

Telecontrollo degli impianti di trattamento reflui

Stefano Marsili-Libelli marsili@dsi.unifi.it – Dipartimento di Sistemi e Informatica,
Università di Firenze, Firenze

Riassunto

L'automazione degli impianti di trattamento delle acque reflue è considerata oggi come una delle nuove frontiere nello sviluppo di efficienti sistemi di depurazione, in grado di assicurare gli standard di scarico ed i contenimenti energetici richiesti. In questa memoria si esamina il problema dell'automazione di impianto sotto il profilo della tecnologia disponibile e della metodologia da utilizzare per progettare correttamente l'automazione di un impianto. Dopo aver passato in rassegna le innovazioni tecnologiche che permettono la realizzazione di un sistema di telecontrollo, si esamina uno studio di caso di un impianto convenzionale dove il telecontrollo ha portato significativi benefici in termini di risparmio energetico.

Summary

Wastewater treatment plant automation is now regarded as a fundamental tool for improving process efficiency, both in terms of effluent standard and energy conservation. This paper surveys the technological innovations which form the bedrock of reliable automation and then describes a case study of a conventional plant where the application of a monitoring and automation system has considerably improved its operation in terms of energy efficiency.

1. Introduzione

Negli ultimi anni sono stati proposti innovativi processi biologici per una sempre migliore rimozione degli inquinanti dalle acque di scarico. Contestualmente, si assiste ad una progressiva apertura del mondo dell'Ingegneria Sanitaria a competenze complementari, che possono portare sensibili vantaggi nella conduzione degli impianti per il trattamento delle acque. Fra queste rivestono una primaria importanza i metodi e le tecnologie proprie dell'automazione, che consentono di ottenere i rendimenti depurativi imposti dall'attuale normativa ed i risparmi gestionali richiesti dall'attuale crisi energetica. Che l'automazione si stia consolidando come componente fondamentale della progettazione e conduzione degli impianti di trattamento è confermato da recenti pubblicazioni internazionali [1, 2] e da una continuità di iniziative promosse dall'International Water Association (IWA) nel settore dell'automazione dei trattamenti acque, con l'organizzazione di conferenze specialistiche ICA (Instrumentation, Control and Automation) che si tengono con cadenza quadriennale ed i cui risultati sono diffusi mediante la letteratura specializzata [3, 4].

2. Componenti tecnologiche dell'automazione dei processi di trattamento

L'applicazione dell'automazione agli impianti di trattamento si basa sul contributo sinergico di tre settori tecnologici complementari:

- *Tecniche avanzate di automazione*, basate su modelli di processo evoluti e sistemi di controllo basati su metodi dell'intelligenza artificiale [1];

- *Strumentazione analitica di processo*, per la misura in tempo reale delle variabili critiche [2];
- *Sistemi di comunicazione digitale ed elaborazione di processo*.

I miglioramenti attesi dall'introduzione dell'automazione sono:

- 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.

L'importanza dell'automazione nel controllo dei depuratori biologici è ormai consolidata e ben riassunta in [1], mentre i progressi nelle conoscenze e nelle tecnologie disponibili sono descritti in [4], dove è stato dimostrato che l'impiego delle tecniche di automazione possono incrementare la capacità di rimozione dei nutrienti fino al 30% e che l'approfondimento delle conoscenze conseguente al loro impiego sta producendo un ulteriore avanzamento dei processi innovativi ed un miglior rendimento di quelli tradizionali. In particolare l'uso dell'automazione mette in luce un insieme di relazioni, altrimenti difficili da evidenziare, fra i parametri operativi di un impianto ed il suo rendimento. Sfruttando questo secondo livello di conoscenze si pensa di poter migliorare ancora i rendimenti depurativi di un ulteriore 30 – 50% nei prossimi 10 – 20 anni [6]. I progressi dell'automazione si basano sulla seguente serie di fattori:

2.1. Sensoristica

L'ottenimento di misure affidabili in continuo è essenziale per un efficace controllo del processo. Si è definitivamente affermata la filosofia della misura *in situ*, con strumenti installati a bordo vasca [2], e si è allargata la gamma di grandezze che possono essere misurate in linea [5, 6]. I parametri essenziali che oggi possono essere monitorati in modo affidabile e relativamente economico sono i seguenti:

- Portata, sia di processo che dei vari ricircoli interni
- pH, RedOx
- Ossigeno disciolto
- Azoto ammoniacale, Azoto nitrico e Fosforo inorganico nella vasca di ossidazione ed in uscita
- Densità solidi sospesi nella vasca di ossidazione
- Altezza del letto di fanghi del sedimentatore e densità dei fanghi in ricircolo.

