



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”



TECHNICAL
UNIVERSITY OF
HAMBURG-HARBURG

Corso di Studio Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

PHOSPHORUS RECOVERY FROM BIOLOGICALLY TREATED URINE

RELATORE:

Ch.mo Prof. Ing. Massimiliano Fabbicino

Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi

CORRELATORE

Dipl. Ing. Torsten Bettendorf

CANDIDATA:

Agnese Mammi

Matr. M67/49

Anno Accademico 2012-2013

L'obiettivo del lavoro di tesi è stato il recupero di fosforo da urina biologicamente trattata mediante un processo di nitrificazione. L'attività di sperimentazione è stata condotta presso il dipartimento di gestione delle acque reflue e protezione delle acque dell'Università Tecnica di Amburgo (TUHH).

Nell'ultimo decennio è cresciuta l'attenzione verso il recupero dei nutrienti e il loro utilizzo per un'agricoltura sostenibile. Tale interesse nasce dal fatto che la popolazione mondiale è destinata a crescere e con essa la richiesta di cibo. Finora tale richiesta è stata sopperita sfruttando i terreni agricoli, mediante tecniche che mirano ad aumentare la riproducibilità del terreno concimandolo con maggiori quantitativi di fertilizzanti. Tale pratica, oltre all'apporto di fertilizzanti artificiali, richiede anche grandi quantitativi di energia e acqua. Tutto ciò, ovviamente, si traduce in maggiori costi.

L'ecosistema naturale è governato dal riciclo degli elementi nutritivi. Il suolo, in particolare, è il motore del suo buon funzionamento, da esso, infatti, sono prelevati i nutrienti e ad esso ritornano dopo essere stati utilizzati per le diverse attività antropiche.

I macroelementi nutritivi necessari per le specie vegetali sono essenzialmente tre: azoto, potassio e fosforo. L'azoto è essenziale per il ciclo biologico delle piante, essendo il principale responsabile del loro accrescimento. Il potassio facilita l'assorbimento dell'acqua e protegge le piante dai parassiti. Il fosforo, invece, è utile al loro metabolismo favorendone una veloce maturazione. Mentre i primi due nutrienti sono ampiamente disponibili in natura, il fosforo costituisce una limitazione. Esso, infatti, non si trova in natura allo stato elementare, viene estratto dalle rocce minerali sotto forma di fosfati: ione fosfato biacido, H_2PO_4^- , ione fosfato monoacido, HPO_4^{2-} , e ione fosfato, PO_4^{3-} . Dagli studi effettuati sulla presenza e disponibilità del fosforo in natura emerge che esso è presente solo in alcune aree geografiche (Cina, Marocco, Stati Uniti, Russia e Sud Africa.) ed è soggetto ad esaurirsi nei prossimi 75-100 anni.

Una soluzione alla scarsità di fosforo è fornita dall'utilizzo dei rifiuti umani quale fonte di nutrienti. Nuovi approcci sanitari sono, quindi, necessari per sopperire alla carenza di nutrienti provocata dai sistemi convenzionali.

L'utilizzo dei sistemi igienico-sanitari convenzionali, se da un lato ha contribuito a diminuire i rischi relativi alla salute, dall'altro ha interrotto il naturale ciclo dell'acqua e dei nutrienti. Essi si basano sull'utilizzo di sistemi fognari, in cui vengono convogliate tutte le acque reflue, indipendentemente dalla loro natura. I reflui così raccolti, ricchi di sostanze nutritive, dopo

opportuni trattamenti vengono scaricati nei corpi idrici ricettori contribuendo in maniera significativa ai fenomeni negativi di eutrofizzazione e conseguente deossigenazione dell'ambiente acquatico. I sistemi convenzionali richiedono grandi quantitativi di acqua dolce e di energia per i vari trattamenti ai quali l'acqua reflua deve essere sottoposta.

Il concetto alla base dei sistemi sanitari sostenibili è di considerare il rifiuto umano come una risorsa. Tali sistemi operano sia nel mondo sviluppato, mediante l'utilizzo di tecnologie in grado di separare il rifiuto umano all'origine, sia nei paesi in via di sviluppo. In questi ultimi, soprattutto, dove la scarsità di acqua e la quasi totale assenza di servizi igienico-sanitari rappresentano un reale ostacolo alla sopravvivenza umana, sono stati studiati e implementati dei sistemi igienici a basso costo. Essi si propongono di sfruttare il potere fertilizzante dei rifiuti umani e contestualmente di ridurre il tasso di mortalità causato dal contatto con essi.

