

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
“FEDERICO II”**



**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

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

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA E AMBIENTALE

**TESI DI LAUREA**

**Consumi energetici negli impianti di depurazione**

Relatore  
**Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi**

Candidato  
**Corinna Maria Grottola**  
Matricola 518\506

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

## *Consumi energetici negli impianti di depurazione*

Uno dei problemi primari nelle società progredite è sviluppare e gestire infrastrutture di servizio che consentano livelli di qualità della vita accettabili in un contesto ove l'utente percepisce sempre più la necessità di scelte sostenibili in termini non solo economici, ma anche ambientali ed etici.

La depurazione delle acque fognarie è una necessità che può essere affrontata in tutti gli stadi del ciclo di vita del refluo che viene inserito nella rete, e dopo opportune fasi di trattamento e trasporto, restituito all'ambiente stesso.

Nell'ultimo ventennio, l'evoluzione dei processi di depurazione delle acque reflue è avvenuta sia sotto l'aspetto vincolante delle normative e sia per l'utilizzo di tecnologie consolidate ed affidabili, ad alta efficienza. Il problema è l'individuazione di strategie compatibili con la sostenibilità ambientale, da parte dell'operatore del settore, e con conseguente riduzione dei costi.

Uno dei principali fattori di costo e di possibile razionalizzazione, è l'energia utilizzata nei processi di depurazione. Di particolare interesse è quello del contenimento della spesa energetica, ovvero ridurre l'emissione di anidride carbonica in atmosfera.

Come per altri sistemi di gestione, anche un impianto di depurazione prevede una serie di voci di gestione, con relativo costo:

- personale,
- energia,
- gestione e manutenzione delle apparecchiature,
- costo dei reagenti,
- smaltimento fanghi.

La seconda voce, ovvero quello del consumo energetico delle varie fasi di processo, è un fattore variabile in relazione alle potenzialità dell'impianto e alle tariffe energetiche adottate nei vari paesi. Infatti, lo scenario del mercato dell'energia cambia per ogni paese membro dell'UE, che adotta diverse politiche energetiche a seconda degli incentivi e misure legislative disponibili agli stessi.

Di seguito è riportato un quadro riassuntivo relativo ai costi totali di gestione, di impianti di depurazione delle principali nazioni europee:

Paese	Costo totale di gestione (€/A.E./anno)	
	Valore medio	Intervallo
<b>Svizzera</b>	24	----
<b>Germania</b>	24	13-45
<b>Austria</b>	13	5-30
<b>Danimarca</b>	32	----
<b>Francia</b>	35	----
<b>Olanda</b>	20	----
<b>Italia</b>	19	5-30

Mediamente, le incidenze percentuali delle diverse Fasi del Ciclo di Trattamento sul costo complessivo sono quelle rappresentate nella seguente Tabella.

Sezione/Fase	Incidenza sul consumo energetico totale
Pre-trattamenti e sedimentazione primaria	8 %
Pre-denitrificazione	9 %
<b>Aerazione</b>	<b>52 %</b>
Sedimentazione finale	6 %
Defosfatazione	12 %
Fasi di trattamento del fango	10 %
Altro	3 %

Come si osserva, la **fase di aerazione è quella maggiormente energivora**, con un consumo che si attesta tipicamente tra il 45÷55% del consumo totale dell'impianto. In tali condizioni, è evidente che sia proprio tale fase su cui sono concentrate le maggiori attenzioni per eddivenire ad un significativo risparmio energetico, attraverso i seguenti provvedimenti:

