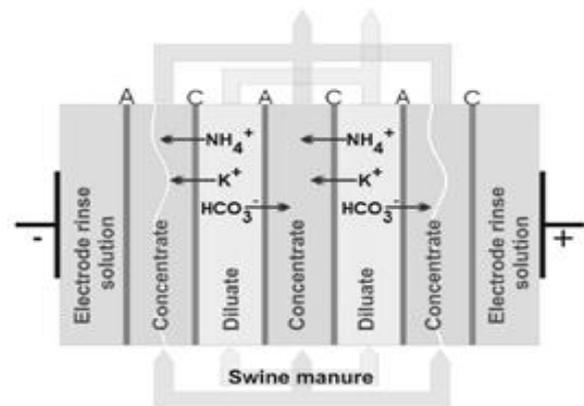
OSMOSI DIRETTA



L'osmosi diretta è un processo alternativo all'osmosi inversa, esso lascia passare l'acqua di una soluzione ma non le sostanze disciolte al suo interno. Il flusso d'acqua attraverso la membrana semipermeabile si ottiene imponendo una pressione osmotica con l'aggiunta di soluzioni come NaCl. Questa tecnica ha molti vantaggi, soprattutto di tipo economico.

ELETTRODIALISI

L'elettrodialisi (ED) è un processo attraverso il quale si allontanano i sali dalle soluzioni saline, utilizzando delle membrane cationiche o anioniche, sotto l'azione di una differenza di potenziale. Il processo dell'elettrodialisi è molto utilizzato per il trattamento delle acque reflue in cui sono previste una serie di membrane poste uno dopo l'altra alternando una membrana cationica ed una membrana anionica. Nelle tecniche di recupero del nutriente dalla frazione liquida del digestato con l'elettrodialisi si opera il trasferimento dello ione ammonio (NH_4^+), ione potassio (K^+), ione dell'acido carbonico (HCO_3^-) da una soluzione diluita ad una soluzione adiacente attraverso le suddette membrane.



PRECIPITAZIONE DELLA STRUVITE

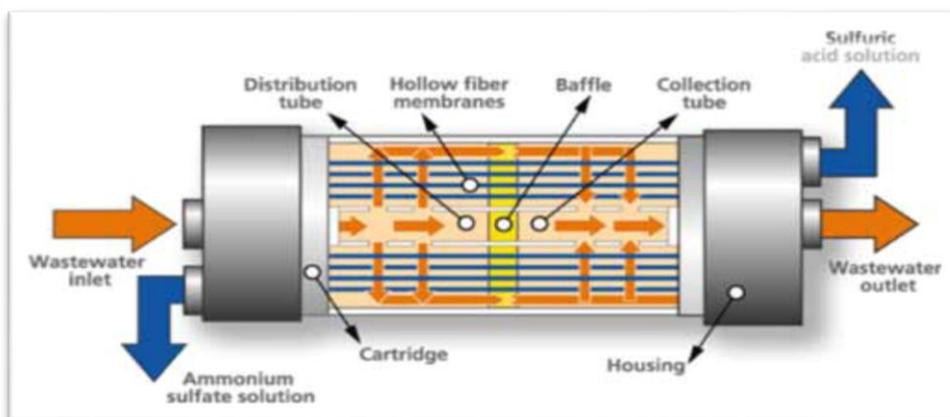
La struvite è un composto cristallino di colore biancastro molto ricco di fosforo, un nutriente che suscita un particolare interesse in termini di recupero. La tecnica avviene in reattori speciali, che permettono la precipitazione della struvite e la sua cristallizzazione, ad un pH compreso sempre tra 9 e 11. L'efficienza di questa tecnica potrebbe essere alterata dalla formazione di piccole particelle

difficili da separare, a questo scopo alcuni ricercatori hanno progettato dei reattori con degli inoculi al loro interno che fanno aumentare la dimensione dei cristalli di struvite.

