



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



CONFINDUSTRIA

DAL 1945 IL VALORE DELL'INNOVAZIONE

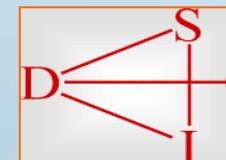
Telecontrollo degli impianti di trattamento reflui



Stefano Marsili-Libelli

Dipartimento di Sistemi e Informatica, Università di Firenze

<http://www.dsi.unifi.it/~marsili>



in collaborazione con



Obiettivi dell'automazione nella depurazione

- L'automazione si è recentemente introdotta nel settore della depurazione
- La Direttiva Acque della Comunità Europea (60/2000 CE), recepita nel D.L. 152/06, pone obiettivi ampi ed ambiziosi riguardanti la tutela delle acque
- Sono richiesti strumenti di gestione sempre più perfezionati per ottenere un'economicità di gestione che non sia a scapito della qualità
- 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.



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



AssoAutomazione
Associazione Italiana
Automazione e Misura



Necessità di automatizzare il processo

- Il processo non opera *mai* in stato stazionario perché:
 - L'influenza 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
- In condizioni tempo varianti è necessario un controllo in tempo reale per garantire:
 - Che l'effluente sia entro i limiti di legge
 - La salvaguardia dell'impianto
 - L'economicità della gestione
- Difficoltà del controllo:
 - Spesso si devono armonizzare obiettivi contrastanti
 - Le dinamiche di processo sono nonlineari e tempo-varianti



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



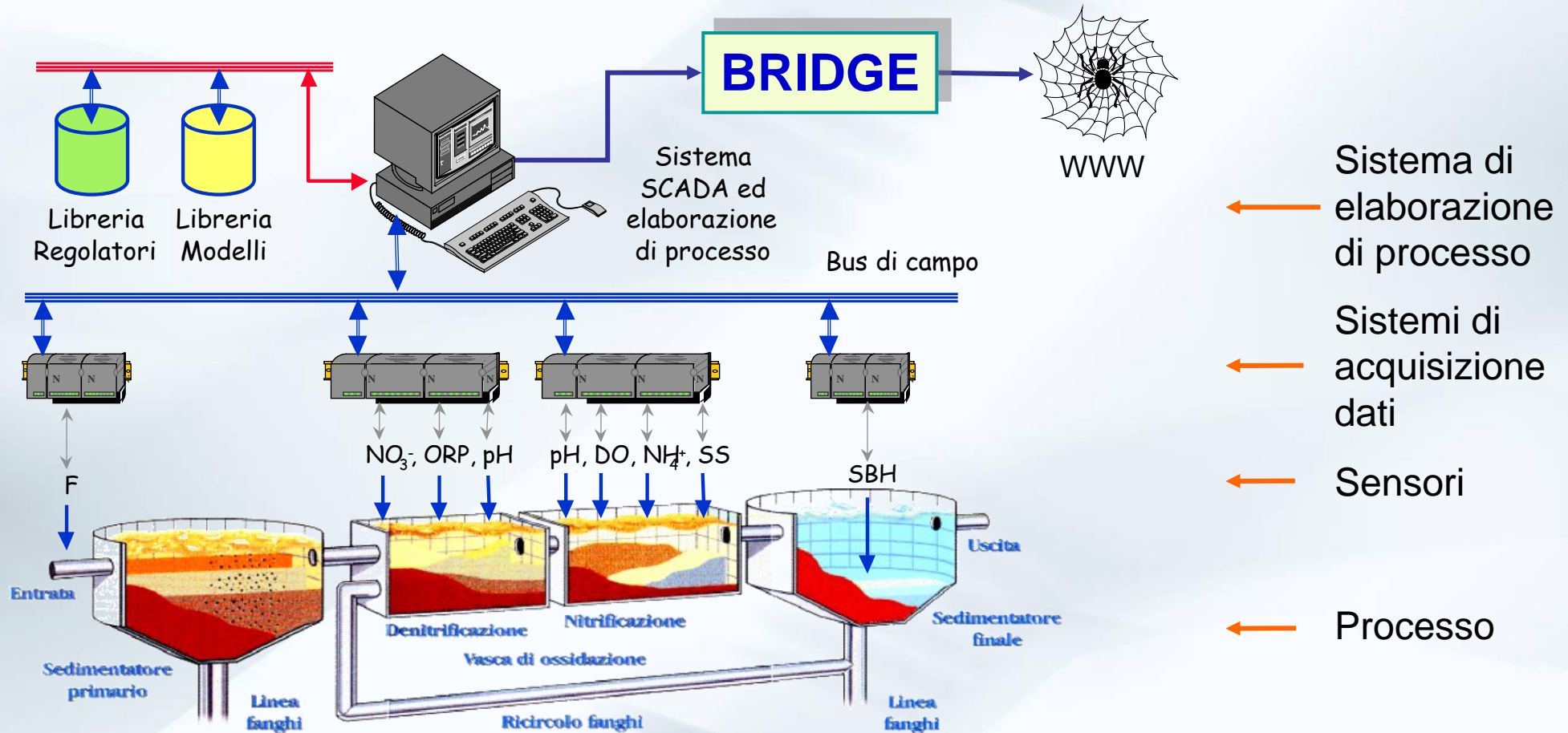
AssoAutomazione
Associazione Italiana
Automazione e Misura



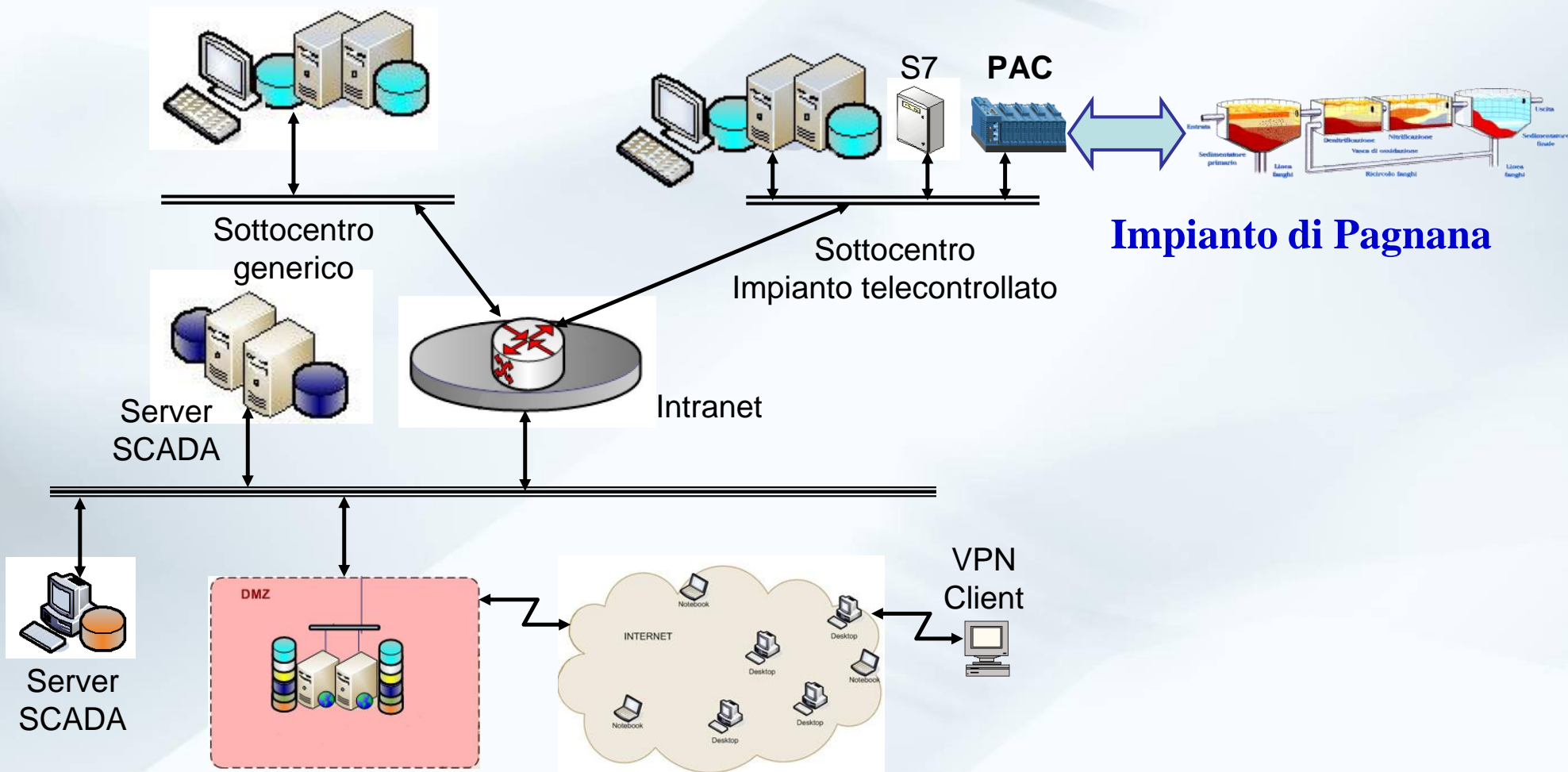
Possibili azioni di controllo

- **Controllo idraulico**
 - Garantire il ricambio idrico
 - Evitare sovraccarichi, specialmente sul sedimentatore secondario
- **Controllo della biomassa (Posizionamento)**
 - Assicurare una efficace ripartizione della biomassa fra sedimentazione (accumulo) e vasche di reazione (attività)
- **Controllo della rimozione dei nutrienti e dei costi operativi**
 - Assicurare le condizioni che producono la migliore qualità dell'effluente in termini di
 - rimozione dei nutrienti
 - economicità di gestione
- **Controllo della biomassa (Composizione)**
 - Evitare lo sviluppo di microorganismi dannosi (filamentosi)
 - Evitare tempi di ritenzione dei solidi (SRT) eccessivi

Architettura di un sistema di controllo



Un esempio di rete di telecontrollo



Studi di caso

- Esaminiamo ora alcune esperienze di risparmio energetico connesse ad alcuni problemi tipici del controllo dei processi di depurazione.
 - la collaborazione con Acque SpA relativamente all'impianto di depurazione reflui misti di Pagnana (Empoli)
 - la sperimentazione su un impianto pilota a sequenza di fasi (SBR) nell'ambito in collaborazione con i Laboratori ENEA di Bologna.



