

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL  
TERRITORIO**

**Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale**

**Tesi di Laurea  
in  
Ingegneria Sanitaria Ambientale**

**Analisi ed evoluzione storica dei trattamenti per la rimozione  
del fosforo dai reflui civili**

**RELATORE**  
Prof. Ing. Gianpaolo Rotondo

**CANDIDATO**  
Laura Clarizia matr. 518/570

**CORRELATORE**  
Dott. Ing. Antonio Panico

Anno Accademico 2009 – 2010

## ***Introduzione***

L'intento di questo lavoro è illustrare l'importanza crescente, e troppo spesso sottovalutata dalle istituzioni locali, che sostanze quali il fosforo e l'azoto stanno assumendo nell'impatto con l'ambiente.

A differenza dei trattamenti di rimozione dell'azoto dai reflui civili, ormai ben consolidati in ambito depurativo, la defosfatazione risulta ancora in fase di sperimentazione. Numerose sono state le innovazioni apportate negli ultimi decenni, che vengono approfondite nel corso dell'elaborato.

## ***Il fosforo nei reflui civili***

Il fosforo, come l'azoto, è un elemento fondamentale per la crescita biologica, soprattutto di specie vegetali. Ridurre i quantitativi immessi nei corpi idrici da concimazioni fosfatiche, da scarichi civili, industriali e zootecnici, permette di controllare fenomeni di abnorme crescita algale, ed evitare così condizioni di eutrofizzazione del sistema acquatico. La fonte preponderante d'inquinamento fosfatico è rappresentata dai reflui urbani: in essi il fosforo è presente sotto forma di ortofosfati (40%), polifosfati (30%) e fosforo organico (30%).

In Italia, i limiti sulle concentrazioni di nutrienti negli scarichi sono definiti dal Decreto Legislativo n° 152 del 03/04/2006 (*Norme in materia ambientale*), mentre il contenuto massimo di fosforo nei detergenti sintetici è stabilito dal Decreto Legislativo del Presidente della Repubblica n° 21 del 06/02/2009 (*Limitazioni nell'uso di detergenti contenenti fosforo*).

## ***Tecniche di rimozione del fosforo dalle acque reflue***

Il fosforo è generalmente presente nei liquami in forma solubile. Soltanto il 15% circa del fosforo totale contenuto nelle particelle sedimentabili può essere rimosso mediante sedimentazione primaria senza addizione di sali metallici. Di conseguenza i tradizionali metodi di rimozione sono basati sul passaggio del fosforo solubile ad una fase solida e completati dalla separazione solido-liquido. Il passaggio allo stato solido può avvenire mediante:

- ❖ precipitazione chimica e assorbimento del fosforo tramite aggiunta di sali metallici trivalenti;
- ❖ processi biologici;
- ❖ tecniche fisico-chimiche alternative (metodo elettrolitico, cristallizzazione, separazione magnetica e adsorbimento).

## Rimozione chimica del fosforo

La precipitazione chimica del fosforo venne applicata ai processi depurativi a partire dagli anni sessanta in Svizzera, immettendo i composti chimici nei convenzionali impianti di trattamento biologici, a monte della chiarificazione primaria (Stumm, 1996; Boller, 1993). La possibilità di rimuovere il fosforo dalle acque di scarico è legata alla presenza di tale elemento in gran parte sotto forma di anioni, capaci di combinarsi con cationi bi e trivalenti per dare fosfati insolubili.

I composti maggiormente utilizzati per la precipitazione chimica sono:

- ❖ sali di ferro ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ );
- ❖ sali di alluminio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ ];
- ❖ calce [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ].

Tali composti, esercitando un'azione flocculante, consentono di rimuovere anche una notevole aliquota di solidi sospesi a cui sono associate le altre forme di fosforo.

