

Tecniche di rilevazione dei guasti nei processi di depurazione biologica

Prof. Stefano Marsili Libelli,
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione,
Università degli Studi di Firenze
stefano.marsilibelli@unifi.it

1 Introduzione

L'automazione degli impianti di trattamento riveste un'importanza sempre maggiore nel rispettare la normativa vigente in materia di scarichi (D.Lgs. 152/06) e garantire una continua efficienza dell'impianto. Una buona automazione integrata deve essere in grado di garantire diversi obiettivi concorrenti: garantire un effluente nei limiti di legge, contenere al massimo i consumi energetici e contrastare/prevenire situazioni critiche in cui può trovarsi l'impianto. Questi obiettivi possono essere raggiunti solamente se il sistema di controllo può fare affidamento su un flusso di dati continuo ed affidabile.

Scopo di questa panoramica è l'illustrazione delle tecniche di rivelazione dei guasti che possono verificarsi in un impianto di depurazione biologica, la cui strumentazione sta diventando allo stesso tempo più complessa e più importante, da cui la necessità di aumentarne l'affidabilità.

La Figura 1 mostra la catena di monitoraggio che supervisiona il funzionamento di un impianto di depurazione. Per semplicità si è tralasciata la connessione, peraltro sempre più frequente, verso un eventuale centro servizi remoto che sovrintende ad un sistema di impianti attraverso una rete aziendale. In questo contesto si suppone per semplicità che la rivelazione dei guasti sia affidata allo SCADA locale.

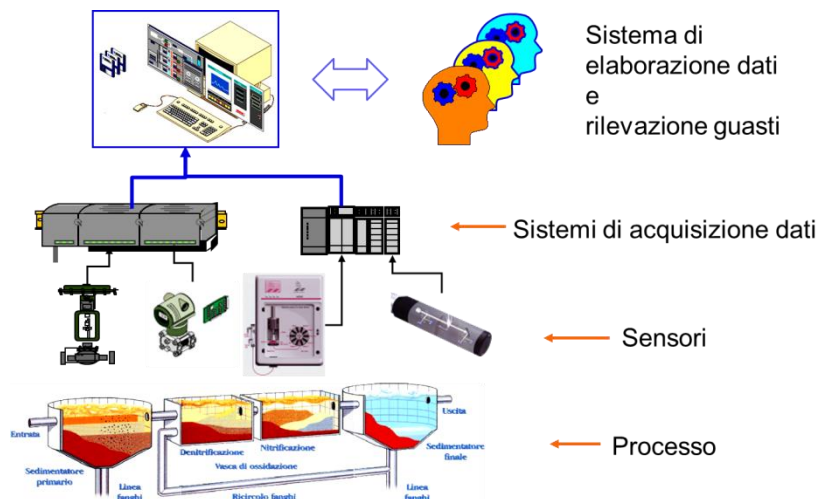


Figura 1. Catena di monitoraggio di un impianto di depurazione.

In tal caso esso dovrà essere dotato di un apposito software aggiuntivo di riconoscimento e segnalazione guasti, che è appunto l'argomento di questa memoria.

2 Logica di rilevazione e riconoscimento dei guasti

La Figura 2 mostra come la logica di riconoscimento dei guasti si articola su tre fasi distinte, di cui le prime due sono essenziali, mentre la terza può essere vista come un raffinamento del risultato prodotto dalle due precedenti. I dati provenienti dal campo, eventualmente dopo filtraggio e condizionamento, sono sottoposti ai seguenti trattamenti:

