

di Stefano Marsili-Libelli*

La conduzione degli impianti di trattamento acque reflue, in particolare di quelli biologici, non può oggi prescindere dal contributo della tecnologia dell'automazione nell'assicurare i nuovi standard di efficienza ed affidabilità. La direttiva 2000/60/CE, recepita in parte nel D.L. 152/06, pone obiettivi ampi ed ambiziosi riguardanti la tutela delle acque. Questo nuovo approccio implica una più approfondita conoscenza dei processi di trattamento e richiede una visione complessiva del ciclo integrato delle acque. Da qui la necessità di disporre di strumenti di indagine e di gestione sempre più perfezionati. Per di più, oltre al rispetto dei limiti di legge sull'effluente, il gestore è sempre più sollecitato a ricercare un'economicità di gestione su più fronti, dal risparmio energetico, alla limitazione nella produzione dei fanghi di supero, alle spese per il personale, alla minimizzazione dei tempi di fermo dovuti a guasti. Un aiuto concreto alla soluzione di molte di queste esigenze può venire dall'automazione che, attraverso una migliore conoscenza del processo ed un tempestivo aggiornamento dello stato di funzionamento, può portare ad un miglioramento sensibile della sua gestione. L'automazione, infatti, fornendo al depuratore un certo grado di "intelligenza", inteso come adattabilità alle necessità operative, può contribuire in modo determinante al raggiungimento degli obiettivi di affidabilità ed economicità che oggi sono riconosciuti come prioritari.

SITUAZIONE ATTUALE DELLA TECNOLOGIE

Alla crescente domanda di automazione si può dare un'efficace risposta solo combinando le conoscenze in tre settori tecnologici complementari: tecniche avanzate di automazione, basate su modelli di processo evoluti e metodi di intelligenza artificiale; strumentazione analitica di processo, per un'approfondita conoscenza in tempo reale delle variabili critiche; sensori evoluti e sistemi di comunicazione digitale (bus di campo). In questa direzione si sta muovendo la ricerca a livello europeo, con massicci investimenti per la riqualificazione di moltissimi impianti di depurazione, per soddisfare le più stringenti esigenze della qualità allo scarico e, al tempo stesso, per salvaguardare l'investimen-

I VANTAGGI DELL'AUTOMAZIONE

I depuratori "intelligenti"

Esperienze di telecontrollo e risparmio energetico su impianti di depurazione biologica per reflui civili



to di impianto e contenere i costi operativi. L'incremento di efficienza oggi richiesto può essere raggiunto non solo grazie ad una migliore conoscenza dei processi metabolici coinvolti, ma anche grazie al contributo della modellistica e dell'automazione. Infatti, la conduzione di tecniche avanzate di depurazione, quali i processi Sequencing Batch Reactor (SBR), i reattori a membrane, il processo combinato Sharon/Anammox per la rimozione dell'azoto o i sistemi a biomasse granulari, richiedono la conoscenza in tempo reale di molte variabili per le quali misure dirette sono difficili, costose o del tutto impossibili. Per risolvere questo problema sono disponibili numerosi studi e risultati relativi alla modellazione dei processi, sulla quale sono basate le tecniche di controllo più sofisticate.

STRUMENTAZIONE, CONTROLLO E AUTOMAZIONE

L'importanza della triade strumen-

tazione, controllo e automazione (SCA) nel controllo dei depuratori biologici è ormai consolidata. È stato dimostrato che l'impiego di queste tecniche può 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 di SCA mette in luce un insieme di relazioni, altrimenti difficili da evidenziare, fra i parametri operativi di un impianto e lo stato della biomassa e perciò del 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.

I progressi di SCA si basano su diversi fattori:

- Tecnologia della strumentazione. Si è definitivamente affermata la linea della misura in situ e si è allargata la gamma di grandezze che

possono essere misurate in tempo reale, come nutrienti o componenti del fango biologico. D'altra parte ancora poche sono le applicazioni in retroazione, cioè quelli in cui l'azione di controllo è basata sulla misura in linea.

- Attuatori. C'è stato un continuo progresso per questi dispositivi di potenza ed oggi i motori elettrici a giri variabili comandati tramite inverter sono largamente diffusi per azionamenti di 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.

- Potenza di calcolo. Gli attuali PC sono così potenti da poter soddisfare a basso costo ogni esigenza di calcolo derivante dall'impiego dei più sofisticati sistemi di automazione.