In base al punto d'immissione dei reagenti nell'impianto è possibile distinguere diversi schemi di processo:

1. Precipitazione diretta
2. Pre-precipitazione
3. Precipitazione simultanea
4. Post-precipitazione

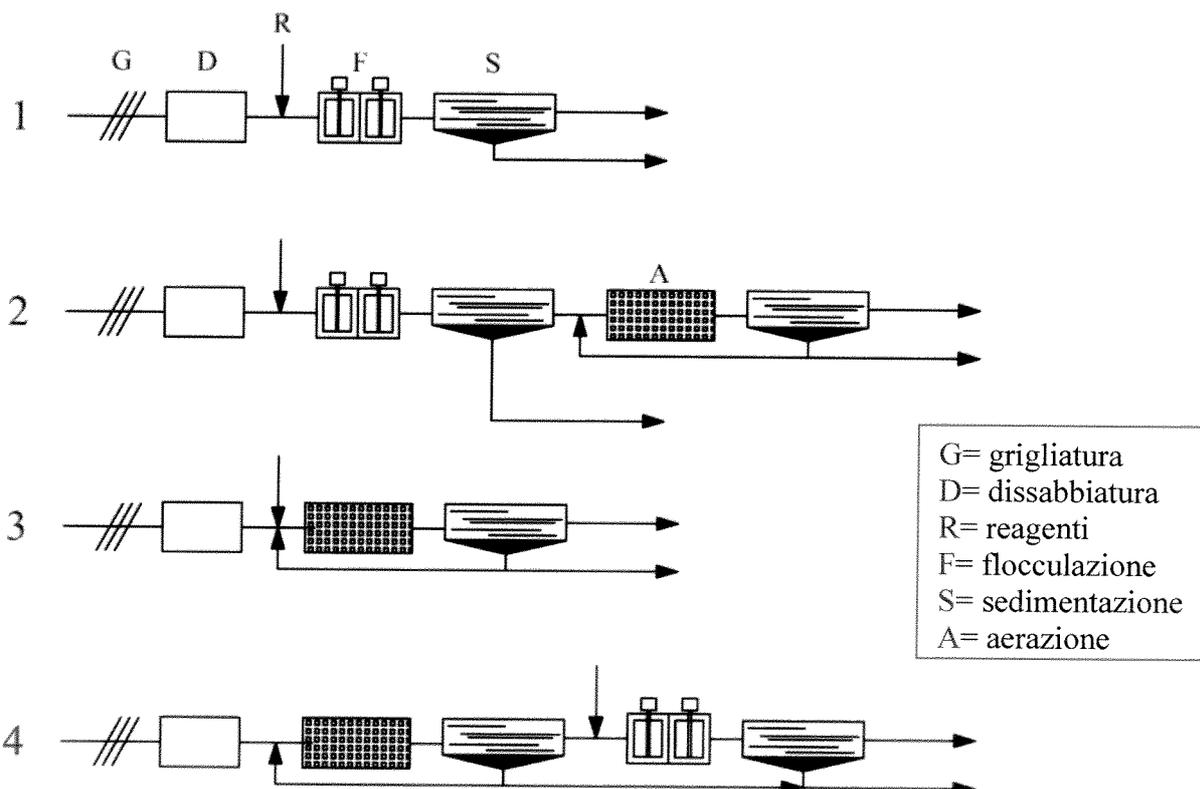


Figura 1 – Schemi di processo per la precipitazione chimica del fosforo

## ***Rimozione biologica del fosforo***

La definizione “processi biologici di rimozione del fosforo” (*Biological Phosphorus Removal*, BPR) si riferisce ai trattamenti biologici in cui, sottoponendo la biomassa ad una ciclicità anaerobica/aerobica, si induce la selezione di batteri fosforo-accumulanti (*phosphorus accumulating organisms*, PAOs), in grado di immagazzinare all'interno della cellula quantità di fosforo in eccesso rispetto alle normali esigenze metaboliche.

In un impianto convenzionale a fanghi attivi trattante liquami domestici e rivolto al solo smaltimento della sostanza organica biodegradabile in condizioni aerobiche, si ha comunque una parziale rimozione del fosforo (20-30%); il contenuto di quest'ultimo nei fanghi di supero è pari al 2-3% (su base secca). Utilizzando invece un impianto che preveda anche una fase specifica di trattamento del fosforo, si possono ottenere rendimenti molto elevati (90%), con un contenuto di tale elemento nei fanghi di supero pari al 5-9% (su base secca).