2.2. Attuatori

C'è stato un continuo progresso per questi dispositivi di potenza ed oggi i motori elettrici a giri variabili tramite inverter sono largamente disponibili per azionare pompe e compressori. D'altra parte, la relazione fra il rendimento di questi attuatori e quello complessivo del processo non è stato ancora sufficientemente studiato.

2.3. Teoria del controllo basato su modelli

Strumenti potenti di analisi e di sintesi di sistemi di controllo sono oggi disponibili. Per quanto riguarda l'analisi, la modellistica di processo ha compiuto notevoli passi avanti ed attualmente viene utilizzato il modello di terza generazione ASM3 [7]. L'approccio Benchmark [8, 9], consistente nella normalizzazione della configurazione di impianto, degli ingressi e degli indici di prestazione, è ormai riconosciuto come un valido strumento per la progettazione del processo e per valutare la validità delle strategie di controllo in termini di costi, robustezza e rendimento. Recentemente, questa filosofia si sta estendendo all'intero impianto e si parla oggi di "plant-wide Benchmark", includendo processi ed unità aggiuntivi rispetto al nucleo originario ed estendendo la valutazione su orizzonti di lungo termine [9, 10].

Dal punto di vista della struttura del regolatore, sono oggi largamente impiegati i semplici ma efficaci regolatori Proporzionali - Integrali - Derivativi (PID) [11] e si assiste ad un sempre maggiore impiego di controllori avanzati, basati su tecniche di intelligenza artificiale, ad es. [12, 13].

Infine, le moderne tecniche di analisi dei dati forniscono degli efficienti metodi di diagnosi dei guasti, che accoppiati alla modellistica in tempo reale, permettono l'individuazione precoce dei malfunzionamenti [14].

2.4. Acquisizione dati

Si è notevolmente espansa rispetto al passato, anche recente, con software specifici disponibili per la raccolta ed il trattamento dei dati e potenti sistemi di comunicazione digitale (linee digitali e bus di campo) per collegare in modo efficiente i sensori dislocati nell'impianto, secondo l'attuale tendenza che privilegia la collocazione del sensore a bordo vasca [2] ed elaborazione locale della misura. Mentre nel passato disporre di un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) rappresentava il massimo traguardo, oggi esso è visto come la struttura di più basso livello, un punto di partenza su cui costruire un sistema di controllo che contenga algoritmi sofisticati di controllo, analisi dei guasti ed ottimizzazione.

3. Problemi tipici di automazione nei processi di depurazione

Dato che il processo non opera mai in stato stazionario a causa delle variazioni di portata e composizione dell'influyente, sia con ritmo giornaliero che stagionale, e che le prestazioni richieste cambiano con la condizione del corpo idrico recettore, è necessario un controllo in tempo reale per garantire che l'effluente sia entro i limiti di legge e che l'integrità dell'impianto e l'economicità della sua gestione vengano sempre garantite. Le difficoltà del controllo risiedono spesso nella necessità di armonizzare obiettivi contrastanti e nel fatto che le dinamiche di processo sono nonlineari e tempo-varianti.

Recentemente si è avuto un mutamento delle priorità di gestione che si riflette sulle specifiche di progetto e conduzione di impianto. Ad esempio, nel passato la capacità di aerazione era dimensionata sul carico carbonioso, mentre attualmente esso è dimensionato principalmente sul fabbisogno per la nitrificazione. Attualmente si considera che solo una parte del carbonio organico biodegradabile (CBOD) venga rimossa per via aerobica, mentre la rimanente parte (spesso oltre il 50%) venga utilizzata come fonte di carbonio nella fase anossica di denitrificazione. Questo porta ad