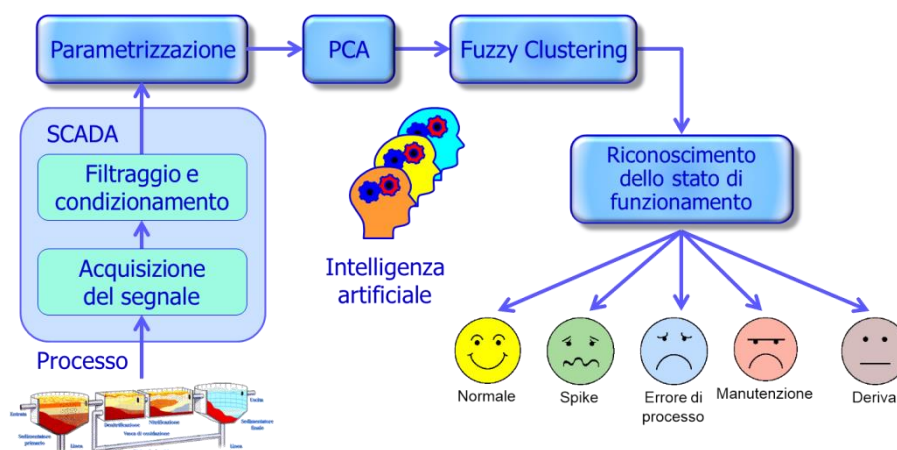


Figura 2. Processo logico di rilevazione dei guasti.

2.1 Parametrizzazione

Questo stadio preliminare serve ad individuare quali informazioni contenute nei dati si rivelano più significative per l'individuazione del guasto, ad esempio potrebbe essere rilevante il superamento di certe soglie oppure la velocità di variazione di una certa variabile.

2.2 Principal Component Analysis (PCA)

È una tecnica per ottimizzare la rappresentazione dei dati in modo da eliminarne l'eventuale ridondanza e se necessario ridurre la dimensionalità. Questa fase serve essenzialmente per massimizzare le differenze di comportamento rilevabile dai dati e distinguere fra funzionamento "normale" e/o genericamente "difettoso". La discriminazione fra tali comportamenti viene decisa da uno o più indicatori, per i quali si devono fissare degli opportuni valori di soglia determinati sperimentalmente per ciascuna applicazione.

2.3 Fuzzy Clustering (FC)

Questa tecnica di raggruppamento associa elementi simili in base al loro grado di somiglianza, definito sui parametri definiti al punto 2.1. Recentemente si è dimostrato che algoritmi di raggruppamento basati sulla logica fuzzy sono in grado di produrre associazioni più flessibili, risolvendo situazioni ambigue (borderline). Tale fase serve per discriminare diversi tipi di guasto ed aggiungere dettaglio alla rilevazione.

Quest'approccio multi-stadio è reso necessario dalle caratteristiche dei dati tipici degli impianti di depurazione, che oltre ad essere molto numerosi, sono non stazionari, possiedono non linearità non sempre compensate e sono spesso autocorrelati e perciò ridondanti. Queste caratteristiche rendono inefficaci le normali tecniche di controllo statistico di processo. Al loro posto vengono impiegate le suddette tecniche combinate PCA/FC che paragonano il comportamento osservato con quello atteso sulla base di previsioni statistiche, confrontando il funzionamento corrente con comportamenti "tipici", precedentemente definiti sulla base di registrazioni di funzionamenti riconosciuti come "normali" o "difettosi".

3 Applicazioni

Si passano ora in rassegna alcune applicazioni di questa tecnica a dei casi concreti, nei quali si è ottenuto un notevole incremento di affidabilità a fronte di un limitato costo di sviluppo e senza la necessità di aggiungere hardware specialistico alla strumentazione di processo. Le applicazioni che verranno esaminate sono il frutto di collaborazioni sia con altre sedi accademiche che con realtà industriali del settore dei servizi, prevalentemente gestori del servizio idrico integrato. Esse

riguardano in ogni caso delle realizzazioni completamente ingegnerizzate e funzionanti con successo.