- Teoria del controllo e tecnologia di automazione. Oggi sono disponibili strumenti potenti di analisi e di sintesi di sistemi di controllo. Per quanto riguarda l'analisi, la modellistica di processo ha compiuto notevoli passi avanti ed attualmente viene utilizzato il modello biochimico di terza generazione ASM3. L'approccio benchmark, 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, ben maggiori delle due settimane dello scenario originale.

Dal punto di vista del controllo, sono oggi impiegati più diffusamente semplici, ma efficaci, regolatori Proporzionali-Integrali-Derivativi (PID) e si assiste ad un sempre maggiore impiego di controllori avanzati, come quelli predittivi o basati su tecniche di intelligenza artificiale e fuzzy. Infine, le moderne tecniche di filtraggio e modellazione forniscono degli efficienti metodi di diagnosi dei guasti, che accoppiati alla modellistica in tempo reale, permettono l'individuazione precoce dei malfunzionamenti ed in molti casi forniscono anche la ri-

Continua a pag. 18

Il depuratore di Pagnana (Empoli - FI) è un impianto di tipo biologico a fanghi attivi ed ha una potenzialità di 88.600 ab. eq. I liquami trattati sono essenzialmente di due tipologie: reflui di origine mista (civile e spurghi da fosse settiche).

La filiera di trattamento della linea acque dell'impianto è così strutturata: pre-trattamenti e trattamenti primari di tipo fisico; trattamenti secondari biologici.

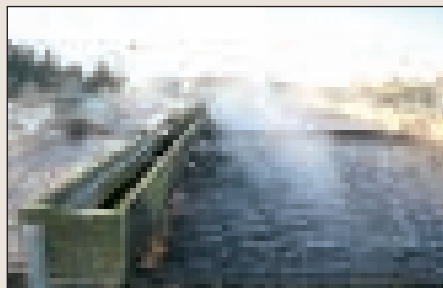
Dopo i consueti trattamenti primari il refluo è convogliato nella vasca di sedimentazione primaria e da qui ai trattamenti biologici. Il comparto biologico è costituito da: 3 vasche anossiche di pre-denitrificazione in serie; 3 vasche aerobiche di ossidazione funzionanti in parallelo; 3 sedimentatori secondari, anch'essi operanti in parallelo.

Sull'impianto è attualmente operante il sistema di acquisizione dati e controllo compact Field Point (cFP) di National Instruments che acquisisce le misure provenienti dal campo e precisamente: concentrazione di ossigeno disciolto in mezzo e in uscita dalle tre vasche aerobiche; concentrazione di nitrati in uscita sia dalla vasca anossica che da quella aerobica; concentrazione di ammonio in uscita dalla vasca aerobica; misura dei solidi sospesi in ossidazione e nella linea di ricircolo; potenza assorbita dagli inverter delle sei turbine di aerazione; portate di ingresso e uscita del refluo; portate di ricircolo della miscela aerata e di ricircolo dei fanghi; misure chimico-fisiche (pH, potenziale RedOx e temperatura).

Il sistema di monitoraggio realizzato attorno al cFP consente l'acquisizione di tutti i parametri di processo disponibili; la frequenza di campionamento dal campo è di 1 secondo, mentre l'archiviazione, che avviene dopo il filtraggio, ha la cadenza di 1 minuto. Tutti i dati

DEPURATORE DI PAGNANA

Il controllo avanzato



raccolti nell'arco delle 24 ore vengono salvati su un foglio di Excel con la data corrente, che viene chiuso ogni giorno alle ore 24 e contestualmente ne viene aperto un altro con la data del giorno successivo. Il cFP opera in tempo reale e può funzionare in modo autonomo, dopo che sia stato scaricato a bordo il software di controllo. Il sistema è visibile via internet in quanto inserito nella rete intranet aziendale della società Acque, essendo capace di pubblicare la vista del pannello di controllo come pagina web. Questa caratteristica è di estrema importanza anche sotto l'aspetto della sicurezza e affidabilità di gestione, perché permette ai gestori la continua e immediata sorveglianza dell'impianto da qualunque postazione abilitata.

Il più semplice obiettivo di controllo è quello di mantenere costante il livello di ossigeno disciolto nelle vasche di ossidazione. Se infatti si fornisce al sistema una portata d'aria costante, corrispondente ad una potenza impiegata costante, il livello di ossigeno disciolto varierà inversamente al carico organico in ingresso, inversamente alla variazione del carico. Si realizzerebbero perciò delle condizioni operative opposte a quelle

desiderate, facendo diminuire il livello di ossigeno disciolto proprio quando invece sarebbe necessario aumentarlo e viceversa. In tal modo nei periodi di basso carico si ha uno spreco di energia, mentre durante i picchi di carico l'aria somministrata è insufficiente, a scapito del rendimento di depurazione.

