

Università degli Studi di Firenze  
Facoltà di Ingegneria  
Tesi di laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
20 Aprile 2006

## Telecontrollo via internet del processo SBR con tecniche di intelligenza artificiale

Laureando: **Riccardo Susini**  
Votazione di Laurea: **110/110 e Lode**  
Relatori: Prof. Stefano Marsili-Libelli, Università di Firenze  
Dott. Alessandro Spagni, ENEA Prot-Idr, Bologna

### 1. IL PROBLEMA DEL CONTROLLO DEL PROCESSO SBR

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di realizzare un sistema di controllo intelligente capace di gestire il funzionamento di un reattore SBR (Sequencing Batch Reactor) per la depurazione di percolati da discarica, ottimizzando le sequenze di commutazione in modo da accorciare il ciclo di funzionamento senza pregiudicare il rendimento del processo. La tesi è stata svolta in collaborazione fra il Dipartimento di Sistemi e Informatica dell'Università di Firenze ed ENEA, Divisione Protezione Idrica, Bologna, presso il cui laboratorio si trova l'impianto pilota su cui è stato sviluppato questo lavoro. La Figura 1 mostra una vista di insieme del processo pilota e dei relativi sistemi di misura e controllo.

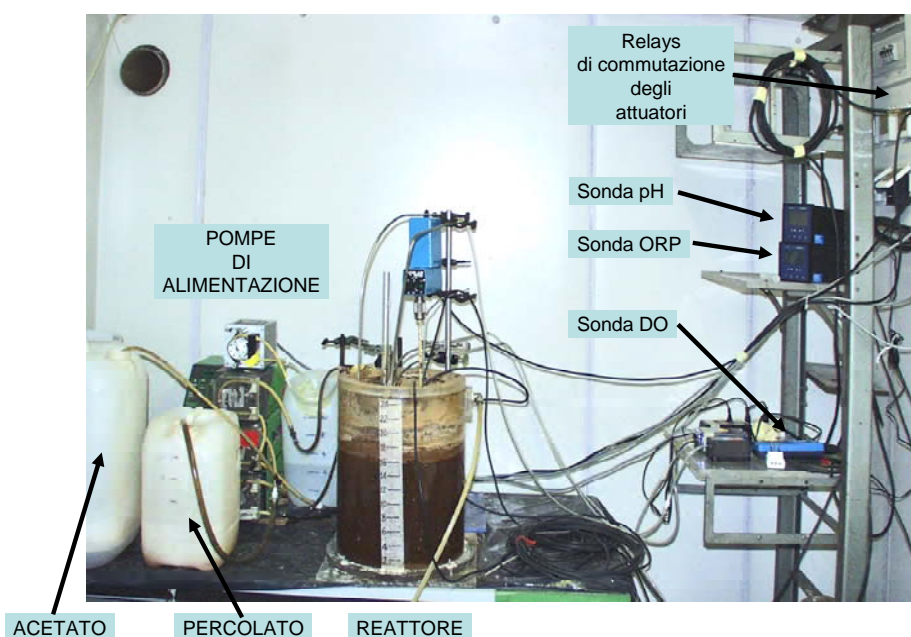


Figura 1 - Vista di insieme del SBR pilota e relativi sistemi di controllo.

Dal punto di vista software, il sistema di controllo è stato sviluppato in ambiente LabVIEW 7.1® (National Instruments, Austin, TX, USA) nell'ambito di un accordo di collaborazione fra il Dipartimento di Sistemi e Informatica e National Instruments Italy srl.

Il processo analizzato prevede 4 sottocicli alternati anossico aerobico prima della sedimentazione. Il refluo trattato è percolato di scarica, come indicato in Figura 2.

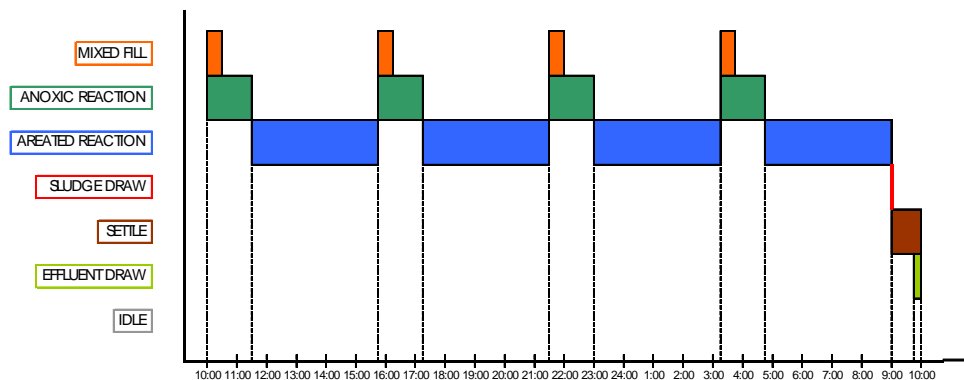


Figura 2 - Sequenza delle fasi nel trattamento del percolato.