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



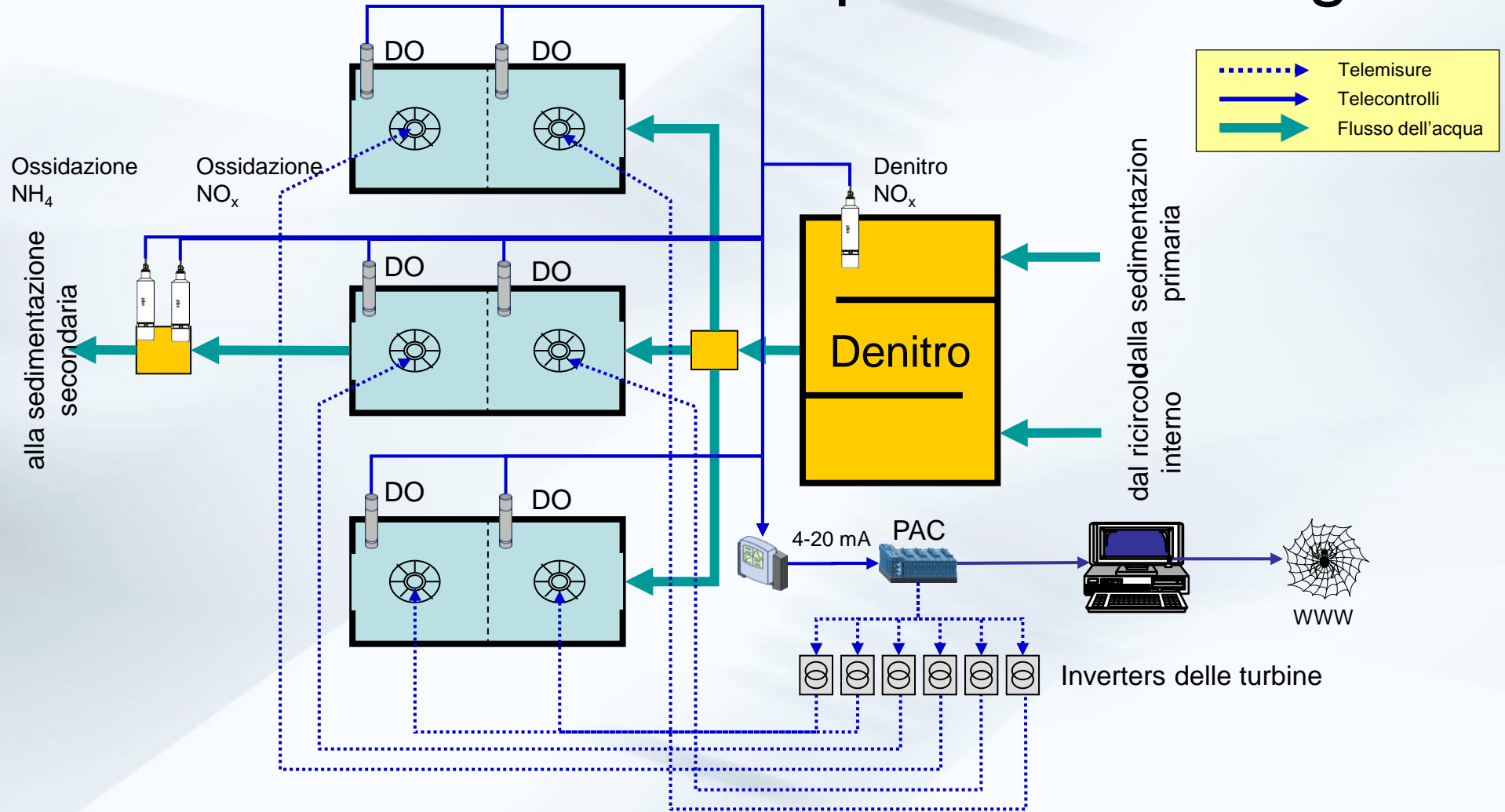
AssoAutomazione
Associazione Italiana
Automazione e Misura



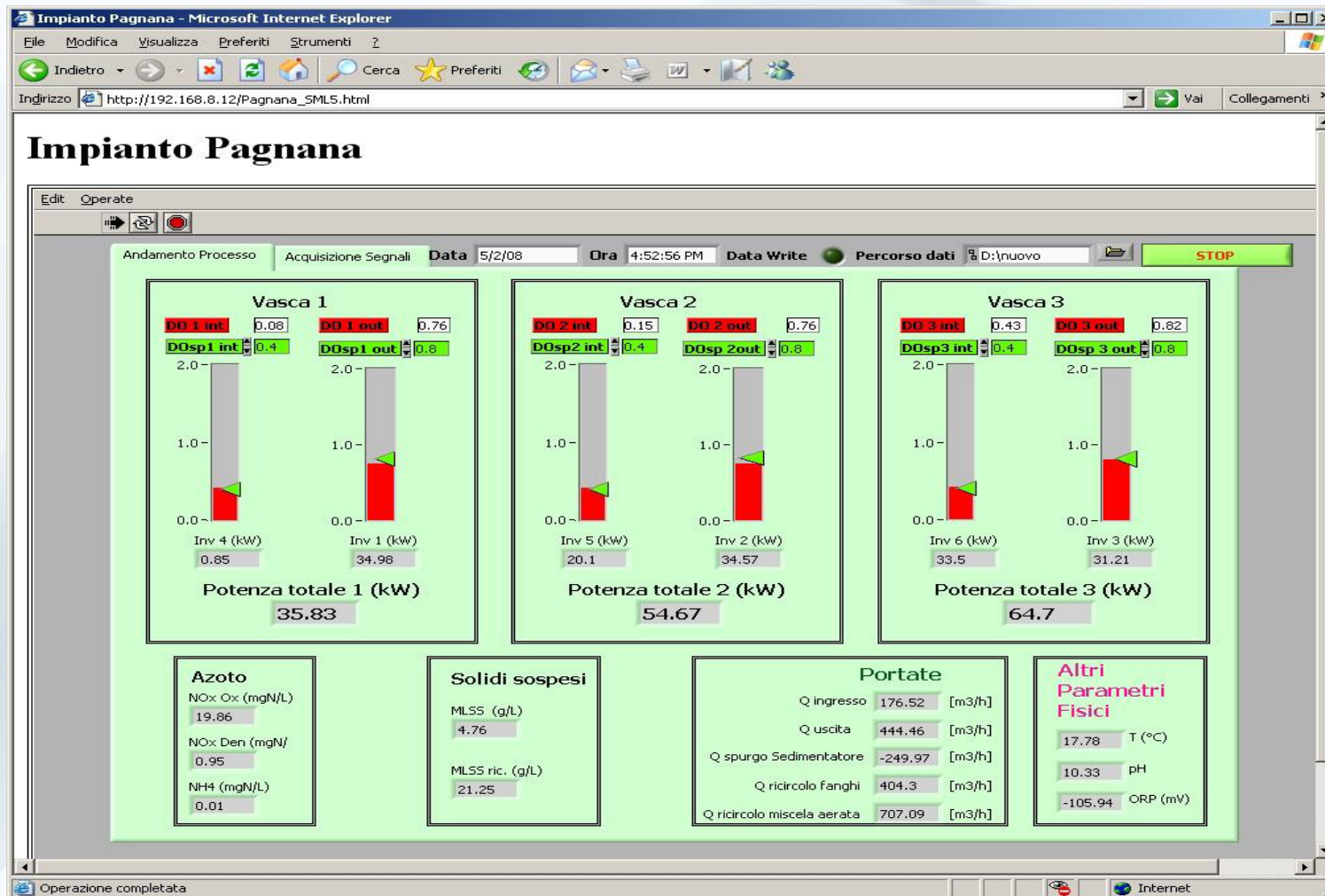
Alcuni tipici problemi di controllo

- ***Risparmio energetico in un impianto di depurazione per reflui civili (Pagnana)***
 - Nel passato la capacità di areazione era dimensionata sul carico carbonioso, mentre attualmente esso è dimensionato principalmente sul fabbisogno per la nitrificazione.
- ***Controllo della commutazione del ciclo SBR***
 - Nei Sequencing Batch Reactors (SBR) l'efficacia del processo dipende in modo critico dalla commutazione fra fase anossica/anaerobica ed aerobica