Asservendo l'erogazione dell'aria ad un sistema di controllo che ha il compito di mantenere costante il livello di ossigeno disciolto, si avrà un'ossigenazione ottimale per ogni condizione di carico, con ovvi miglioramenti sia di rendimento che di risparmio energetico. Da varie esperienze condotte sull'impianto, si è ottenuto un risparmio energetico di circa 1 Mwh in una settimana per ciascuna turbina, pari a circa il 15% sul consumo totale.

Un più sofisticato sistema di controllo coordina l'erogazione dell'aria con l'abbattimento di azoto ammoniacale. Ciò si è reso necessario da un mutamento delle priorità di gestione che si riflette sulle richieste di progetto e conduzione di impianto. Ad esempio, nel passato la capacità di areazione era dimensionata sul carico carbonioso, mentre oggi è dimensionata principalmente sul fabbisogno per la nitrificazione. Attualmente si osserva che solo una parte del carbonio organico biodegradabile (CBOD) viene rimossa per via aerobica, mentre la rimanente (spesso oltre il 50%) è utilizzata come fonte di carbonio nella fase anossica di denitrificazione. Questo porta ad un collegamento fra la fase aerobica (abbatti-

mento del CBOD e nitrificazione) e fase anossica; ciò dà origine ad un complesso problema di controllo costituito dal coordinamento del set-point di Ossigeno Disciolto (DO) in ossidazione e di nitrato in denitrificazione.

In un normale processo biologico con vasca di 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 la nitrificazione attraverso un controllore di più alto livello, che ottimizza l'azione dei regolatori di ossigeno disciolto in funzione di un obiettivo di costo e prestazione e della normativa sull'effluente. In tale schema, gli obiettivi del controllo sono la minimizzazione dei consumi energetici e la riduzione della concentrazione di azoto totale nell'effluente.

Essi sono ottenuti erogando solo l'aria strettamente necessaria, basandosi su misure di ammonio in uscita dall'ossidazione, mentre i livelli di ossigeno disciolto sono stabiliti da un controllore basato sulla logica fuzzy, in funzione del carico di ammonio.

Rispetto ad un semplice controllo PID con set-point costante dell'ossigeno disciolto, questo schema di controllo, con i due set-point variabili in modo coordinato, produce un ulteriore risparmio energetico del 15% rispetto alla situazione a giri costanti. La qualità dell'effluente risulta leggermente peggiore solo per quanto riguarda la percentuale del tempo di violazione dei nitriti, che comunque è sempre molto bassa (d'altra parte la minor concentrazione di DO favorisce leggermente il processo di denitrificazione anche nel settore aerobico, con conseguente diminuzione dei nitrati e quindi dell'azoto totale in uscita dall'impianto).

Continua da pag. 16

I depuratori "intelligenti"

dondanza necessaria per la sua riparazione automatica.

Nell'ambito dei progressi della tecnologia del controllo si devono anche includere i progressi nello sviluppo di software per la modellistica ed il controllo del processo, in particolare i simulatori WEST della Hemmis e GPSX della Hydromantis.

- Acquisizione dati. Non rappresen-

ta più un ostacolo, con software specifici disponibili per la raccolta ed il trattamento dei dati e potenti sistemi di comunicazione digitale per collegare in modo efficiente i vari sensori dislocati nell'impianto, secondo l'attuale tendenza che privilegia le misure in situ, con dislocazione del sensore a bordo vasca ed elaborazione locale della misura.

- Sensoristica. Le misure in situ danno maggiori garanzie di affidabilità e fedeltà di misura. Tale tecnica, infatti, presenta diversi van-

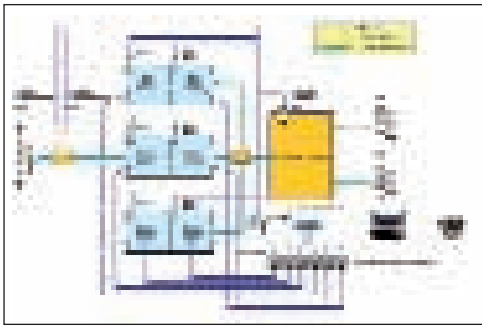
taggi e ha superato la precedente, che consisteva nel prelievo del campione e suo invio mediante apposita condotta verso l'ambiente di misura. Ovviamente, la dislocazione dei sensori lungo l'impianto pone dei problemi di trasmissione delle misure, ma questi sono nettamente inferiori a quelli posti dallo spostamento dei campioni, e comunque possono venire efficacemente risolti mediante la costruzione di un sistema di trasmissione dati basato su un bus di campo.