L'obiettivo dei sistemi sanitari ecologici è non solo quello di preservare la salute umana, ma anche di contribuire alla protezione dell'ecosistema.

Ciò è possibile suddividendo all'origine i flussi di acqua reflua in acqua grigia, utilizzabile per l'irrigazione di giardini e campi, e acqua nera come sorgente di nutrienti per l'agricoltura. L'utilizzo di rifiuto umano in agricoltura, sebbene possa sembrare un segno di inciviltà, è una pratica molto antica, sviluppata soprattutto nella società orientale, Cina, Corea e Giappone. Questi popoli, infatti, già migliaia di anni fa avevano intuito il potere fertilizzante di tali rifiuti.

Durante la sperimentazione due tipologie di acque reflue sono state analizzate: urina nitrificata e, come substrato di confronto, acqua reflua derivante dalla lavorazione del lievito. L'urina nitrificata, è stata prodotta all'interno dello stesso dipartimento dell'università, in un bagno pilota, mediante un ciclo chiuso di acque nere, denominato "LooLoop cycle". Il ciclo prevede una separazione dell'acqua reflua alla fonte: le feci sono trattenute da un filtro e allontanate dal trattamento, mentre l'urina insieme con il liquido estratto dal filtraggio del rifiuto solido è inviata al reattore aerobico, in cui subisce un processo di nitrificazione (trasformazione dell'azoto organico e dell'urea in nitriti e nitrati). Un successivo trattamento di ozonizzazione igienizza e decolora il liquido che viene, quindi, riutilizzato sotto forma di acqua di scarico.

La prima operazione è stata la caratterizzazione dei substrati, ed è consistita nella determinazione dei valori di pH, temperatura e conducibilità. Inoltre, è stata valutata la concentrazione di fosforo originariamente presente nei substrati ed è stata eseguita la titolazione con idrossido di sodio (NaOH), al fine di studiare l'andamento del pH in seguito all'aggiunta di una base.

Per determinare le percentuali di fosforo recuperabili dai campioni diversi trattamenti sono stati eseguiti. I campioni sono stati sottoposti ad un processo di precipitazione con differenti fattori stechiometrici (rapporto tra gli ioni calcio e magnesio dei precipitanti e gli ioni fosfato del substrato) utilizzando due precipitanti, idrossido di calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e idrossido di magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Successivamente è stata eseguita la sedimentazione che ha permesso la separazione del substrato in una frazione liquida e una solida (fango di sedimentazione). La frazione liquida è stata, quindi, acidificata con acido cloridrico (HCl) per prevenire la cristallizzazione delle particelle solide fini. Su tale frazione anche un trattamento avanzato di filtrazione è stato eseguito al fine di ottimizzare il recupero di fosforo contenuto nelle particelle più piccole non sedimentate.

Anche la frazione solida ha subito un trattamento avanzato di centrifugazione, che ha permesso l'estrazione di ulteriore liquido dal fango non completamente disidratato e una facilitazione della successiva fase di determinazione dei solidi totali.

Infine, sui campioni trattati sono state eseguite nuove misure della concentrazione di fosforo.

Durante gli esperimenti molte misure sono state valutate: i quantitativi di reagenti utilizzati, il peso e il volume dei fanghi di sedimentazione, la velocità di sedimentazione, il liquido estratto dal fango, i solidi totali e la concentrazione di fosforo nei differenti campioni ottenuti.

Al fine dell'ottimizzazione del recupero, la misura dei volumi di fango ottenuti dalla sedimentazione è risultata significativa. La figura 1 mostra che i volumi maggiori sono stati ottenuti con i substrati trattati con idrossido di calcio e, conseguentemente, per essi le percentuali di recupero di fosforo sono state maggiori.