Schema di controllo del depuratore di Pagnana

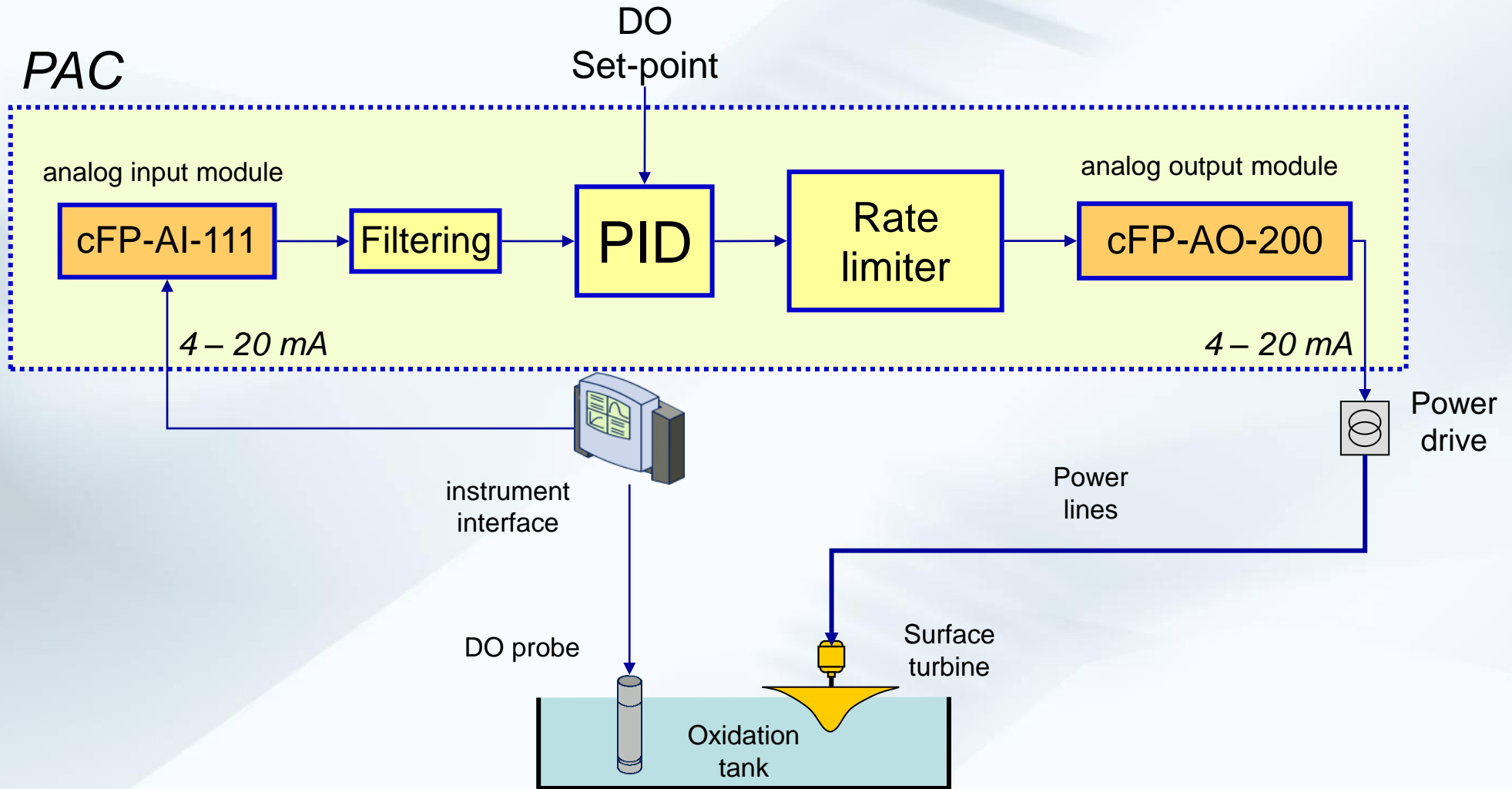


Vista remota via Web del pannello di controllo

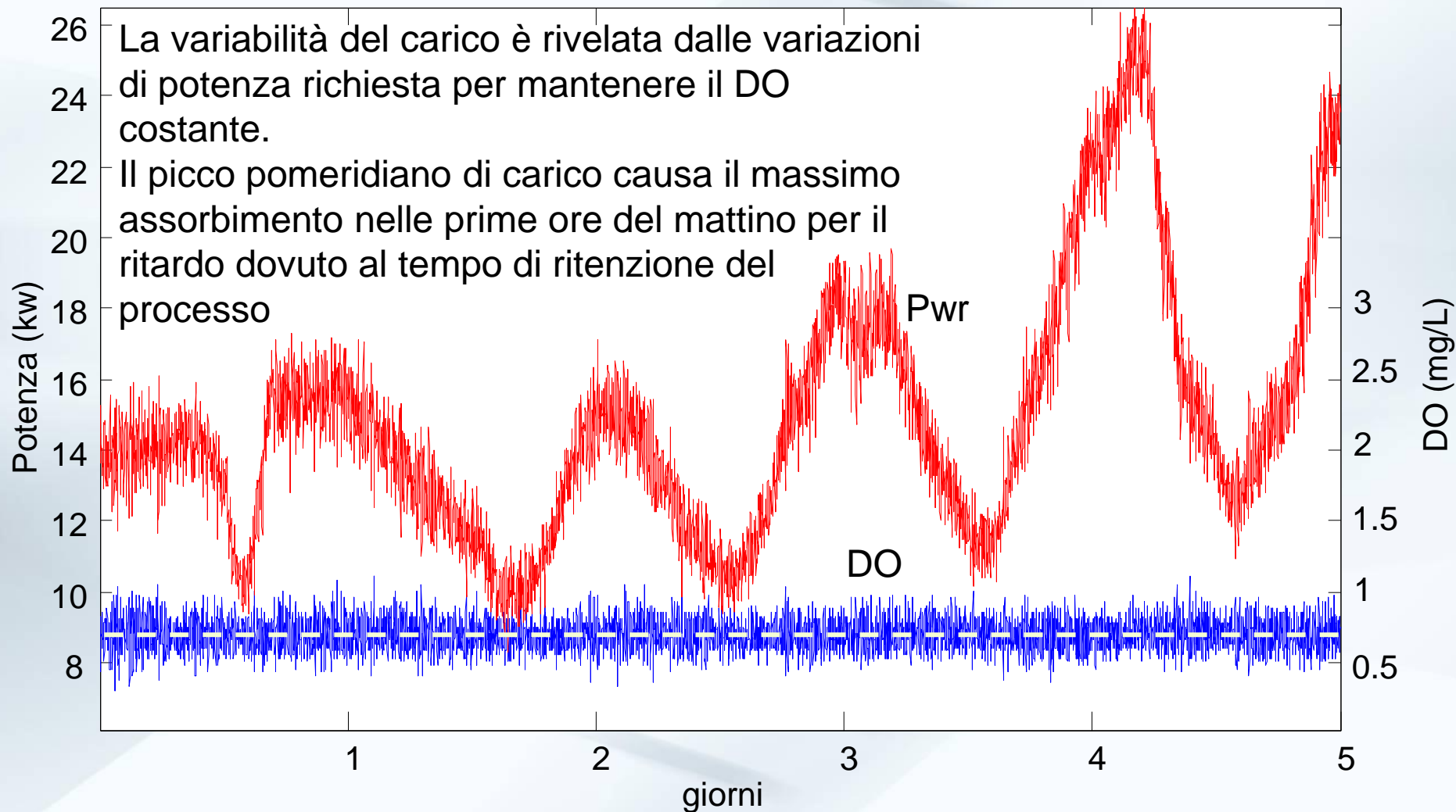


Controllo dell'ossigeno disciolto

PAC

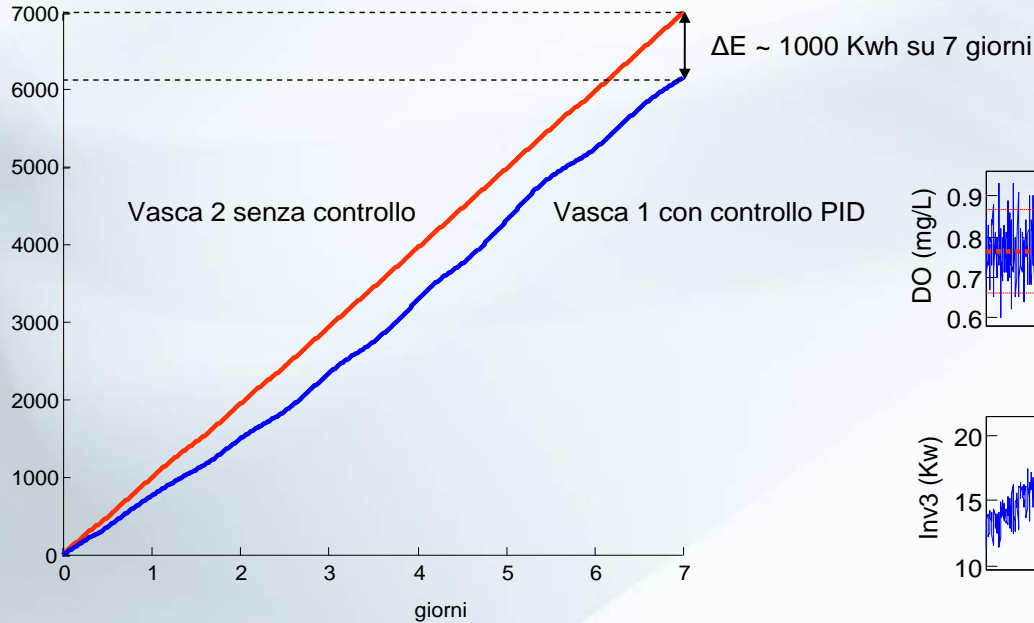


Esempio di regolazione del DO mediante PID

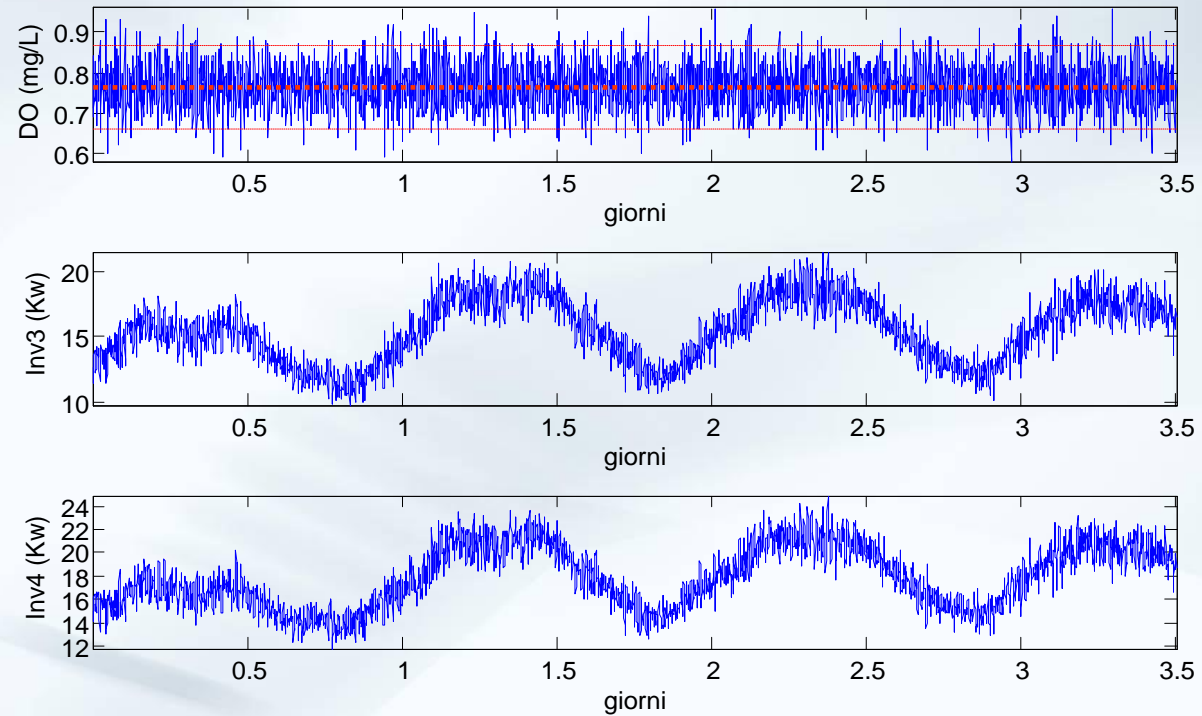


Prestazione del controllo e risparmio energetico

16 – 23 Febbraio

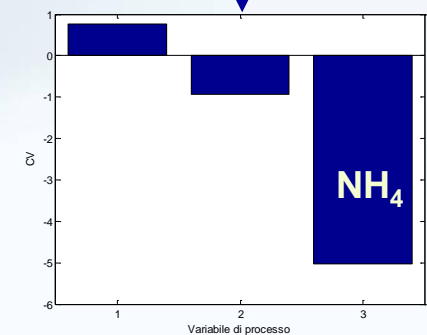
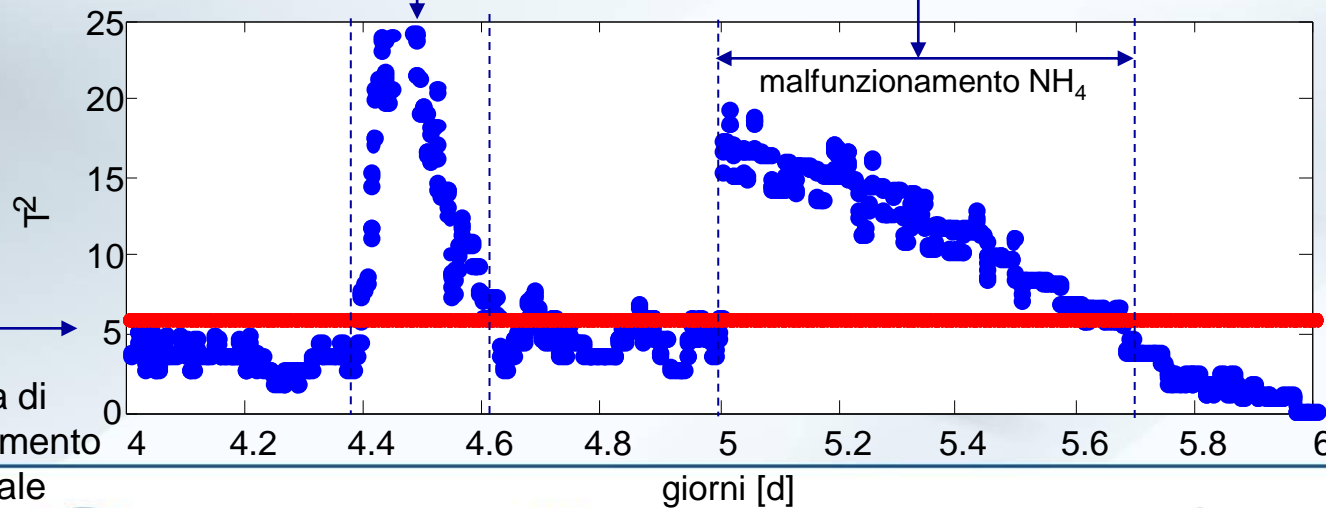