un collegamento fra la fase aerobica (abbattimento del CBOD e nitrificazione) e fase anossica (denitrificazione). Ciò dà origine ad un complesso problema di controllo costituito dal coordinamento del set-point di Ossigeno Disciolto (DO) in ossidazione e quello del nitrato in denitrificazione, come schematizzato nella Fig. 1. In un normale schema di processo di rimozione dell'azoto con pre-denitro, questo problema di automazione può essere risolto mediante un controllo gerarchico a due livelli, che realizza un coordinamento fra i regolatori dell'areazione (DO set-point) e nitrificazione (NO_3 set-point) attraverso un controllore di alto livello che ottimizza tali set-point in funzione del consumo energetico e dei limiti imposti dalla normativa all'effluente. La Fig. 2 mostra uno schema di controllo a due livelli che realizza la coordinazione fra nitrificazione e denitrificazione. I set-point di ciascun regolatore di basso livello sono coordinati dal regolatori di alto livello in modo da ottenere una prestazione globalmente ottimale delle reazioni rappresentate nello schema di Fig. 1.

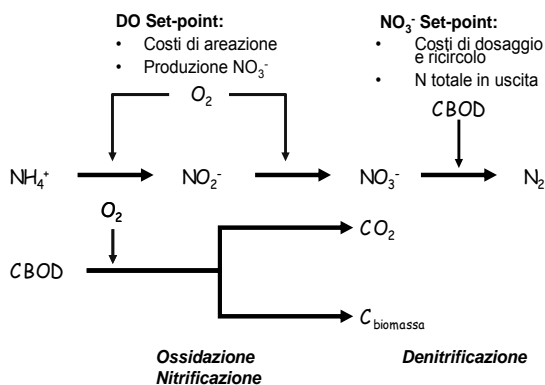


Fig. 1 - Interazione fra i processi di abbattimento del carbonio, nitrificazione e denitrificazione.

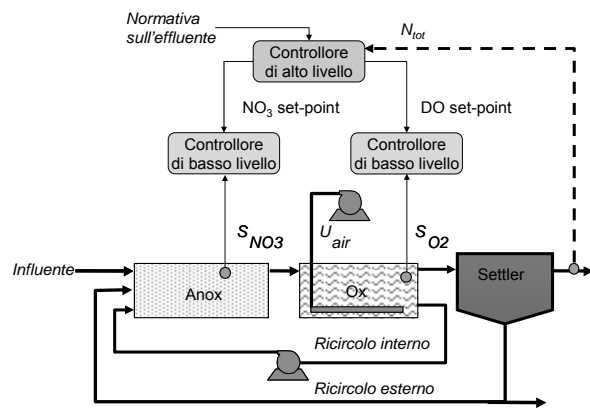


Fig. 2 - Controllo gerarchico a due livelli per il processo di Fig. 1.

4. Un'applicazione dell'automazione per il risparmio energetico

Il risparmio energetico sta diventando l'aspetto più importante nella gestione dei processi di depurazione e un considerevole sforzo di ricerca gli viene dedicato nel mondo [15]. A titolo esemplificativo, si riassume brevemente una realizzazione di telecontrollo presso un impianto per il trattamento di reflui misti di Acque Ingegneria srl, gestore del ciclo integrato dell'acqua nell'ATO 2 della Regione Toscana. Questa applicazione è il risultato di una convenzione fra Acque Ingegneria e il Dipartimento di Sistemi e Informatica per lo studio di soluzioni di telecontrollo per il risparmio energetico. Il monitoraggio del sistema avviene mediante un insieme di sensori collocati nei punti strategici dell'impianto e collegati ad un sistema locale di controllo (compact Field Point di National Instruments), come in Fig. 3. L'obiettivo della regolazione è quella di coordinare i processi di nitrificazione e denitrificazione, secondo lo schema di Fig. 1. Il sistema è strutturato in modo da realizzare il controllo gerarchico di Fig. 2, ma attualmente sono pienamente operativi solo i controllori di basso livello, relativi all'ossigeno disciolto. Ciascun loop di controllo dell'ossigeno disciolto è mostrato in Fig. 4, dove viene utilizzata la funzionalità PID interna al sistema di regolazione di potenza della turbina(ABB; Asea Brown Boveri). L'impostazione del set-point, che in futuro avverrà attraverso il sistema di regolazione di secondo livello, viene impostato manualmente mediante il compact Field Point.