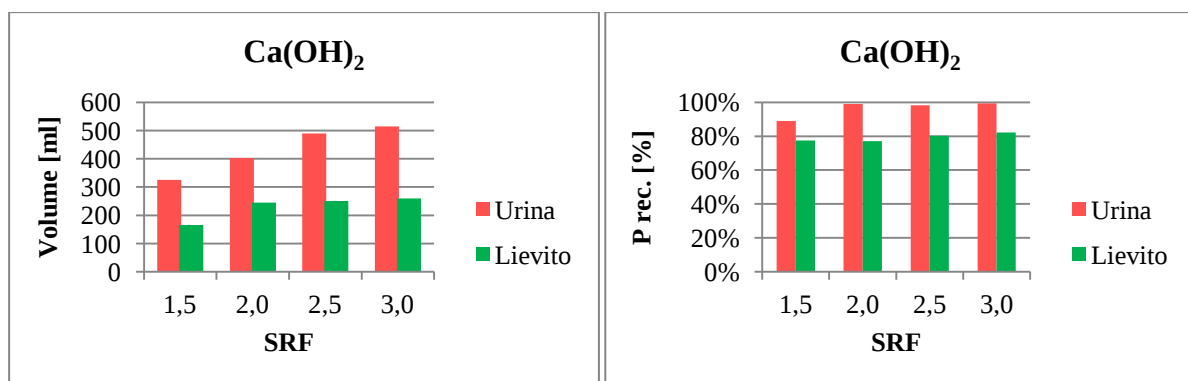


Fig.1: Volumi di fango e percentuali di fosforo recuperato

Dal punto di vista della semplicità/economicità di trattamento, invece, i risultati delle operazioni di centrifugazione e filtrazione sono stati analizzati. Essi hanno evidenziato che la prima è

conveniente per entrambi i substrati trattati con idrossido di calcio, mentre la seconda è preferibile per l'urina trattata con idrossido di magnesio e per il secondo substrato precipitato con idrossido di calcio. I risultati sono visibili nelle figure 2 e 3, in cui sono riportate le percentuali di liquido estratto dal fango con la centrifugazione e le percentuali di fosforo recuperato grazie alla filtrazione.

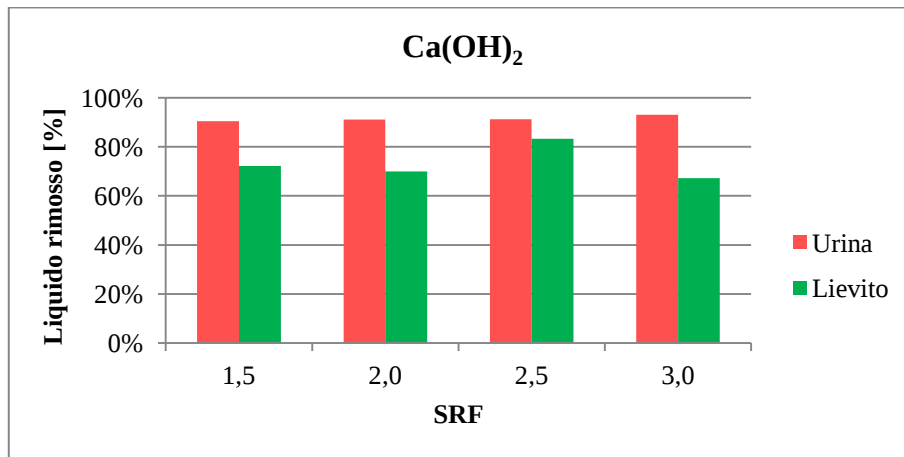


Fig.2: Percentuali di liquido estratto mediante la centrifugazione

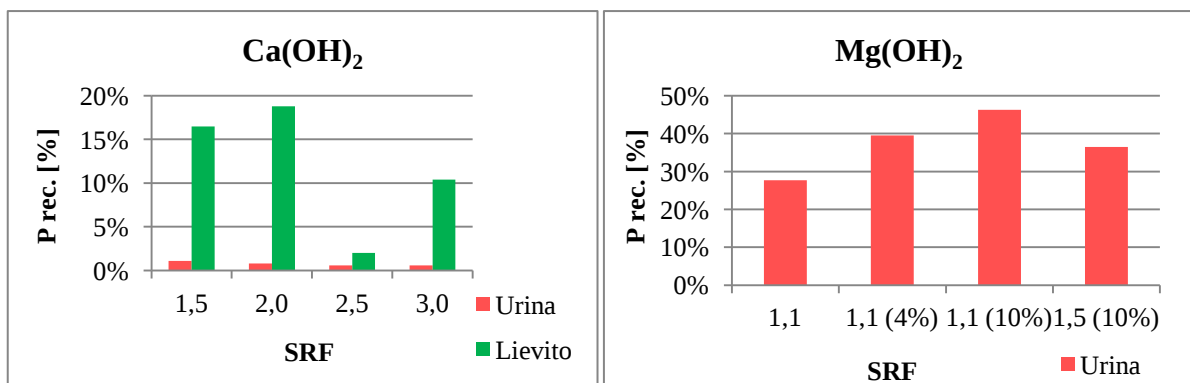


Fig.3: Percentuali fosforo recuperato mediante la filtrazione

In conclusione, l'urina biologicamente trattata rappresenta una buona fonte di fosforo riutilizzabile come fertilizzante.