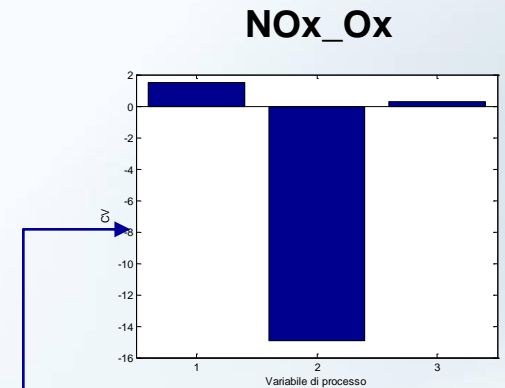
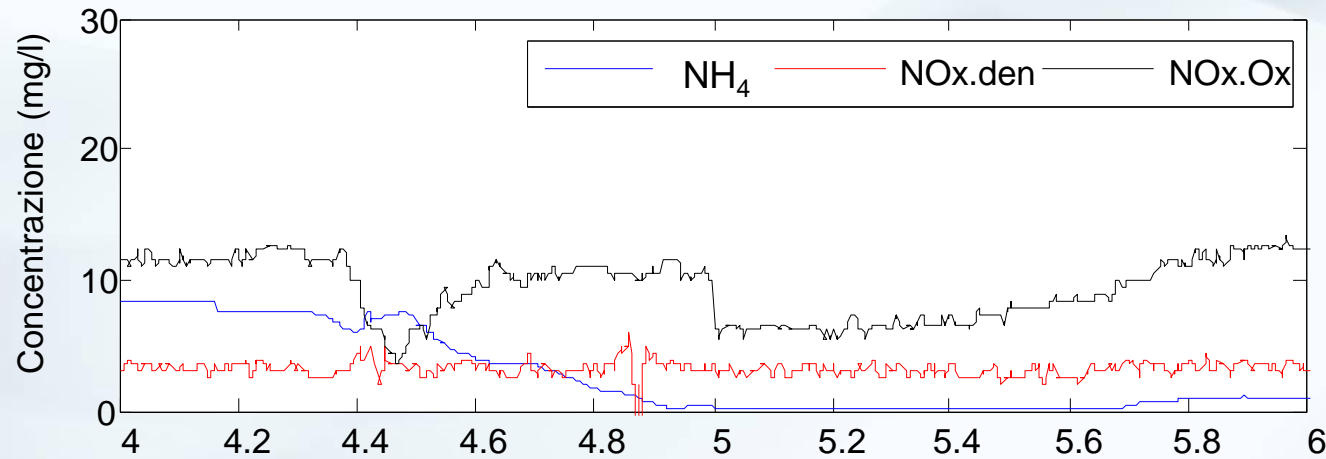


Vasca 1: Regolazione PID interna 9 – 11 Marzo



Sistema per la rilevazione dei guasti

Periodo monitorato in tempo reale



Controllo coordinato per la rimozione dell'azoto

DO Set-point

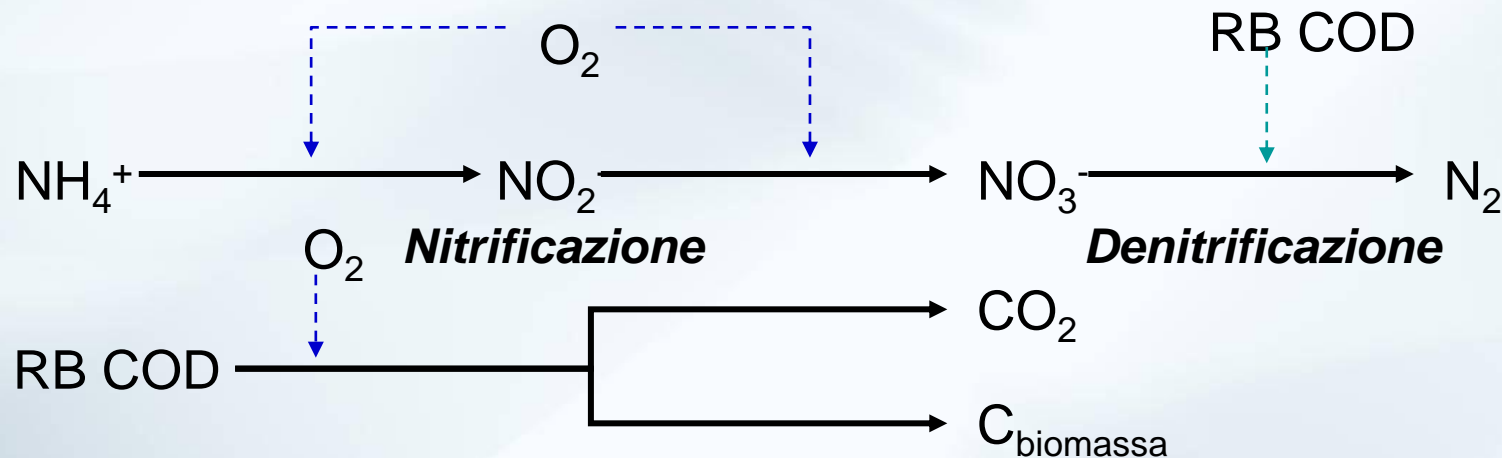
Costi di areazione

Produzione NO_3^-

NO_3^- Set-point

Costi di dosaggio e ricircolo

N totale in uscita



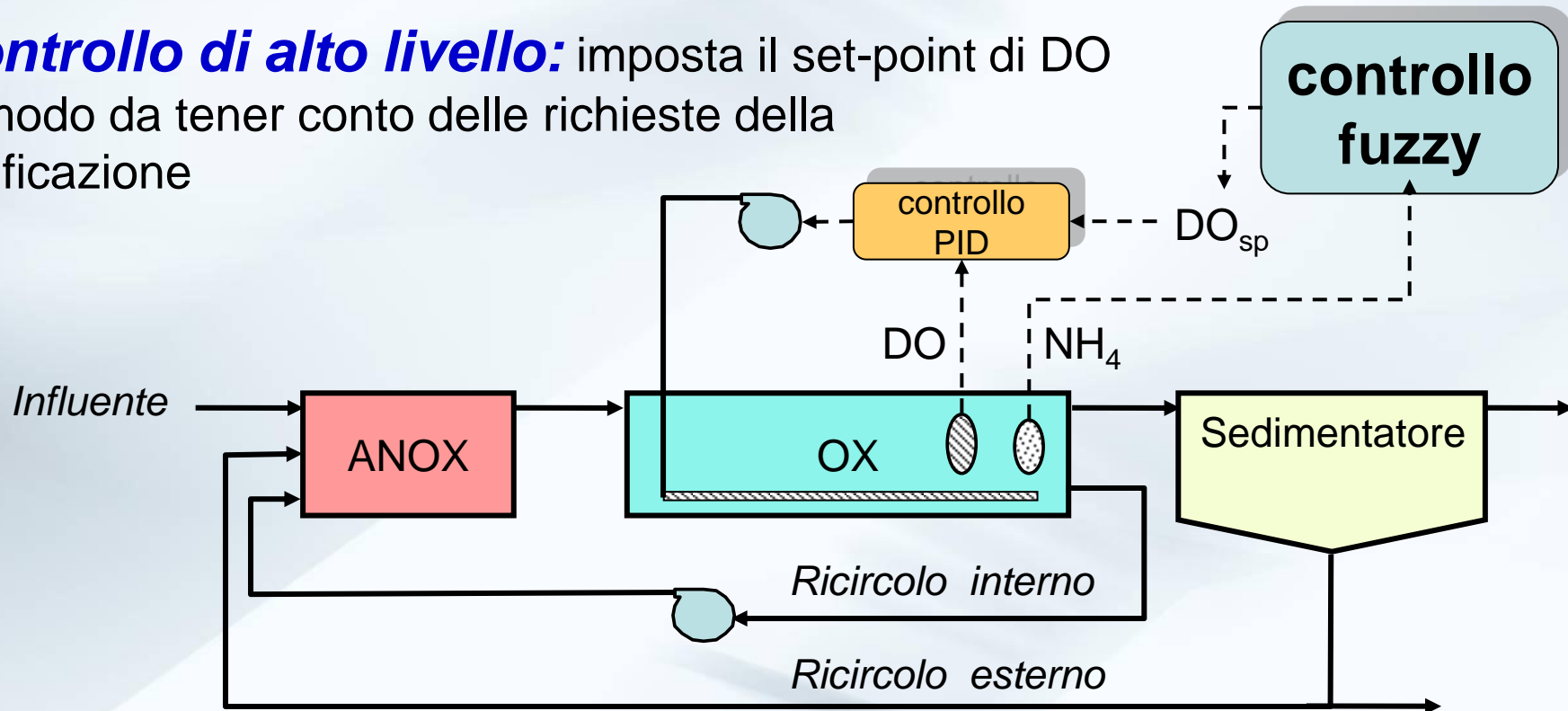
L'aerazione va controllata perché:

- Se è eccessiva, crea un carico eccessivo per la denitro e richiede aggiunta di carbonio (antieconomica);
- Se è insufficiente può produrre NO_2^- nell'effluente ed una quantità insufficiente di Azoto ossidato per la denitro

Controllo a due livelli dell'aerazione

Controllo di basso livello: mantiene il DO al livello richiesto dal controllore di alto livello

Controllo di alto livello: imposta il set-point di DO in modo da tener conto delle richieste della nitrificazione



Controllo Fuzzy

Un regolatore Fuzzy si compone di:

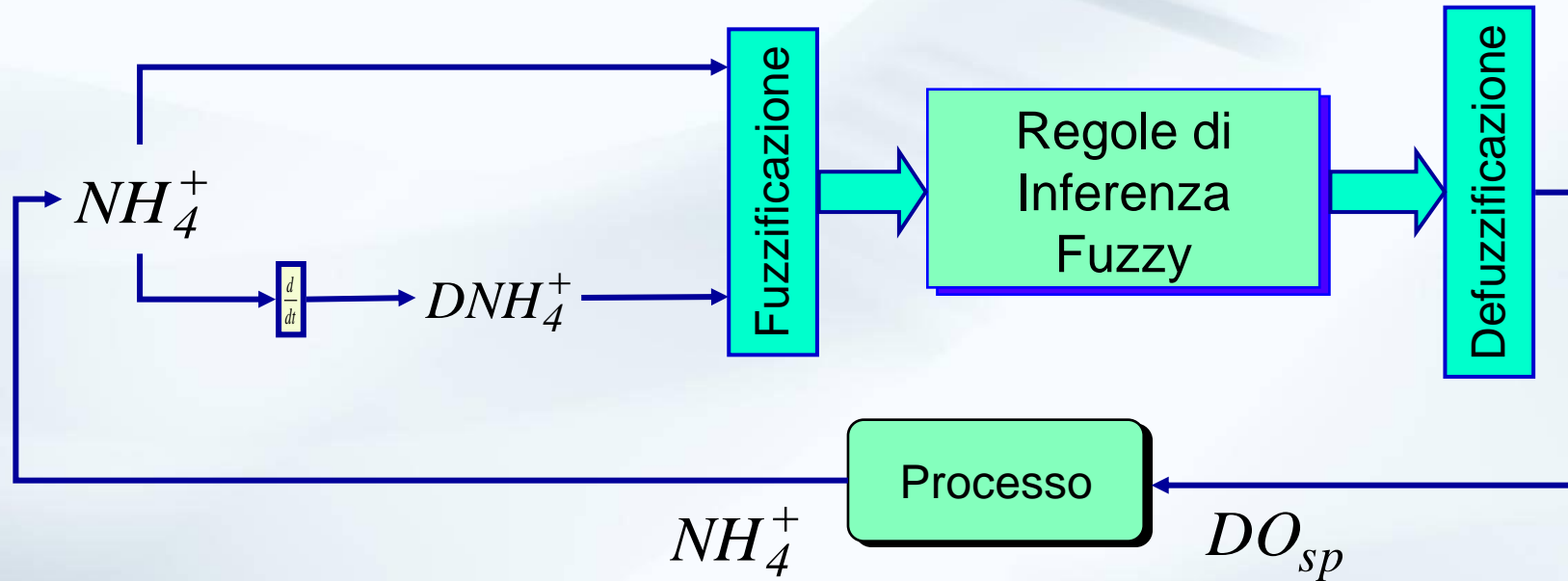
- Insiemi di qualificazione fuzzy per le variabili coinvolte (Antecedenti e Conseguenti)
- Un insieme di regole di inferenza, che legano l'antecedente (o gli antecedenti) al conseguente attraverso implicazioni logiche del tipo

IF NH_4^+ is verylow AND DNH_4^+ is Negative THEN DO_{sp} is very low

Antecedent Antecedent Conseguent

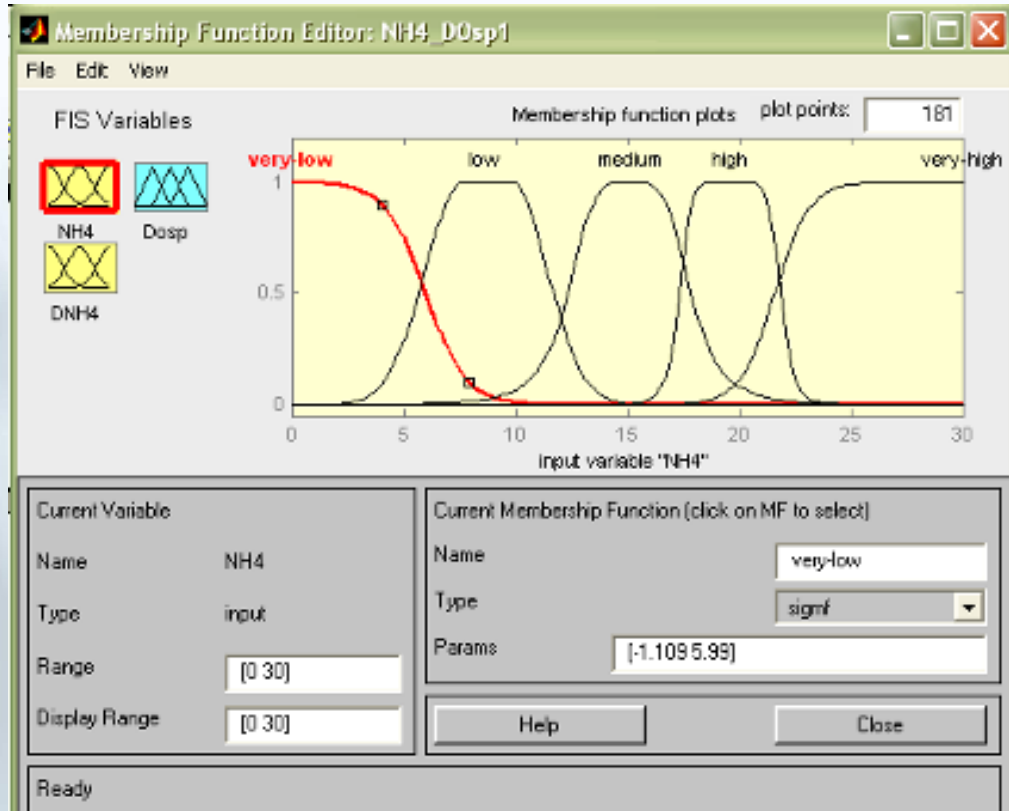
- Un criterio di aggregazione delle regole (logica Fuzzy)
- Un metodo di defuzzificazione per ottenere la variabile deterministica di uscita

Struttura del regolatore Fuzzy

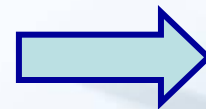


- ❑ La regolazione è basata sul segnale e sulla sua derivata
- ❑ Nei casi più semplici le regole di inferenza vengono specificate in modo euristico basandosi sulla conoscenza diretta del processo
- ❑ Per i casi più complessi, esistono metodi di generazione automatica delle regole