3.1 Diagnosi di sovraccarico di un digestore anaerobico:

Questa applicazione fu sviluppata nell'ambito del progetto europeo CE EV5V-CT92-0233, in collaborazione con diverse università europee (Università di Gent, B; Università di Glamorgan, UK; Politecnico di Milano, I) sotto la direzione del KFA Kernforschungszentrum, Julich (D). L'obiettivo del progetto era il miglioramento della robustezza operativa di un sistema complesso di depurazione biologica, comprendente diversi stadi, il primo dei quali era un digestore anaerobico, processo particolarmente vulnerabile ai sovraccarichi. Il malfunzionamento di questo stadio veniva rivelato da una variazione della produzione di biogas e del suo contenuto di idrogeno. Attraverso la tecnica del Fuzzy Clustering (Marsili-Libelli & Müller, 1996) furono individuati tre tipi di malfunzionamento (sovraccarico, sottocarico e presenza di sostanze tossiche). La Figura 3 mostra l'evoluzione nel tempo della reazione del sistema ad uno shock organico appositamente provocato, che parte dalla condizione "normale" e vi ritorna dopo aver percorso le varie condizioni alterate indotte dallo shock.

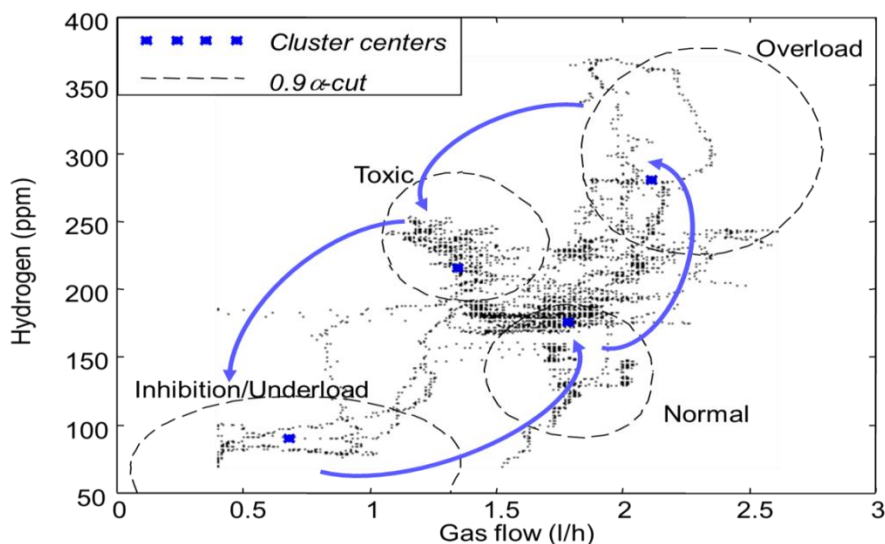


Figura 3. Evoluzione del malfunzionamento di un digestore anaerobico conseguente ad uno shock organico.

L'utilità di questo strumento diagnostico risiede nella possibilità di intervenire tempestivamente sul tipo di malfunzionamento apportando correzioni operative, come descritto dettagliatamente in Müller et al., 1997. Analoga tecnica è stata impiegata con successo per il controllo di un reattore SBR (Spagni & Marsili-Libelli, 2010).

3.2 Analisi di un evento di torbida (potabilizzazione)

Questa applicazione fu svolta in collaborazione con il servizio idrico e potabilizzazione del Comune di Firenze (ora Publiacqua SpA) ed aveva lo scopo di monitorare la qualità dell'acqua grezza derivata dal Fiume Arno e diagnosticare prontamente le caratteristiche dell'evento di torbida in modo da predisporre la catena di trattamento nel modo più opportuno. La tecnica qui impiegata consisteva in una combinazione PCA/FC al fine di massimizzare la discriminazione dei dati ed estrarne caratteristiche diagnostiche relative al tipo di torbida.