PRODUZIONE DI BIOMASSA

La tecnica consiste nella produzione di alghe e macrofite come la lenticchia di acqua, alimentati con frazione liquida del letame suino. Le biomasse ottenute potrebbero essere utilizzate come materia prima nell'industria chimica, come cibi per animali e come fertilizzanti nei campi.

TRANSMEMBRANE CHEMOSORPTION (TMCS)



È una tecnica di trattamento per il liquame suino. Mediante un aumento del pH si ha la vaporizzazione dell'ammoniaca, che si diffonde così attraverso una membrana a fibre cave con pori pieni di

gas e viene catturata in una soluzione di acido solforico dall'altra parte della membrana ed eliminata dal liquame.

TECNICHE PER IL RECUPERO DI NUTRIENTI DALLA FRAZIONE SOLIDA DEL DIGESTATO

ESTRAZIONE DEL FOSFORO

La tecnica dell'estrazione del fosforo è stata adoperata e testata in particolare modo per fanghi secchi e per le ceneri provenienti dall'incenerimento dei fanghi. Lo scopo della combustione è quello di ricavare elettricità dall'energia rilasciata e il recupero dei nutrienti, in particolare del fosforo, dalle ceneri della

combustione, Quest'ultima comporta anche una riduzione dei volumi e l'eliminazione degli agenti patogeni. È sempre prevista e ritenuta necessaria una fase di depurazione per i fumi della combustione, prima del trattamento. Le tecniche per l'estrazione di fosforo dalle ceneri di combustione sono di due tipi:

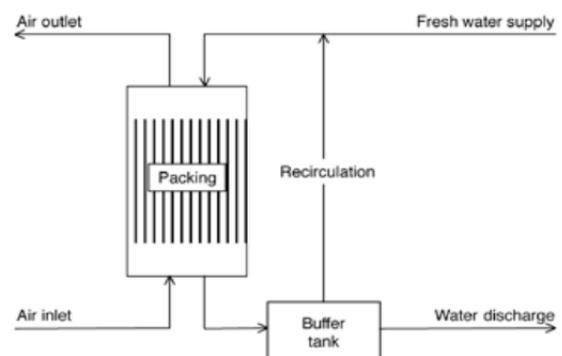
- **TERMO-CHIMICHE**
- **WET-CHIMICHE**

Un esempio è il processo della pirolisi, il digestato viene riscaldato fino a raggiungere temperature elevatissime dai 150° ai 900°C.

TECNICHE DI RECUPERO DEI NUTRIENTI DA FLUSSI GASSOSI

LAVAGGIO AD ARIA ACIDA

Questo trattamento consiste nello spruzzare aria dal basso in torri riempite di materiale inerte per aumentare il contatto tra i fluidi, in cui ci sono delle doccette che spruzzano acido solforico. Nelle stesse torri entra l'acqua di lavaggio dall'alto. L'ammoniaca presente nell'aria reagisce con l'acido solforico e viene trasportata via dall'acqua. L'acqua in uscita viene messa in ricircolo nella torre fino a quando non è satura di ammoniaca e quindi viene scaricata. L'aria acida in uscita dalla torre alla fine del processo ha circa il 70% in meno dell'ammoniaca iniziale.



CONCLUSIONI

Le tecniche analizzate hanno dimostrato la possibilità di utilizzare tale prodotto di scarto della digestione anaerobica come alternativa ai tanti fertilizzanti chimici, oggi inadeguati, per migliorare la resa dei campi coltivati. Tra di esse solo la “filtrazione pressurizzata a membrana”, lo “stripping dell’ammoniaca” e il “lavaggio ad aria acida” sono già ampiamente utilizzate, sebbene necessitano di ulteriori miglioramenti tecnici nell’impiantistica, volti soprattutto ad ottenere un contenimento dei costi energetici. Le restanti sono ancora in fase di sperimentazione, ma destinate nel tempo a diventare di comune utilizzo, come ad esempio la tecnica di “precipitazione della struvite” che in anni recenti si sta ampiamente diffondendo.

**GRAZIE PER
L’ATTENZIONE !**