L'ottenimento di misure affidabili per un considerevole periodo di tempo è indispensabile per un efficace controllo del processo. I parametri essenziali che dovrebbero essere monitorati sono i seguenti: portata, sia di processo sia dei vari ricircoli interni; 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

Il controllo in tempo reale garantisce economicità di gestione, integrità d'impianto, effluente entro i limiti di legge

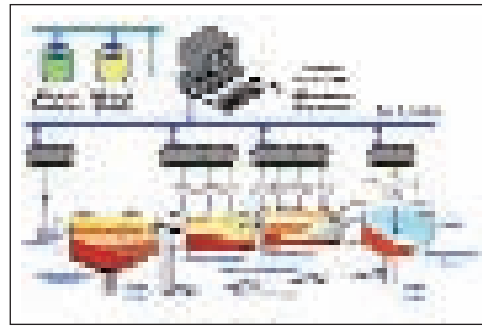
in ricircolo. In aggiunta a queste misure dirette, è sempre più frequente l'uso di un respirometro di processo per la determinazione in tempo reale dell'attività biologica, della biodegradabilità dell'influente e per la rivelazione precoce di eventuali componenti tossici in ingresso all'impianto. Negli ultimi anni, la tecnologia dei sensori per processi di depurazione biologica si è notevolmente sviluppata, anche se molti problemi rimangono tuttora irrisolti. Ad esempio, la determinazione rapida del COD o del nitrato, basata su assorbimento UV, risente ancora fortemente delle interferenze di altre molecole organiche. Perciò, queste metodiche sono valide in acque pulite, ma non certo nelle miscele acqua-fanghi. Tuttavia, esistono sensori specifici che han-

no risolto il problema dell'interferenza filtrando il campione in un ambiente estremamente pulito ed effettuando la misura in ambiente protetto. Ogni gruppo di sensori, gestito da un sistema remoto di acquisizione dati, invia dati e/o comandi lungo il bus di campo verso l'elaboratore di processo che funge anche, nella parte di basso livello, da sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Dato però che il progetto ha obiettivi molto più ampi, a questo primo nucleo si affianca sempre più spesso un livello superiore capace di gestire librerie di modelli e di regolatori avanzati, fornendo così una gestione avanzata del processo e chiudendo sul campo il risultato dell'elaborazione mediante comandi agli attuatori.



PROBLEMI TIPICI DI AUTOMAZIONE

La necessità di introdurre l'automazione è dovuta al fatto che il processo non opera mai in stato stazionario, perché l'influente cambia continuamente, sia in portata sia in composizione; le condizioni ambientali variano con ritmo giornaliero e stagionale; le prestazioni richieste mutano con la situazione ambientale e del corpo idrico recettore. Per questi motivi 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 garantite. Le difficoltà del controllo risiedono spesso nella necessità di armonizzare obiettivi contrastanti e nel fatto che



le dinamiche di processo sono non lineari e tempo-varianti.

ESPERIENZE PRATICHE

Per quanto concerne il telecontrollo e l'automazione, nonché il risparmio energetico connesso ad alcuni problemi tipici del controllo dei processi di depurazione, risulta particolarmente significativa l'esperienza maturata in due diverse realtà: la collaborazione con le società Acque ed Acque Ingegneria relativamente all'impianto di depurazione reflui misti di Pagnana, nel Comune di Empoli (FI), e la sperimentazione su un impianto pilota a sequenza di fasi (SBR) nell'ambito della pluriennale collaborazione con i laboratori Enea di Bologna. Nel primo caso, relativo ad un depuratore biologico per reflui civili, si è ottenuto un buon risparmio energetico a seguito dell'applicazione del telecontrollo al nucleo centrale dell'impianto (pre-denitro e ossidazione), mentre nel secondo caso è stato realizzato, in forma di telecontrollo, un sistema di intelligenza ar-