Si è così potuto individuare delle tendenze specifiche per ciascun componente dell'evento di torbida, come mostra la

Figura 4 dove il punto di funzionamento rappresentato nello spazio delle componenti principali, si sposta dal cluster 1 (normale) al 2 (torbida). In questo cluster si distinguono diverse linee di tendenza che indicano quale fattore è di volta in volta più importante. Ad esempio si nota il totale

disaccoppiamento fra portata di impianto e dosaggio del flocculante (direzioni ortogonali). Sovrapponendo l'evoluzione dell'evento di torbidità alle linee di tendenza di Figura 4, si può individuare la migliore sequenza nel tempo di azioni correttive, aggiustando così l'operatività dell'impianto durante l'evento. Lo sviluppo dell'algoritmo e la sua verifica sperimentale sono meglio descritti in Moscatelli et al. (2006).

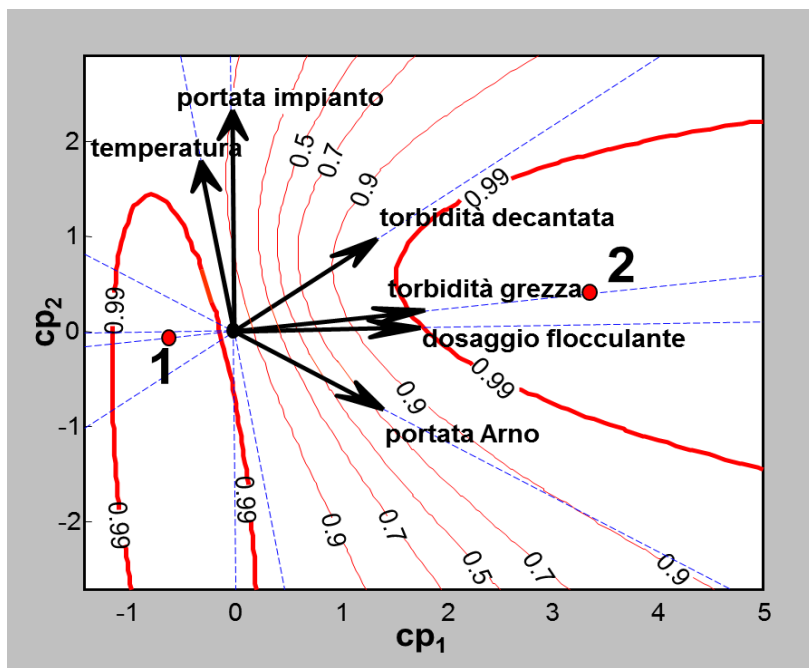


Figura 4. Linee di influenza dei fattori che caratterizzano l'evento di torbidità, rappresentate nello spazio delle componenti principali. Il cluster 1 rappresenta la condizione normale mentre il cluster 2 quella di torbida.

3.3 Analisi di guasto in un depuratore tradizionale (N/DN)

Questa applicazione, sviluppata in collaborazione con Acque Ingegneria srl (Acque SpA) aveva lo scopo di discriminare fra guasti sonda e malfunzionamenti di processo in un impianto di depurazione convenzionale con stadio di pre-denitrificazione. La Figura 5 mostra come attraverso le "contribution variables" ottenute dalla PCA sia possibile discriminare fra diversi tipi di guasto: il primo evento è provocato da un'anomalia di carico, mentre il secondo è dovuto ad un guasto alla sonda di ammonio. Questo metodo ha prodotto una diagnosi corretta nel 100% dei casi se la diagnosi veniva confermata a posteriori con cadenza settimanale, scendendo ad 84% nel caso di aggiornamenti mensili. Questa applicazione è descritta in Baggiani & Marsili-Libelli (2009).