I sistemi di rimozione biologica esaminati utilizzano tutti reattori a biomassa sospesa. Essi possono essere classificati in due categorie principali:

- ❖ *full stream*, che sottopongono ad aerobiosi ed anaerobiosi l'intera portata del liquame;
- ❖ *side stream*, che operano l'anaerobiosi su un'aliquota della portata dei fanghi di ricircolo.

Un esempio di processo *full stream* è rappresentato dallo schema "A/O" (acronimo di "Anaerobic/Oxic"), introdotto da Barnard nel 1974, che consiste semplicemente in un reattore anaerobico seguito da un reattore aerobico (Figura 2). Questa configurazione impiantistica è particolarmente indicata qualora sia sufficiente la sola rimozione del fosforo.

Il suddetto processo può essere modificato per rimuovere anche l'azoto (Figura 3): in questo caso viene introdotta anche una fase anossica, destinata principalmente alla denitrificazione. Tale stadio ha la funzione di rimuovere con elevata efficienza il carico di nitrati derivante dall'immissione di una portata ricca di nitrati proveniente dallo stadio aerobico, minimizzandone la quantità alimentata alla zona anaerobica con il ricircolo del fango attivo.

È tuttavia possibile utilizzare la fase anossica del processo anche per l'assunzione del fosforo da parte dei batteri fosforo accumulanti: una frazione dei batteri PAOs è infatti in grado di operare in condizioni anossiche equivalentemente a quelle aerobiche, anche se con velocità di reazione diverse, assumendo fosforo e consumando le riserve interne di carbonio.

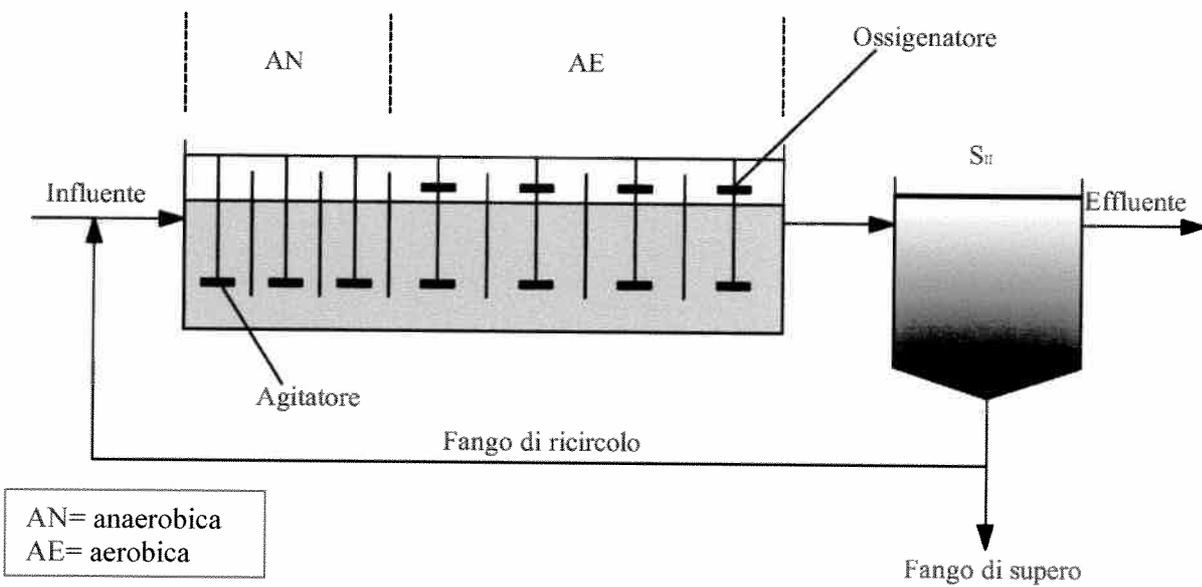


Figura 2 - Diagramma di flusso del processo A/O per la rimozione biologica del fosforo