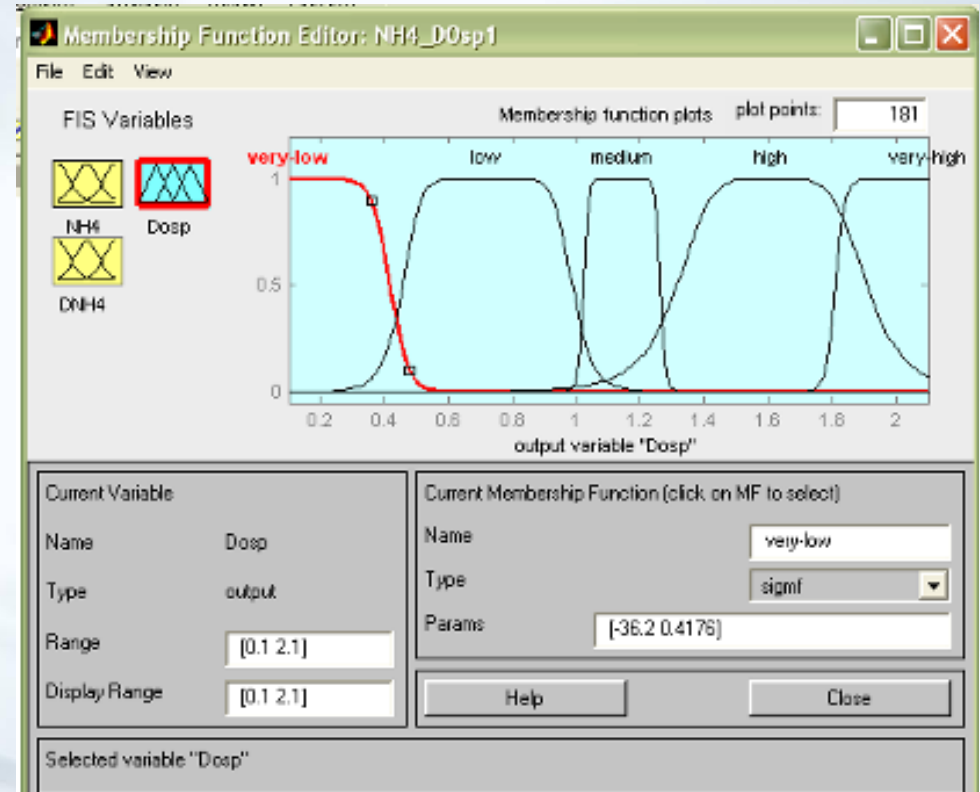
Progettazione del regolatore Fuzzy



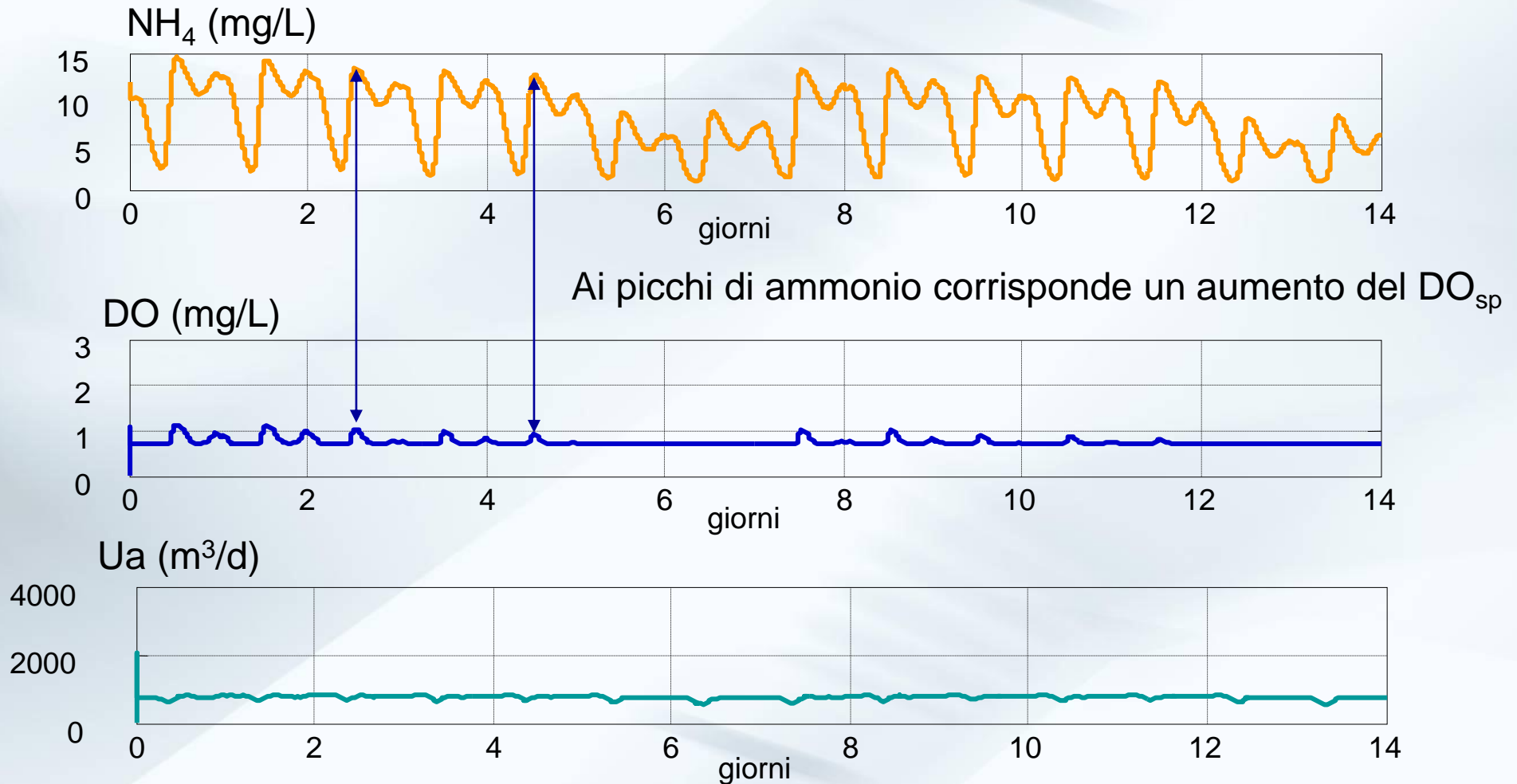
Definizione dei qualificatori per il Set-Point di Ossigeno Disciolto



Definizione dei qualificatori per l'Ammonio



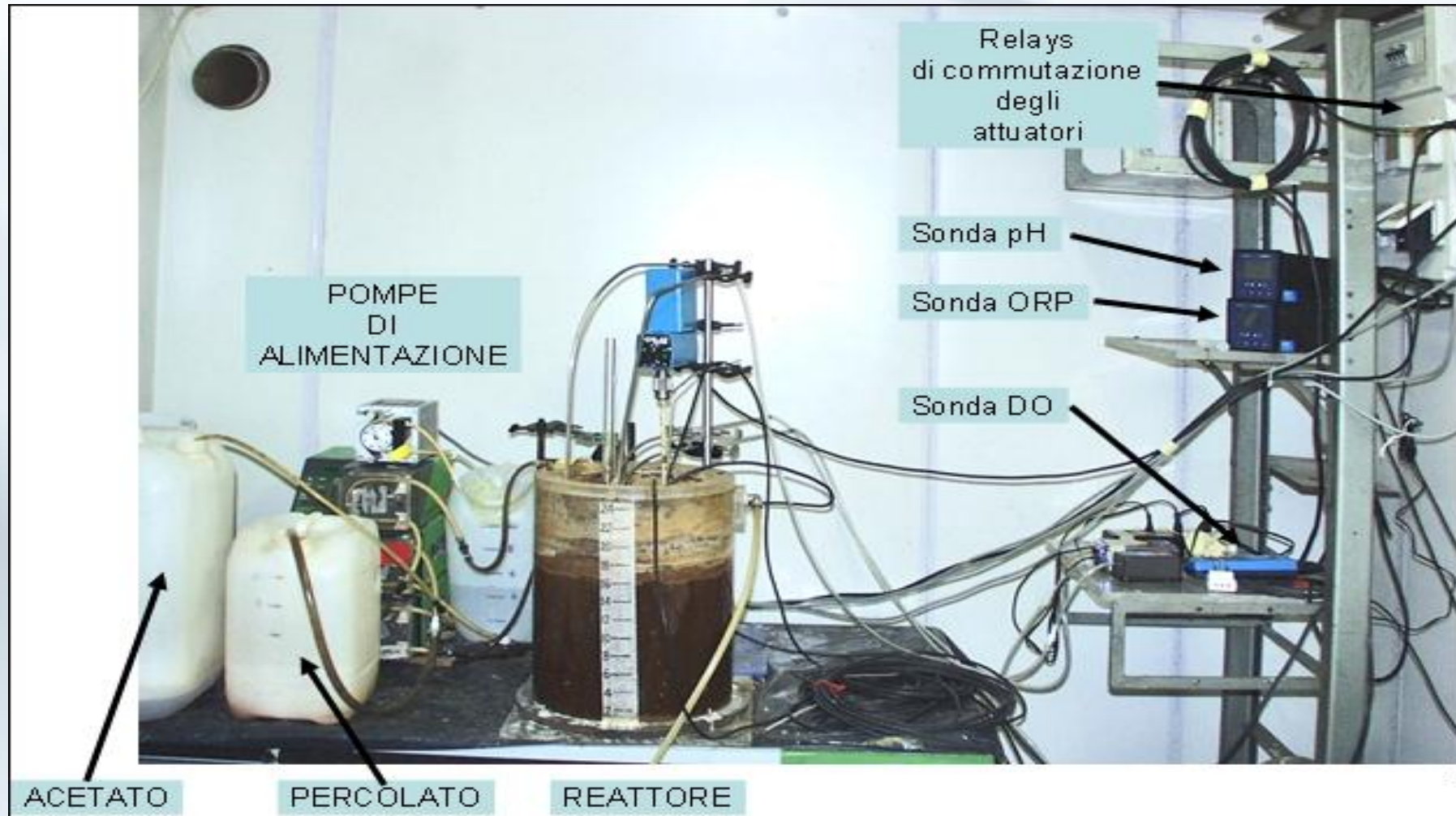
Risultati del controllo Fuzzy



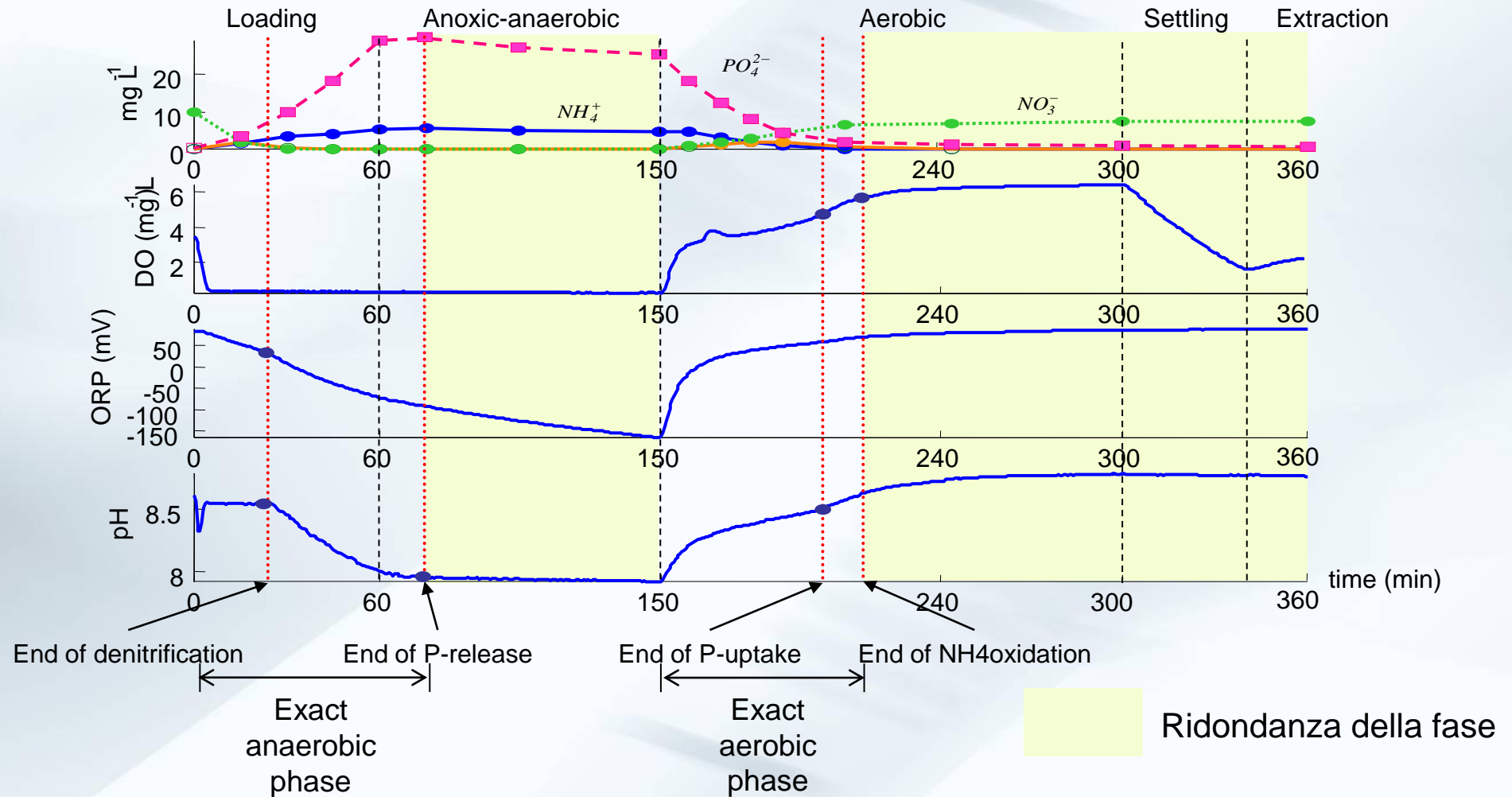
Controllo della commutazione in un SBR

- Sperimentazione su impianto pilota da 20L trattante percolato da discarica di composizione variabile
- La commutazione è necessaria per creare l'ambiente favorevole all'eliminazione biologica dei nutrienti, per i quali non sarebbe economico fare misure dirette
- Si ricorre a misure indirette di parametri chimico-fisici:
 - pH, RedOx, DO
- Si devono individuare delle regole di inferenza per risalire dalla conoscenza di queste variabili allo stato del processo
 - Motore inferenziale fuzzy