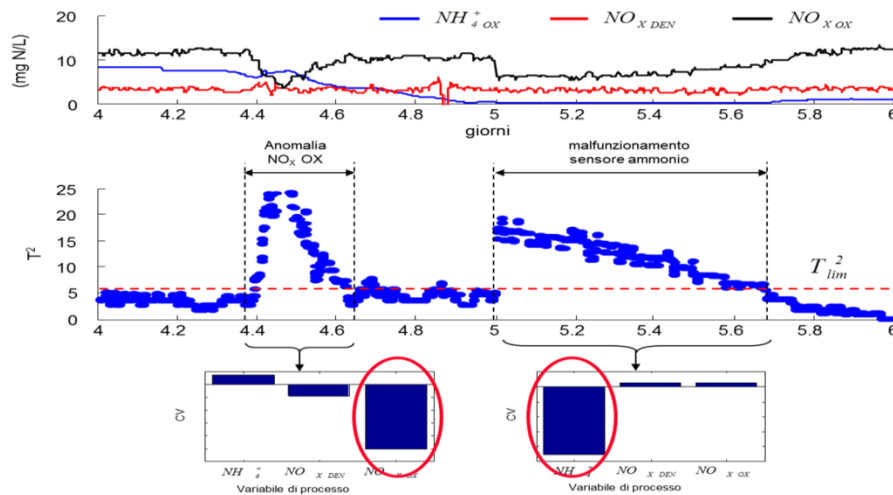


Figura 5. Discriminazione fra diversi malfunzionamenti di processo in un impianto di depurazione convenzionale.

3.4 Monitoraggio di un reattore biologico a membrana

Questo studio è tuttora in corso in collaborazione con il gruppo Biomath dell'Università di Gent (B) ed ha lo scopo di monitorare lo stato della membrana in un depuratore biologico che utilizza questa tecnologia al posto del sedimentatore tradizionale per la separazione dei fanghi biologici dall'acqua trattata. In questo studio sono stati impiegati tutti e tre gli stadi indicati in Figura 2: Parametrizzazione, PCA, FC. La variabile fondamentale per descrivere la condizione della filtrazione è la pressione di transmembrana (TMP), il cui ciclo tipico, consistente in filtrazione, rilassamento e contro-lavaggio è mostrato in Figura 6.

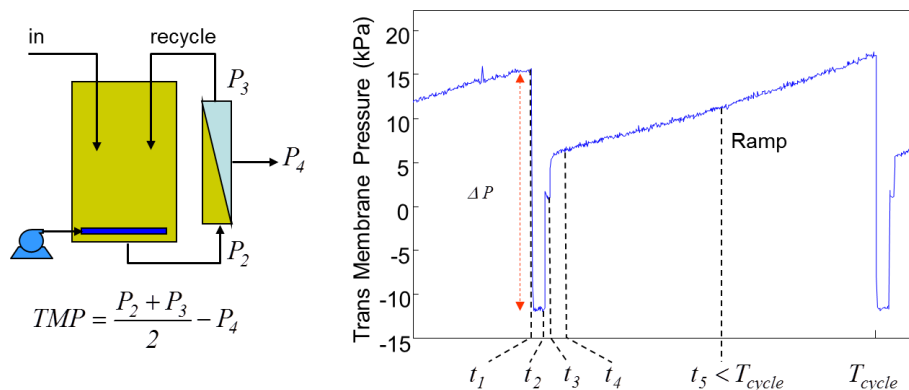


Figura 6. Definizione dei parametri di transmembrana (TMP) che ne descrivono la condizione.

Dopo aver raccolto oltre un anno di dati di funzionamento ed averne estratto i parametri indicati in Figura 6, se ne è aumentato il potere discriminante mediante PCA e successiva elaborazione con FC, individuando insiemi significativi, quali l'aumento della resistenza di filtrazione di tipo reversibile o irreversibile. Dalla Figura 7 si nota come l'evoluzione di ogni membrana sia diversa, ma come sia possibile seguirne il progressivo deterioramento fino alla sostituzione.