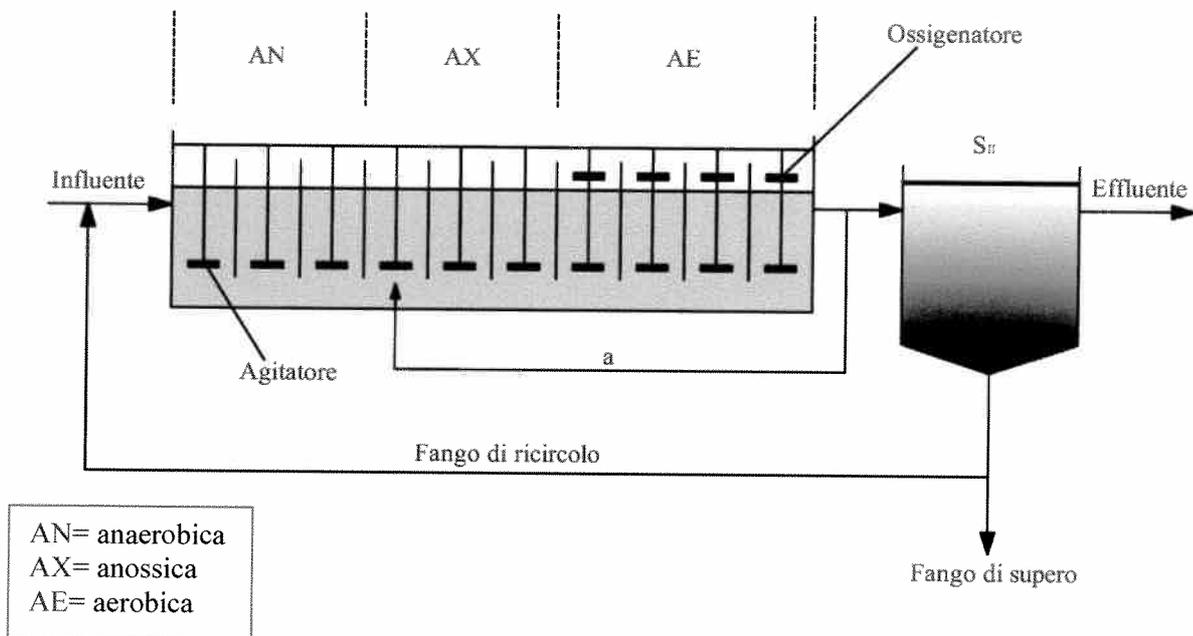


Figura 3 - Diagramma di flusso del processo A<sup>2</sup>/O per la rimozione biologica di azoto e fosforo

## *Conclusioni*

Negli ultimi decenni abbiamo assistito all'affermazione dei processi biologici rispetto a quelli strettamente chimici. Il cambiamento di tendenza è riferibile, a parità di rendimento depurativo, alla "spontaneità" con cui i trattamenti di natura biologica si sviluppano.

Essi risultano caratterizzati da:

- ❖ un minor numero di operazioni e l'esecuzione di più processi contemporaneamente;
- ❖ una riduzione complessiva dei costi.

In compenso i processi biologici risultano piuttosto delicati e complessi da gestire: innanzitutto, prima di funzionare a regime, richiedono tempi di maturazione di alcune settimane, variabili a seconda delle condizioni climatiche e delle caratteristiche qualitative del liquame; inoltre è di primaria importanza il controllo dell'aerazione per garantire la sopravvivenza delle specie batteriche responsabili dei processi microbiologici.

I trattamenti chimici, seppur più immediati e di facile gestione, presentano problematiche relative a:

- ❖ l'impatto dei reagenti, non rimossi o eccedenti;
- ❖ i costi.

Una conferma è fornita dall'impianto in piena scala di Bonnybrook, nella città di Calgary (Canada), che alla fine degli anni ottanta è passato dalla rimozione chimica del fosforo, effettuata con sali di alluminio, all'adozione della tecnologia BPR, registrando essenzialmente una riduzione delle spese e una migliore qualità dell'effluente.