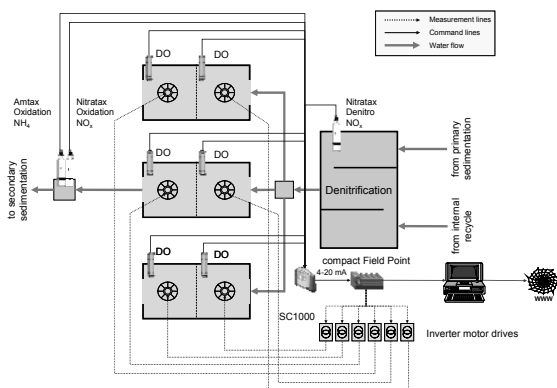


Fig. 3 – Disposizione dei sensori e configurazione del sistema di controllo.

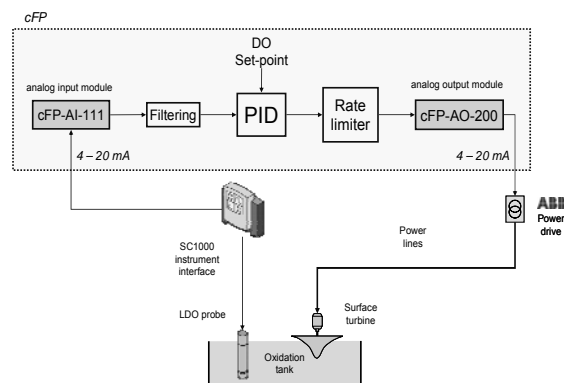


Fig. 4 – Schema di regolazione del singolo loop di ossigeno disciolto.

Attualmente lo stadio di pre-denitrificazione è unico, mentre l'ossidazione è ripartita in tre linee parallele, ciascuna alimentata da due turbine superficiali, come mostra la Fig. 3. Nelle vicinanze di ciascuna turbina è posto un misuratore di ossigeno disciolto e la regolazione di ciascuna turbina viene comandata dal segnale di ossigeno disciolto più vicino. Al sistema di controllo si può accedere da remoto tramite un normale browser per navigazione internet, utilizzando una connessione Virtual Private Network (VPN), che usa una porta nel sistema informatico di Acque SpA. In questo caso il compact Field Point dell'impianto svolge le funzioni di server e pubblica in rete l'immagine del pannello frontale del regolatore, sviluppato in ambiente LabView 8.20 (National Instruments). Se sul PC client è presente il modulo run-time della versione 8.20 di LabView, scaricabile gratuitamente dal sito National Instruments, è possibile visualizzare il pannello di controllo, mostrato in Fig. 5, ed interagire con esso, ad es. si possono variare i sei valori di set-point dell'ossigeno disciolto.

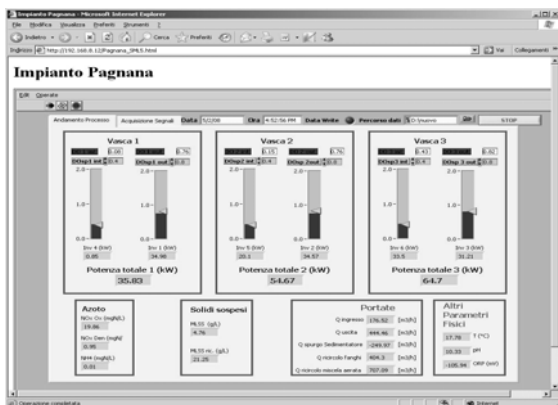


Fig. 5 – Pannello frontale del sistema di controllo, accessibile da remoto attraverso un normale collegamento internet.

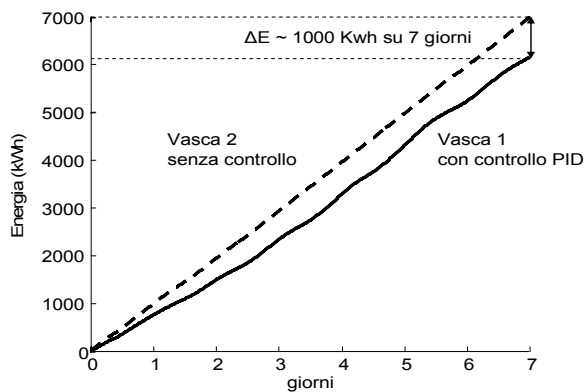


Fig. 6 – Risparmio energetico ottenuto in una settimana su una singola turbina mediante il controllo.