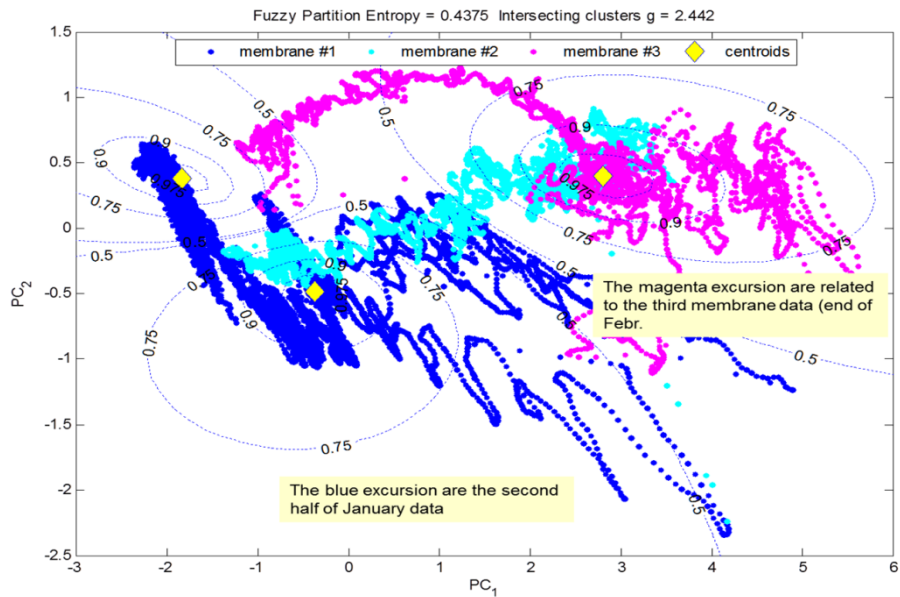


Figura 7. Clusterizzazione dei parametri di membrana trasformati mediante PCA.

La metodica ed i risultati di questo studio sono descritti in Maere et al., (2012).

3.5 Analisi di guasto in tempo reale in depuratori a cicli alternati

Questo studio è tuttora in fase di sviluppo in collaborazione con ETC-ENG srl (TN) ed ha lo scopo di individuare malfunzionamenti nei processi di depurazione biologica a cicli alternati. Per adesso si è considerata la misura dell'ammonio e come nel caso precedente si è effettuata una parametrizzazione del ciclo della sonda, mostrato in Figura 8 dove si nota che i parametri significativi sono le pendenze e le durate delle fasi anossica ed ossidativa.

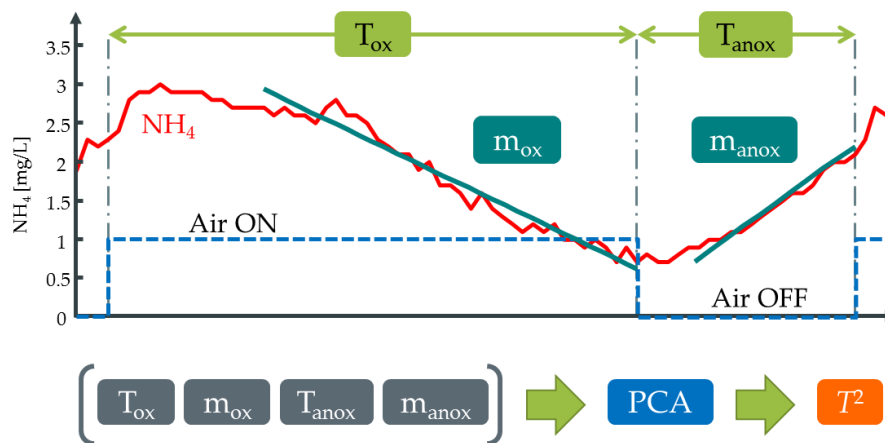


Figura 8. Parametrizzazione del ciclo della sonda ammonio.

Successivamente tali parametri sono stati trasformati mediante PCA e si sono definite tre soglie del valore del T^2 di Hotelling per definire diverse gravità di guasto, come mostrato in Figura 9.