Continua a pag. 20

TECNOFER
Plastic Recycling Plants

ATTUALITÀ INTERNAZIONALI - FARMACIA FARMACIA VITA
L'ESPERIENZA DI TECNOFER PER IL RICICLO

SCANPACK 2009 (L. 14/01/09) 22-23 Ottobre 2009 - Bologna, 2009

2009 (L. 11/01/09) 22-23 Ottobre 2009 - Bologna, 2009

TECNOFER Since 1976

CONSIGLIO (Kongress) 11/02/07 - www.tecnofer.it
Tel. +39 0521/247978 - Fax +39 0521/247978

Impianti di avviamento
e recupero energetico per PLS

Impianti di avviamento
di rifiuti e plastica
per impianti di avviamento

Macchine a rotelle
per lavorazione della
PET/PLAD

Impianti di avviamento
a 180°C/200°C

Miscelatori e cullerotti
per avviamento personalizzato

CON LA LOGICA FUZZY

Cicli di trattamento più brevi

Un altro processo in cui l'automazione può produrre significativi benefici è il processo a fasi commutate, detto Sequencing Batch Reactor (SBR), utilizzato per la rimozione dei nutrienti nei reflui. È noto che l'efficacia del processo dipende in modo critico dalla commutazione fra fase anossica/anaerobica ed aerobica. Si deve anche tener conto che la difficoltà del controllo consiste nell'impossibilità, o almeno nella scarsa economicità, di misurare direttamente le variabili di processo sulle quali è basata la dinamica della rimozione e perciò la commutazione. Per risolvere questo problema, si possono utilizzare semplici misure indirette, come pH, potenziale RedOx ed ossigeno disciolto, per ricostruire le variabili di interesse mediante sistemi di intelligenza artificiale basati sulla logica fuzzy. Grazie alla collaborazione fra l'Università di Firenze ed il laboratorio Enea PROT-IDR di Bologna, e al supporto tecnico fornito da National Instruments Italy, è stata condotta una ricerca che ha permesso di mettere a punto un'importante innovazione rispetto all'operazione a temporizzazione fissa normalmen-

te usata per questi impianti. Tale innovazione consiste nel far dipendere la commutazione dalle condizioni operative correnti. In tal modo si è visto che è possibile raggiungere notevoli accorciamenti del ciclo con risparmio energetico e migliore utilizzo dell'impianto. Per rendere automatica la commutazione è necessario fornire al sistema delle regole di riconoscimento delle situazioni in cui si deve effettuare la commutazione. Ciò è possibile esaminando i comportamenti tipici del processo mediante le semplici misure di processo che è possibile effettuare a basso costo (pH, DO e RedOx) che sostituiscono le misure chimiche più specifiche, molto più costose e meno affidabili. Dallo studio dell'andamento di queste variabili durante un tipico ciclo si ottengono precise regole di commutazione, corrispondenti all'individuazione del seguente punto critico: riconoscimento della fine della fase aerobica di nitrificazione e della fine del-

la fase anossica/anaerobica di denitrificazione sulla base delle tre variabili di processo (DO, pH, ORP). Nello specifico, gli indicatori di fase nel processo SBR sono, nel caso della fase anaerobica anossica, la breve risalita del pH, seguita da una rapida caduta, e il RedOx sempre negativo con incremento della pendenza (fine del processo di denitrificazione) e la diminuzione della pendenza del pH (fine del rilascio del fosforo); mentre nel caso della fase aerobica la pendenza del DO che diminuisce (fine della nitrificazione) e il punto di flesso del pH (fine dell'utilizzo del fosforo). Il sistema inferenziale dovrà perciò individuare l'esistenza di queste condizioni e attivare la commutazione più adatta per ciascuna combinazione. Dopo un opportuno filtraggio per rimuovere rumore ed artefatti, i segnali di ossigeno disciolto, pH e RedOx vengono derivati numericamente in modo da individuare i punti di flesso significativi. Una volta verificate le con-

dizioni per la commutazione, il sistema di controllo attiva gli attuatori realizzando l'azione richiesta. Il sistema di controllo è stato realizzato su piattaforma LabView 7.1 della National Instruments. Nella parte centrale del suo pannello frontale sono visibili gli andamenti delle variabili di processo, oltre all'indicazione del riconoscimento della fase da parte del sistema inferenziale fuzzy. Sul lato sinistro si trovano i commutatori che permettono in ogni istante di passare dal controllo automatico a quello manuale, mentre sul lato destro sono raggruppati i timer che, in modo manuale, permettono di impostare le durate di ciascuna fase. Il sistema è operabile sia in modo locale, dato che il PC è collegato al processo mediante una scheda di acquisizione dati (National Instruments PCI 6024E), sia via internet, digitando l'indirizzo IP del PC di controllo, la porta di accesso ed il nome del Virtual Instrument (VI) di LabView che contiene il codice di controllo. Il sistema di automazione delle commutazioni ha portato ad un accorciamento della durata del ciclo di trattamento di oltre il 40%.