SBR pilota telecontrollato



Ridondanza del ciclo standard

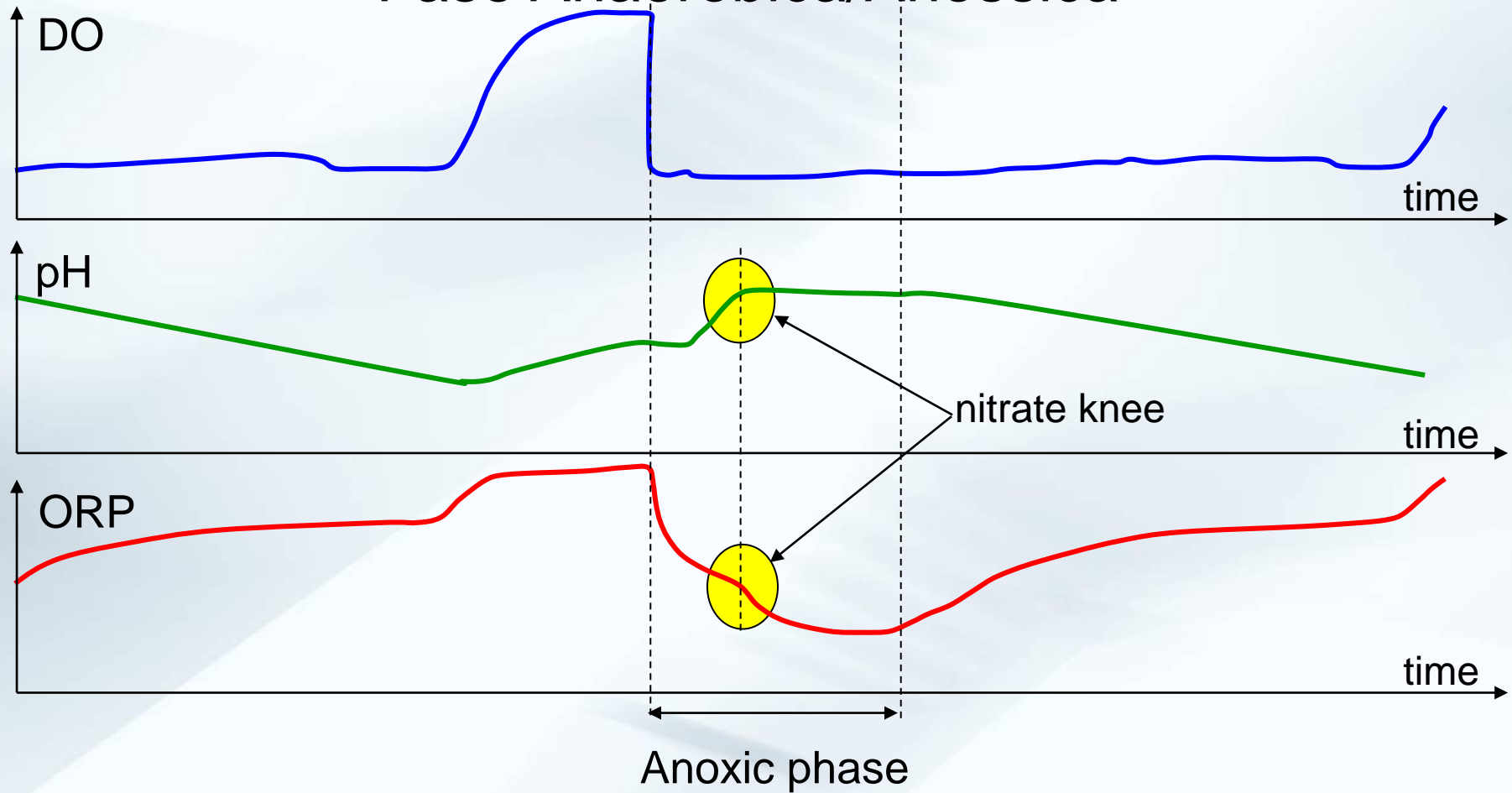


Regole di individuazione dei punti critici

Fase	Processo	Indicatore
Anaerobica/Anossica	Denitrificazione	Ginocchio dei nitrati
Aerobica	Nitrificazione	<ul style="list-style-type: none"> • Deciso aumento DO • Ammonia valley • Discontinuità ORP $\frac{dDO}{dt} \rightarrow 0+ \quad \frac{d pH}{dt} \rightarrow 0+$
Segnali utilizzati		$\frac{dDO}{dt} \quad \frac{d pH}{dt} \quad \frac{d^2 ORP}{dt^2}$