Nei normali impianti, il funzionamento è affidato ad un sistema di temporizzatori che stabilisce le commutazioni da una fase all'altra in base ad uno schema fisso semplice. Questo porta a sovrastimare la durata delle fasi, introducendo quindi tempi inutili con conseguente aumento dei costi complessivi e minore capacità di trattamento. Il contributo di questa tesi è stato il progetto e la realizzazione di un controllo intelligente capace di ridurre i periodi di trattamento, perché in grado di riconoscere le condizioni necessarie e sufficienti al passaggio di fase. In tal modo si è ottenuto un notevole accorciamento dei tempi di trattamento, con conseguente aumento del volume di acqua trattabile. È importante far notare che durante l'intero periodo in cui il controllore ha funzionato non si sono notate alterazioni nella composizione e sedimentabilità dei fanghi, che sono rimasti in condizioni ottimali.

## 2. STRUTTURA DEL SISTEMA DI CONTROLLO

Il controllo delle commutazioni potrebbe essere realizzato utilizzando dei sensori per la rivelazione di ioni specifici, ma il loro costo e la scarsa affidabilità in un ambiente aggressivo come un reattore SBR ne sconsigliano l'uso, specialmente per applicazioni a basso costo. Al contrario, il presente sistema di controllo usa semplici misure fisico-chimiche come il pH, il potenziale RedOx (ORP) e l'ossigeno disciolto (DO) attraverso le quali un sistema inferenziale ricostruisce lo stato del processo e decide le eventuali commutazioni di fase comandando gli opportuni attuatori (aeratore, pompe di alimentazione o di estrazione). La Figura 3 mostra schematicamente la struttura del sistema di riconoscimento dello stato del processo, dal quale viene estratta la decisione di commutare. Ad intervalli regolari i tre dati segnali di processo (DO, pH, ORP) vengono campionati e dopo un opportuno filtraggio vengono derivati, in quanto l'informazione sul termine delle fasi è contenuta nelle variazioni del segnale.

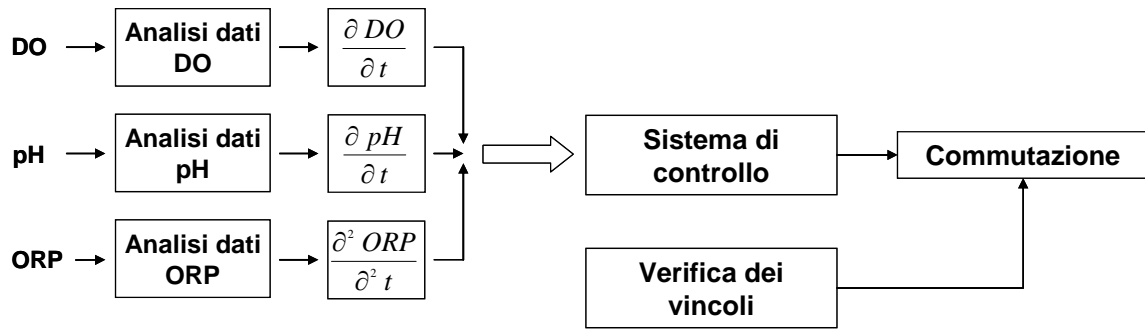


Figura 3 - Sistema inferenziale per il controllo del processo SBR.

L'analisi preliminare dei dati comprende la loro validazione, in modo da eliminare artefatti che ne comprometterebbero la successiva elaborazione. A titolo di esempio si mostra in Figura 4 una serie di dati di pH prima e dopo l'operazione di validazione.

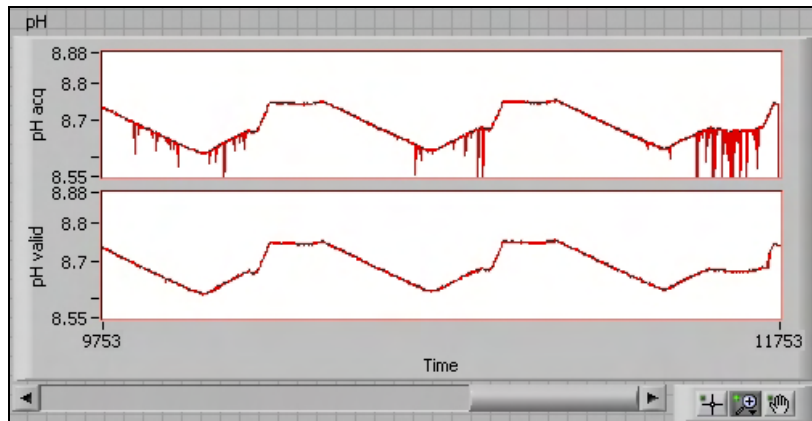


Figura 4 - Validazione di dati di pH prima dell'algoritmo di riconoscimento.