Il risparmio energetico ottenuto in una settimana di funzionamento sotto regolazione è mostrato in Fig. 6, dove si paragonano gli assorbimenti della vasca 1 (con regolazione) e della vasca 2 (a potenza costante).

5. Conclusioni

In questa breve rassegna si sono esaminati le caratteristiche fondamentali di un sistema di automazione applicato ai processi di depurazione delle acque. Si è mostrato che il successo dell'automazione è possibile grazie ai progressi tecnologici nel campo della strumentazione di processo e dei controllori programmabili, che permettono lo sviluppo di algoritmi di controllo di notevole complessità. Come esempio dei principi generali enunciati, si è mostrata un'applicazione tuttora in fase di sviluppo, nella quale il telecontrollo permette un monitoraggio ed un controllo continuo del processo anche da postazioni remote. L'applicazione di regolatori al controllo dell'ossigenazione ha mostrato che è possibile ottenere significativi risparmi energetici.

Bibliografia

- [1] Olsson, G.; Newell, B., 1999. *Wastewater treatment systems – Modelling, diagnosis and control*. IWA Publishing, London.
- [2] Ingildsen, P., Olsson, G., 2000. *Get more from your wastewater treatment plant - complexity made simple*. Danfoss Analytical.
- [3] Olsson G., 2002. Lessons learnt at ICA2001. *Wat. Sci. Tech.*, **45** (4–5), 1-8.
- [4] Olsson G., 2006. Instrumentation, control and automation in the water industry – state-of-the-art and new challenges. *Wat. Sci. Tech.*, **53** (4–5), 1–16.
- [5] Rieger, L., Alex, J., Winkler, S., Boehler, M., Thomann, M., Siegrist, H., 2003. Progress in sensor technology – progress in process control? Part I: Sensor property investigation and classification. *Wat. Sci. Tech.*, **47** (2), 103 – 112.
- [6] Olsson, G., Nielsen, M.K., Yuan, Z., Lynggaard-Jensen, A., Steyer, J.Ph., 2005. Instrumentation, control and automation in wastewater systems. *Scientific and Technical Report n. 15*, IWA Publ., London.
- [7] Henze M., Gujer W., Mino T., van Loosdrecht M.C.M., 2000. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d, and ASM3. *IWA Scientific and Technical Report n. 9*.
- [8] Copp, J.B. (2002). *The COST Simulation Benchmark: description and simulator manual*. EC Publication Office.
- [9] Olsson G., Jeppsson U., 2006. Plant-wide control: dream, necessity or reality? *Wat. Sci. Tech.*, **53** (3), 121–129.
- [10] Jeppsson, U., Rosen, C., Alex, J., Copp, J., Gernaey, K., Pons, M.-N. and Vanrolleghem, P.A., 2006. Towards a benchmark simulation model for plant-wide control strategy performance evaluation of WWTPs. *Wat. Sci. Tech.*, **53**(1), 287–295.
- [11] Astrom, K. and Hagglund, T. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*, ISA, The International Society for Measurement and Control, NC, USA.
- [12] 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.
- [13] Marsili-Libelli, S., Spagni, A., Susini, R., 2008. Intelligent monitoring system for long-term control of Sequencing Batch Reactors. *Wat. Sci. Tech.*, **57** (3): 431 - 438.
- [14] Rosen, C., Röttorp, J. and Jeppsson, U., 2003. Multivariate on-line monitoring: challenges and solutions for modern wastewater treatment operation. *Wat. Sci. Tech.*, **47** (2), 171 – 179.
- [15] Ayesa E., A. De la Sota, P. Grau, J.M. Sagarna, A. Salterain, Suescun J., 2006. Supervisory control strategies for the new WWTP of Galindo-Bilbao: the long run from the conceptual design to the full-scale experimental validation. *Wat. Sci. Tech.*, **53** (4–5), 193–201.