Continua da pag. 19

I depuratori "intelligenti"

ficiale per la commutazione automatica dei cicli di funzionamento di un reattore a fasi alternate, mediante il quale si è ottenuto un notevole accorciamento del ciclo di lavorazione, con conseguente possibilità di aumentare di oltre il 40% il volume di reflujo trattato.

In ambedue le applicazioni è stata fondamentale la collaborazione con National Instruments Italy, che ha fornito l'hardware di controllo e la propria vasta esperienza nel controllo industriale, nell'ambito di un accordo di ricerca fra la società ed il Dipartimento di Sistemi e Informatica dell'Università di Firenze.

CONCLUSIONI

In questa rassegna si sono esaminati gli aspetti teorici e tecnologici connessi all'automazione degli impianti di trattamento delle acque reflue, fornendo inizialmente una panoramica delle possibilità di effettuare un "upgrade" degli impianti e della tecnologia disponibile in termini di sensori, reti di comunicazione, sistemi di automazione.

Si sono poi descritte due applicazioni complete, una relativa ad un depuratore biologico per reflui civili, dove si è ottenuto un buon risparmio energetico a seguito dell'applicazione del telecontrollo al nucleo centrale dell'impianto (pre-denitro e ossidazione). L'altra applicazione ha riguardato invece la realizzazione di un sistema di intelligenza artificiale per la

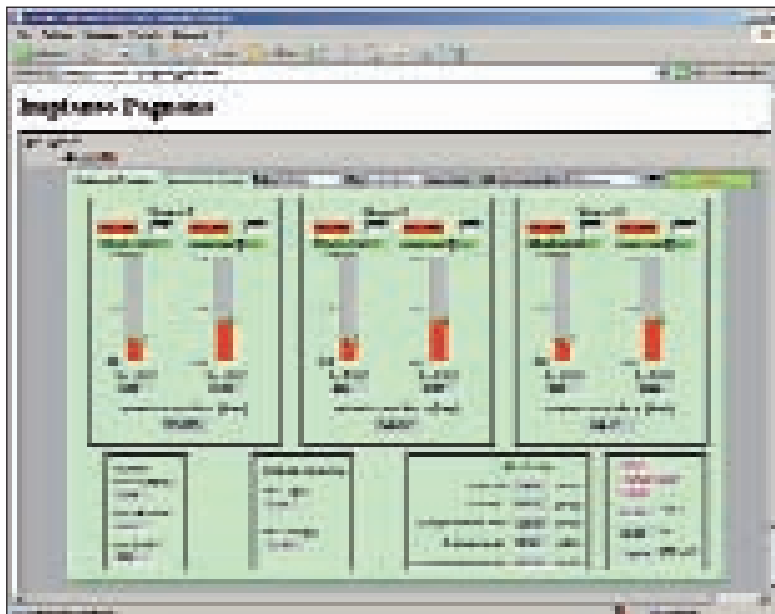
commutazione automatica dei cicli di funzionamento di un reattore a fasi alternate (SBR).

Mediante questo sistema, anch'esso realizzato in forma di telecontrollo, si è ottenuto un notevole accorciamento del ciclo di lavorazione, con conseguente possibilità di aumentare di oltre il 40% il volume di reflujo trattato.

Per ambedue le applicazioni è stata

determinante la collaborazione di National Instruments Italy, che ha fornito il compact Field Point installato nel depuratore di Pagnana, oltre ad un continuo supporto in termini di know-how ed esperienza specifica. La prima applicazione è stata possibile grazie alla collaborazione di Acque e Acque Ingegneria, mentre la seconda è stata svolta in collaborazione con ENEA, che ha messo a disposizione il proprio laboratorio di trattamento delle acque di Bologna.

**Prof. Stefano Marsili-Libelli,
Dip. di Sistemi e Informatica
dell'Università di Firenze*



Pannello frontale del sistema di controllo del depuratore di Pagnana, come appare all'utente che vi accede con un normale browser internet attraverso l'intranet aziendale di Acque Spa. Le sei barre verticali in rosso mostrano il valore corrente dell'ossigeno disciolto nelle tre vasche di ossidazione, mentre i triangoli verdi indicano i set-point impostati dal gestore. In basso sono riportate le altre misure di processo