Il riconoscimento di fine nitrificazione e denitrificazione è mostrato in Figura 5. Si noti che per la seconda il segnale DO è inutilizzabile e la stima si basa solo sui segnali di pH e ORP.

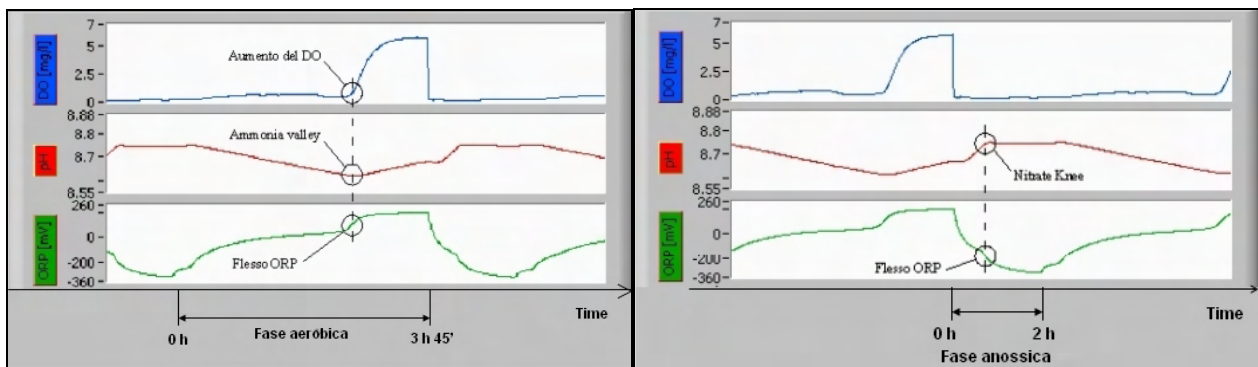


Figura 5 - Elementi di decisione per rivelare la fine della nitrificazione (sinistra) e denitrificazione (destra) basati sull'andamento dei segnali di processo.

Sulla base di queste informazioni il sistema inferenziale, basato su un insieme di regole fuzzy, decide sull'opportunità di effettuare la commutazione da una fase all'altra. Tale software, il cui

pannello frontale, visibile all'utente, è riprodotto in Figura 6, consente di gestire in linea il processo SBR, di effettuare modifiche istantanee sullo stato degli attuatori e di scegliere se mantenere attiva l'IA (Intelligenza Artificiale) o ripiegare invece su un più semplice controllo temporizzato.