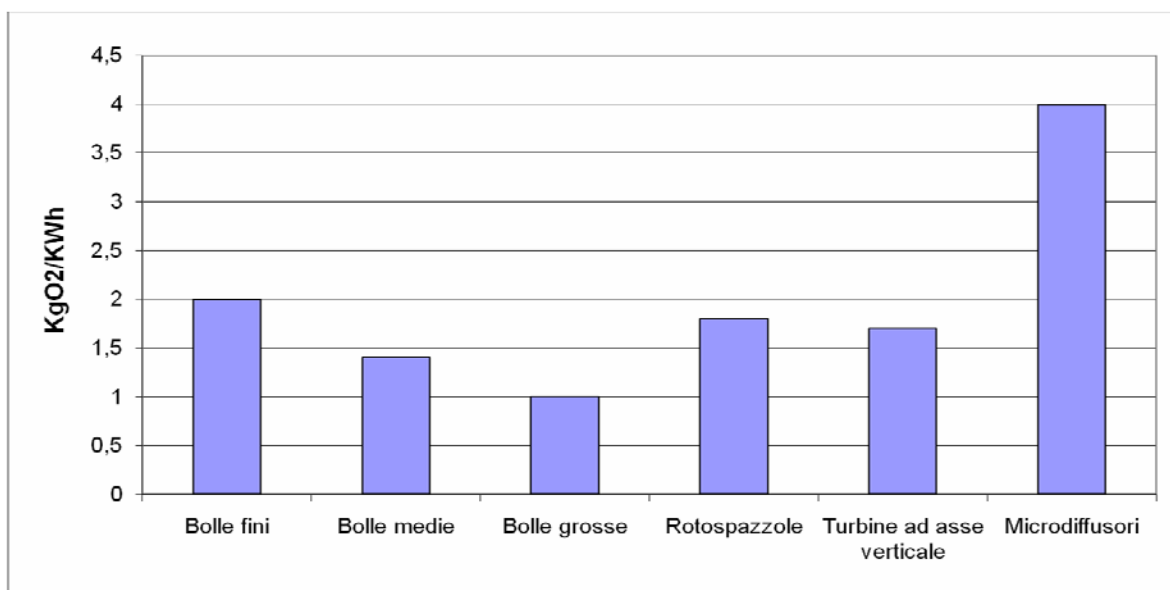
- 1- apparecchiature e dispositivi elettromeccanici di nuova generazione, ad alta efficienza energetica
- 2- manutenzione accurata dei dispositivi di aerazione
- 3- sistemi di automazione e controllo
- 4- processi vantaggiosi dal punto di vista energetico

Relativamente al primo aspetto, le attenzioni si sono incentrate, soprattutto, verso l'utilizzo sia di sistemi innovativi di insufflazione dell'ossigeno a bolle fine che di soffianti nuova generazione.

Il vantaggio dei sistemi a bolle fini è legato al fatto che con piccole dimensioni delle bolle aumenta fortemente la superficie di contatto liquido/gas, e di conseguenza il rendimento di dissoluzione dell'O<sub>2</sub> (vedasi tabella sottostante).

Dimensioni della bolla d'aria	Rendimento di dissoluzione dell'O <sub>2</sub> (%)	Apporto di ossigeno (gO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> .m)	Potenza richiesta (Wh/m <sup>3</sup> .m)
Bolle fini	11-14	12	5,5-6
Bolle medie	6-7	7	5-5,5
Bolle grosse	4-5,5	6	5-5,5

I vantaggi conseguibili si rilevano dall'esame della Figura successiva.



Per quanto riguarda le soffianti, la novità più interessante è costituita dalla recentissima diffusione della tecnologia *a vite*, che consente di risparmiare fino al 30% di energia elettrica rispetto alle soffianti a lobi.

Drastiche riduzioni dei consumi energetici si hanno anche con una costante e opportuna manutenzione delle apparecchiature e dei dispositivi di aerazione. In particolare, per i diffusori, sia a disco che tubolari, è opportuno realizzare periodiche pulizie, poiché i fori che consentono la fuoriuscita delle bolle, potrebbero essere soggetti ad intasamento e quindi ridurre l'efficienza di dissoluzione dell'O<sub>2</sub> in vasca.

Grazie allo sviluppo combinato di strumentazioni elettroniche, tecnologie informatiche ed operative e conoscenza dei processi di depurazione, oggi è pensabile arrivare al completo controllo

automatizzato di un impianto. Oltre che per individuare in tempo reale guasti e disfunzioni, è possibile utilizzare il sistema per ottimizzare l'uso di energia, volumi e risorse. La necessità di introdurre l'automazione è dovuto al fatto che:

- il processo non opera mai in stato stazionario perché l'influente cambia continuamente, sia in portata che in composizione;
- le condizioni ambientali cambiano con ritmo giornaliero e stagionale;
- le prestazioni richieste cambiano con la situazione ambientale e del corpo idrico recettore.