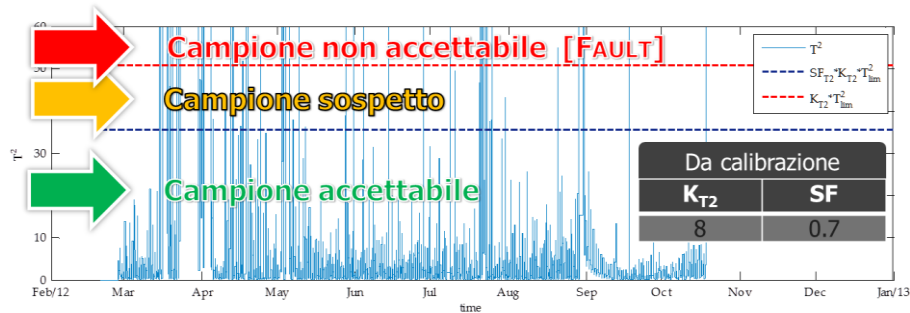


Figura 9. Valore dei T^2 e relative soglie utilizzate nella diagnosi.

Il sistema è stato implementato nella piattaforma real-time LabView (National Instruments) ed è attualmente in fase di test presso un depuratore municipale con una potenzialità di 100,000 AE.

4 Conclusioni

Questa breve rassegna ha avuto lo scopo di mostrare, attraverso alcuni esempi pratici, come sia possibile realizzare dei sistemi di rilevazione guasti (Fault Detection) da incorporare nello SCADA di impianto senza la necessità di acquisire hardware aggiuntivo, ma semplicemente adattando il processo logico di Figura 2 al caso in esame. Dopo aver individuato i parametri più significativi come indicatori di guasto ed aver allenato la logica con dati specifici, il sistema è in grado di rivelare il guasto ed eventualmente discriminare fra diversi tipi di malfunzionamento. Oltre alla semplice diagnosi, questo sistema può costituire il primo stadio di una catena di controllo volta a contrastare il guasto ed a minimizzarne le conseguenze sull'efficienza del processo.

5 Riferimenti bibliografici

- Maere T., Villez K., Marsili-Libelli S., Naessens W., Nopens I. (2012). Membrane bioreactor fouling behaviour assessment through principal component analysis and fuzzy clustering. *Water Research* **46**, 6132 - 6142.
- Spagni A., Marsili-Libelli S. (2010). Artificial intelligence control of a sequencing batch reactor for nitrogen removal via nitrite from landfill leachate. *J. of Environmental Science and Health Part A* **45**, 1085 - 1091.
- Marsili-Libelli S., (2010). Modelling and automation of water and wastewater treatment processes. *Environmental Modelling & Software* **25**, 613 - 615.
- Marsili-Libelli S., Maietti, G.M. (2008). Energy-saving through remote control of a wastewater treatment plant. Proc. 8th SIDISA *Simposio Internazionale di Ingegneria Sanitaria e Ambientale, Firenze 24 - 27 Giugno 2008*.
- Baggiani F., Marsili-Libelli S. (2009). Real-time fault detection and isolation in biological wastewater treatment plants. *Water Sci. Tech.* **60**, 2949 - 2961.
- Moscatelli, A., Rossi, L., Marsili-Libelli, S., Lubello, C. (2006). Diagnostica del processo di chiariflocculazione mediante tecniche di intelligenza artificiale. *Ingegneria Ambientale* vol. XXXV n. 9, 443 - 455.
- Marsili-Libelli S. (1998). Adaptive fuzzy monitoring and fault detection. *Int. J. COMADEM*, **1** (3): 31 -38.
- Marsili-Libelli S., Müller A. (1996). Adaptive fuzzy pattern recognition in the anaerobic digestion process. *Pattern Recognition Letters* **17**, 651 - 659.
- Müller A., Marsili-Libelli S., Aivasidis A., Lloyd T., Kroner S., Wandrey C. (1997). Fuzzy control of disturbances in a wastewater treatment system. *Water Research* **31**, 3157 - 3167.