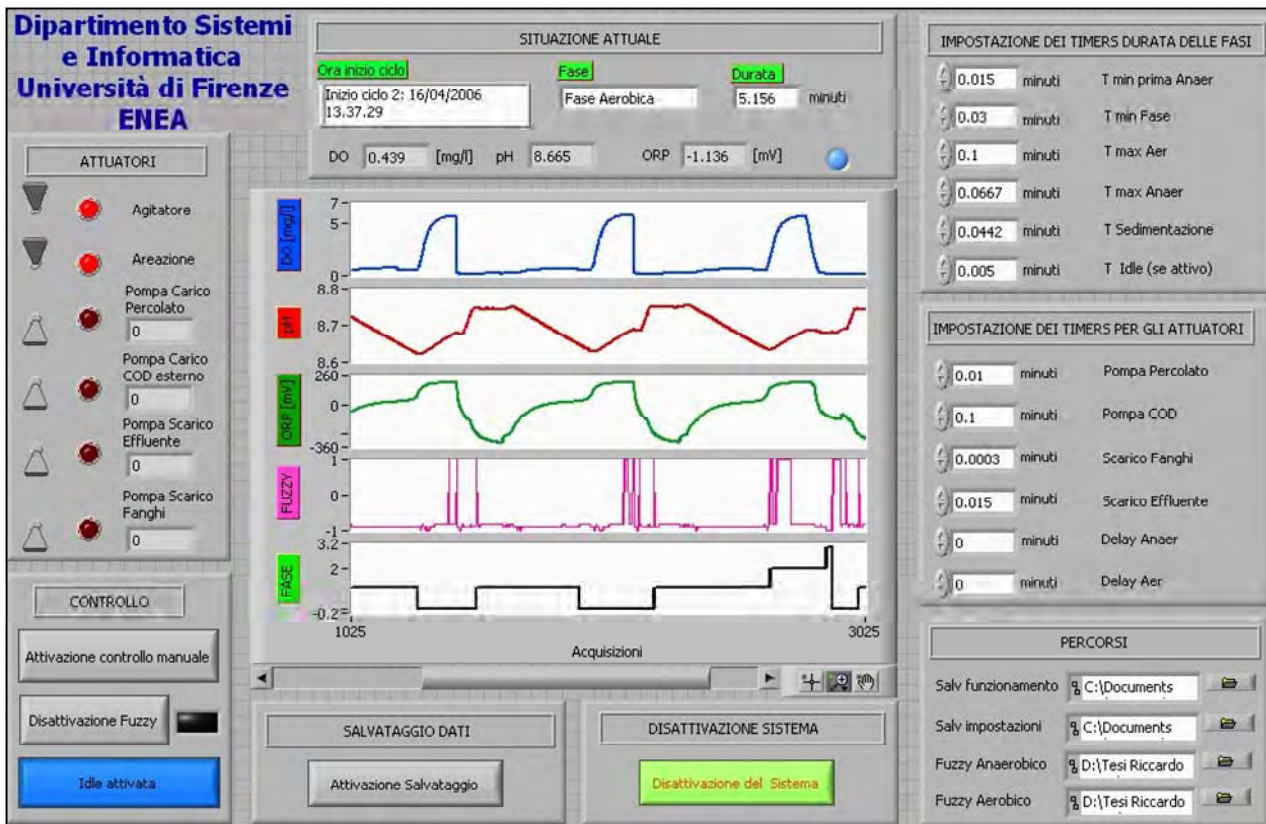


Figura 6 - Pannello frontale del sistema di controllo del processo SBR.

Il sistema di controllo realizzato offre inoltre la possibilità di aprire un collegamento internet, attraverso il quale è possibile controllare da posizione remota il funzionamento dell'impianto ed eventualmente interagire (se l'utente è abilitato) con lo stesso modificandone i parametri di gestione. L'efficacia pratica di questa soluzione è stata sperimentata con successo durante lo sviluppo di questa tesi: fin dall'avviamento dell'SBR gestito da questo nuovo software, è stato infatti possibile monitorare in tempo reale il corretto funzionamento del reattore, valutare l'acquisizione dei segnali ed interagire con le proprietà di controllo da una postazione remota. Inoltre, una volta inserito l'algoritmo di intelligenza artificiale, si è ottenuto un notevole accorciamento dei tempi di ciclo, come mostra la Figura 7.

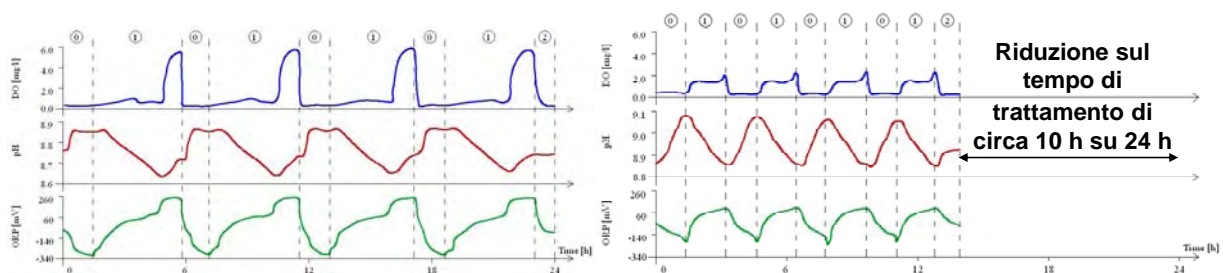


Figura 7 - Paragone fra le durate del ciclo nel caso a temporizzazione fissa (sinistra) e controllata (destra). Su un periodo di 24 ore, si è ottenuto un accorciamento del ciclo di 10 ore.

### 3. RISULTATI RAGGIUNTI

In conclusione i vantaggi della gestione controllata possono essere così riassunti:

- ✓ Completa stabilità in ogni fase del processo in atto.
- ✓ Riduzione del tempo di funzionamento dell'impianto di areazione in un intero ciclo: da 15 a 9 ore, corrispondente a circa il 40% in meno di aria utilizzata
- ✓ Controllo sul dosaggio di COD esterno, con un risparmio di circa il 20 %
- ✓ Flessibilità di controllo relativa alle condizioni variabili del carico in ingresso
- ✓ Buona adattabilità alle variazioni delle impostazioni di funzionamento.
- ✓ Capacità di favorire il processo parziale di nitrificazione a nitrito invece di quello completo a nitrato.
- ✓ Nessun effetto negativo sulla biomassa (sviluppo di filamentosi).
- ✓ 100 % dei riconoscimenti effettuati correttamente.

E' stata confermata l'efficienza del processo di trattamento caratteristica del sistema di controllo temporizzato:

- Rimozione del COD di circa il 50% (ridotta biodegradabilità)
- Rimozione dell'azoto compresa tra il 96 e il 99%.