L'automazione del processo depurativo si pone i seguenti obiettivi:

- ottimizzazione del rendimento depurativo in ogni condizione di funzionamento;
- incremento dell'affidabilità e del rispetto dei limiti di legge attraverso il monitoraggio ed il controllo coordinato delle varie unità di processo;
- controllo di ogni singolo parametro di interesse con logiche "fuzzy".

La possibilità di regolare il set point dell'ossigeno in funzione dell'effettivo fabbisogno della biomassa conduce ad un diverso consumo energetico rispetto al caso in cui il set point sia fisso.

Consistenti risparmi energetici possono essere ottenuti anche utilizzando processi convenienti da tale punto di vista. Significativi, a riguardo, sono quelli, ampiamente consolidati, ottenibili dall'uso del biogas o quelli, più innovativi, che prevedono il ricorso all'adozione di processi meno costosi per la rimozione dei composti dell'azoto.

La produzione del biogas si ha, come è noto, soprattutto nell'ambito del processo di digestione anaerobica, ove la sostanza organica viene, in parte, trasformata in Biogas, ovvero in una miscela gassosa, costituita prevalentemente da: Metano  $\text{CH}_4$  al 50-70%; Biossido di Carbonio  $\text{CO}_2$  25-40%; altri componenti minori, quali  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , vapore acqueo.

Il potere calorifico del biogas è mediamente di circa  $23.000 \text{ kJ/m}^3$  (circa  $5.500 \text{ kcal/m}^3$ ), che confrontato con quello del metano  $36.000 \text{ kJ/m}^3$ , pari a circa  $8.500 \text{ kcal/m}^3$ , ne giustifica le interessanti possibilità di utilizzo energetico.

Per la produzione combinata di energia elettrica e termica, è possibile installare, a valle della produzione di biogas, un cogeneratore. La cogenerazione è una tecnologia che consente di incrementare l'efficienza energetica complessiva di un sistema di conversione di energia. Quest'ultima energia è quella necessaria per gli autoconsumi interni del depuratore (riscaldamento dei fanghi, energia elettrica dei vari processi depurativi).

Le nuove normative energetiche che incentivano la produzione e quindi la vendita di energia da fonti rinnovabili, hanno modificato la concezione e la progettazione delle nuove tipologie impiantistiche.

Ciò comporta ulteriori vantaggi facilmente monetizzabili, in quanto la vendita del surplus dell'energia e dei certificati verdi (validi in Italia per 8 anni) consente al proprietario di ricevere annualmente introiti, che a loro volta riducono e in alcuni casi dimezzano i tempi di ritorno dell'investimento rispetto alle vecchie tipologie d'impianto

#### **4.2 PROCESSO DI RIMOZIONE DELL'AZOTO CONVENZIONALE/ SISTEMA SHARON-ANAMMOX**

Relativamente all'azoto, va considerato che il processo classico di nitrificazione avviene attraverso una prima ossidazione dell' $\text{NH}_4^+$  a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e in una successiva ossidazione, svolta da un altro gruppo di batteri, del nitrito a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e successivamente attraverso la denitrificazione si arriva all'azoto in forma semplice  $\text{N}_2$ . Il tutto avviene attraverso le seguenti reazioni:

ossidazione di ammoniaca a nitrito



ossidazione di nitrito a nitrato



Il sistema Sharon-Anammox (ancora in fase sperimentale), consente di ridurre il consumo di  $\text{O}_2$ , saltando un passaggio, ovvero l' $\text{NH}_4^+$  viene trasformato in  $\text{NO}_2^-$  e poi direttamente  $\text{N}_2$ .



Da tali reazioni è possibile, poi, ricavare il valore di ossigeno richiesto per:

- **Ossidazione completa dell'ammoniaca a nitrati = 4,57 g  $\text{O}_2$ /g N- $\text{NH}_4^+$**
- **Ossidazione completa dell'ammoniaca in azoto semplice = 2 g  $\text{O}_2$ /g N- $\text{NH}_4^+$**

Con l'utilizzo del secondo processo si arriva ad un guadagno di circa 2,57 g  $\text{O}_2$ /g N- $\text{NH}_4^+$