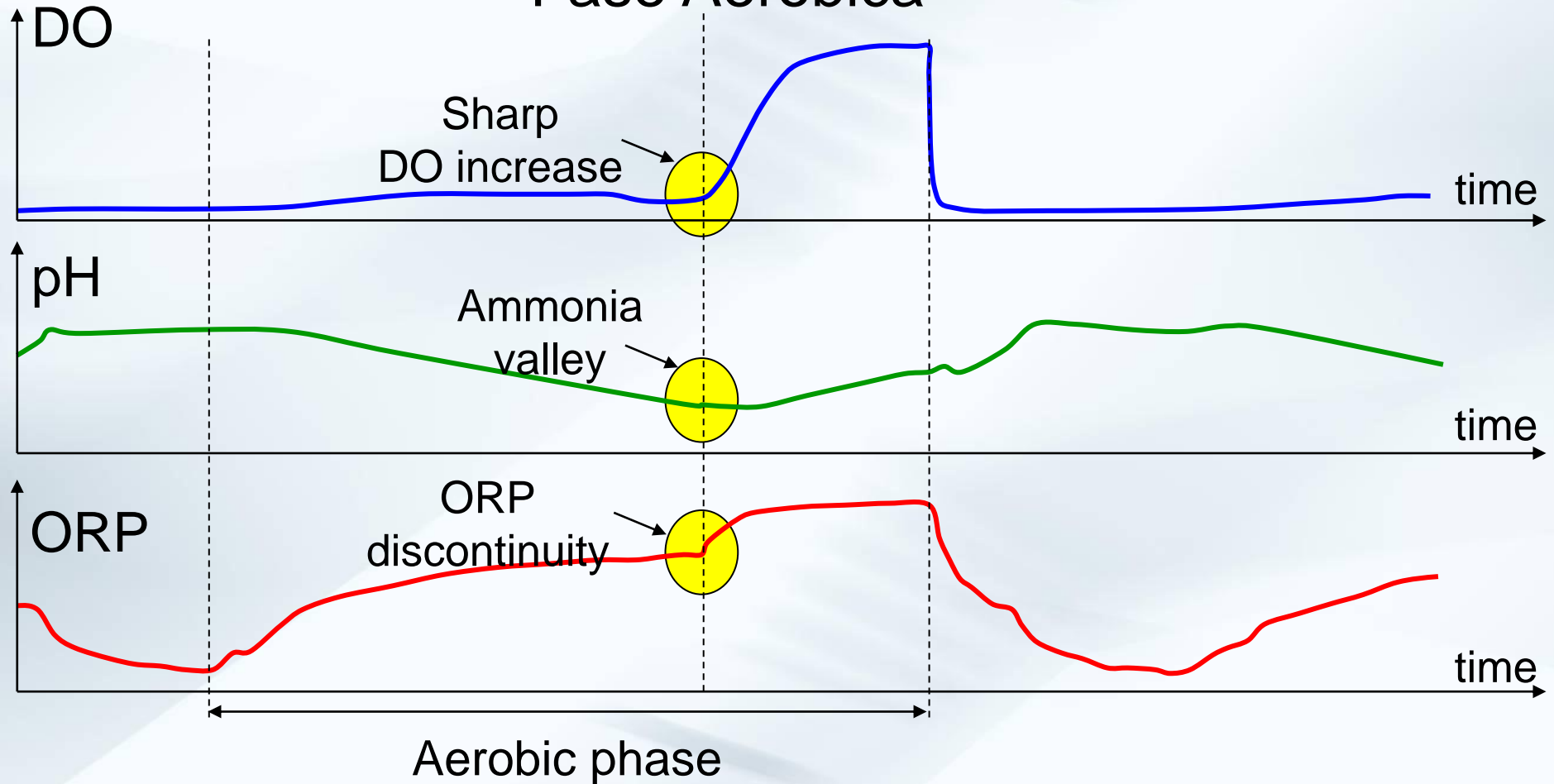
Individuazione dei punti critici

Fase Anaerobica/Anossica

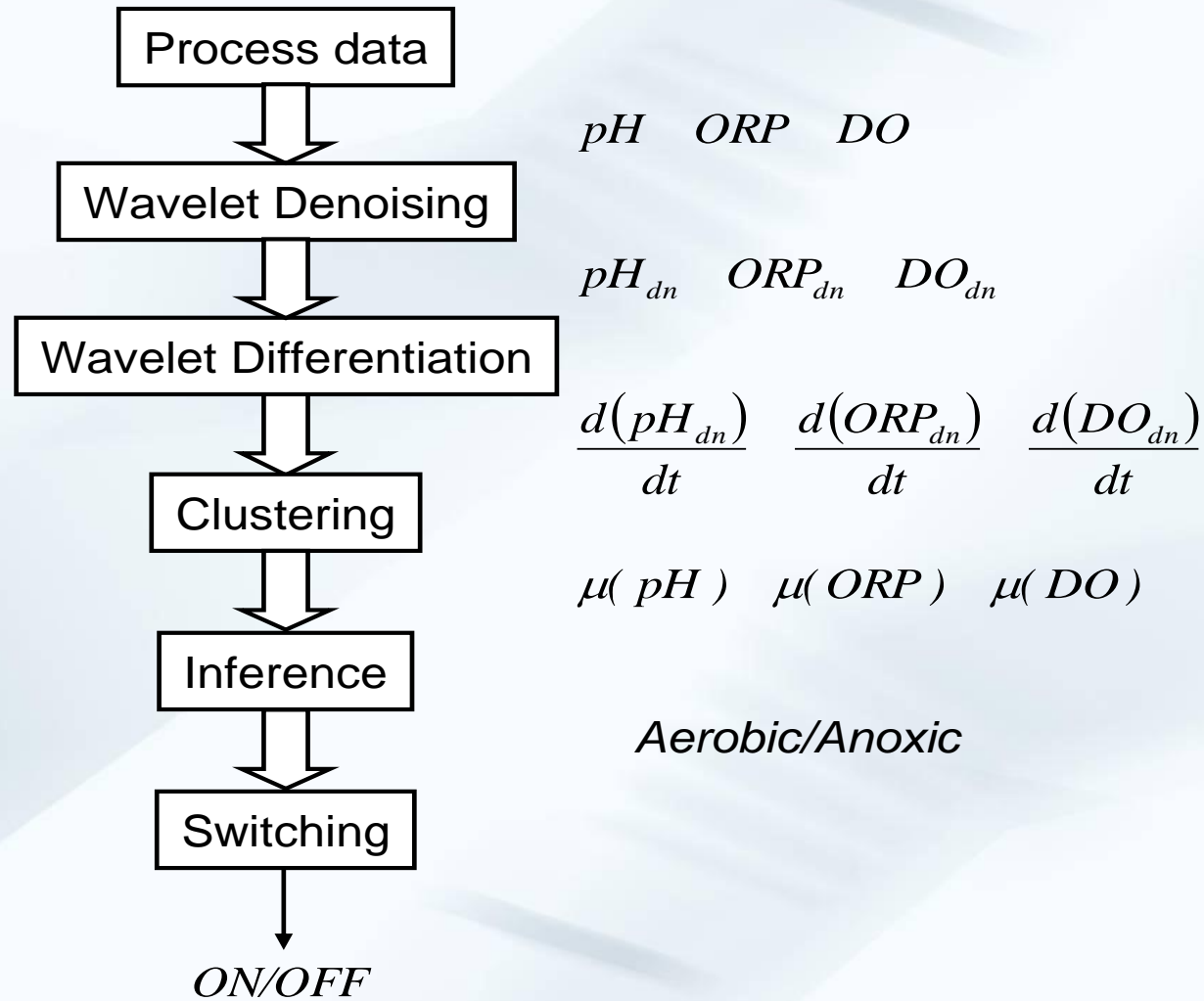


Individuazione dei punti critici

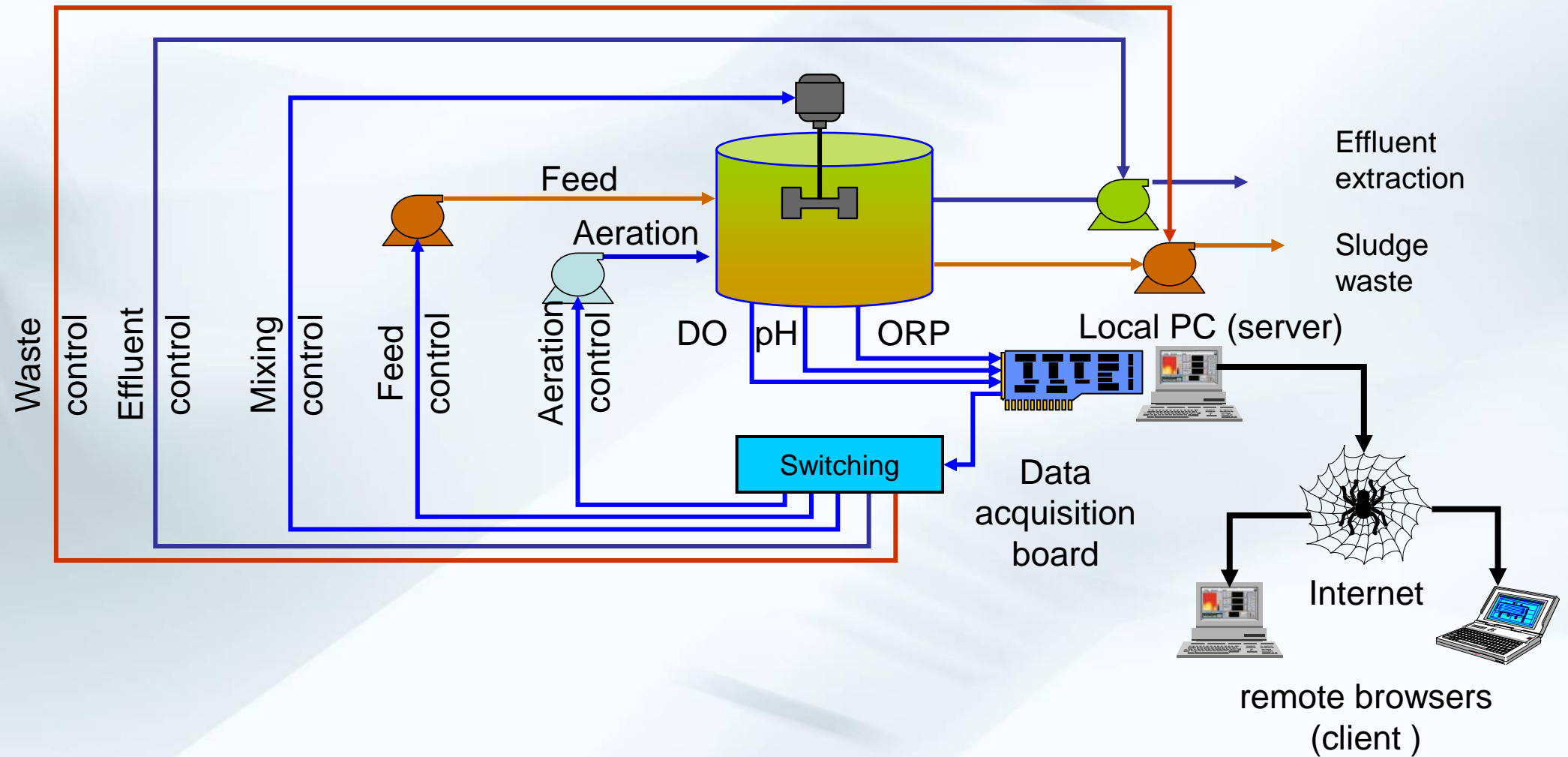
Fase Aerobica



Sequenza delle operazioni di inferenza



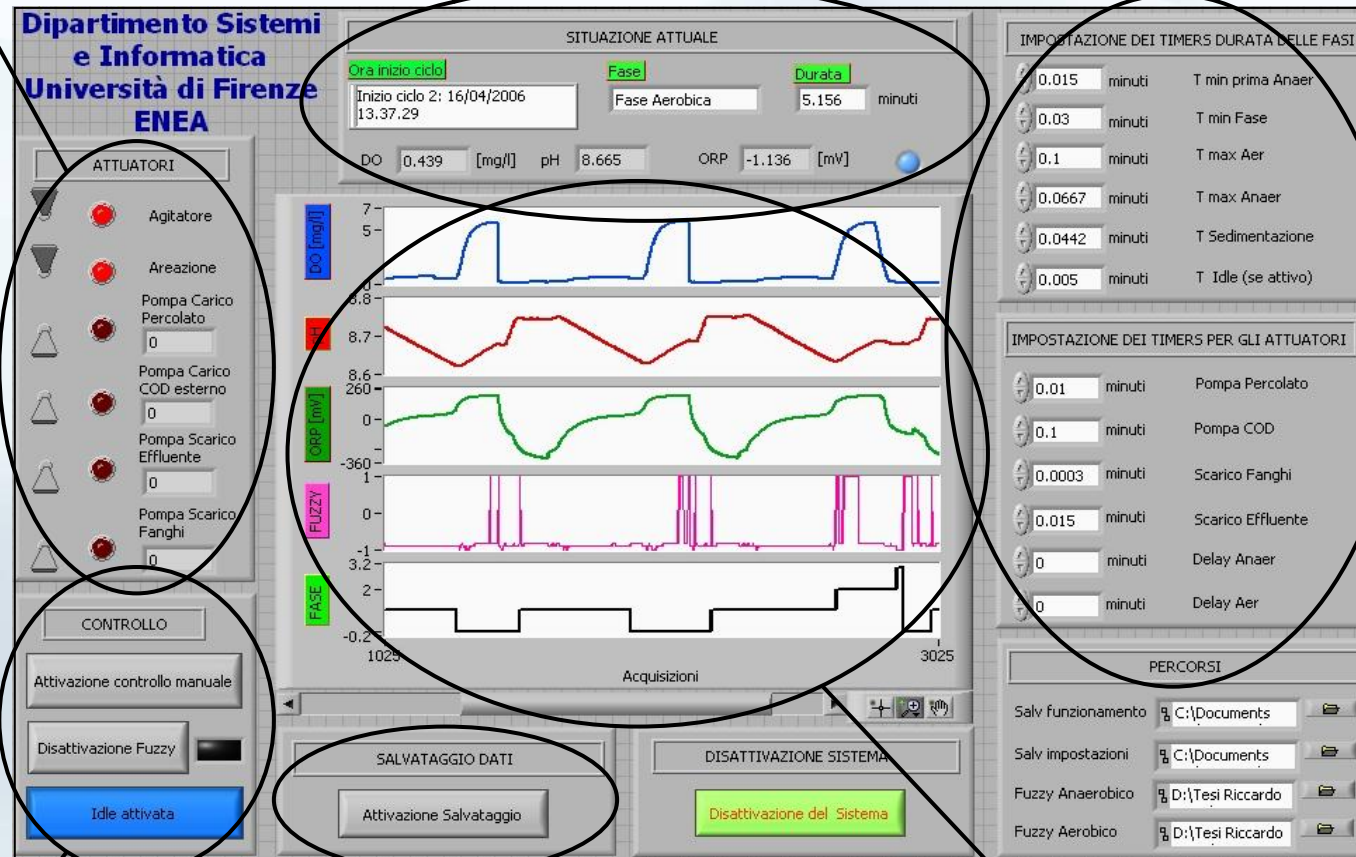
Configurazione del sistema SBR controllato



Vista del pannello del sistema di controllo

Pannello attuatori Situazione attuale

Impostazione Timers

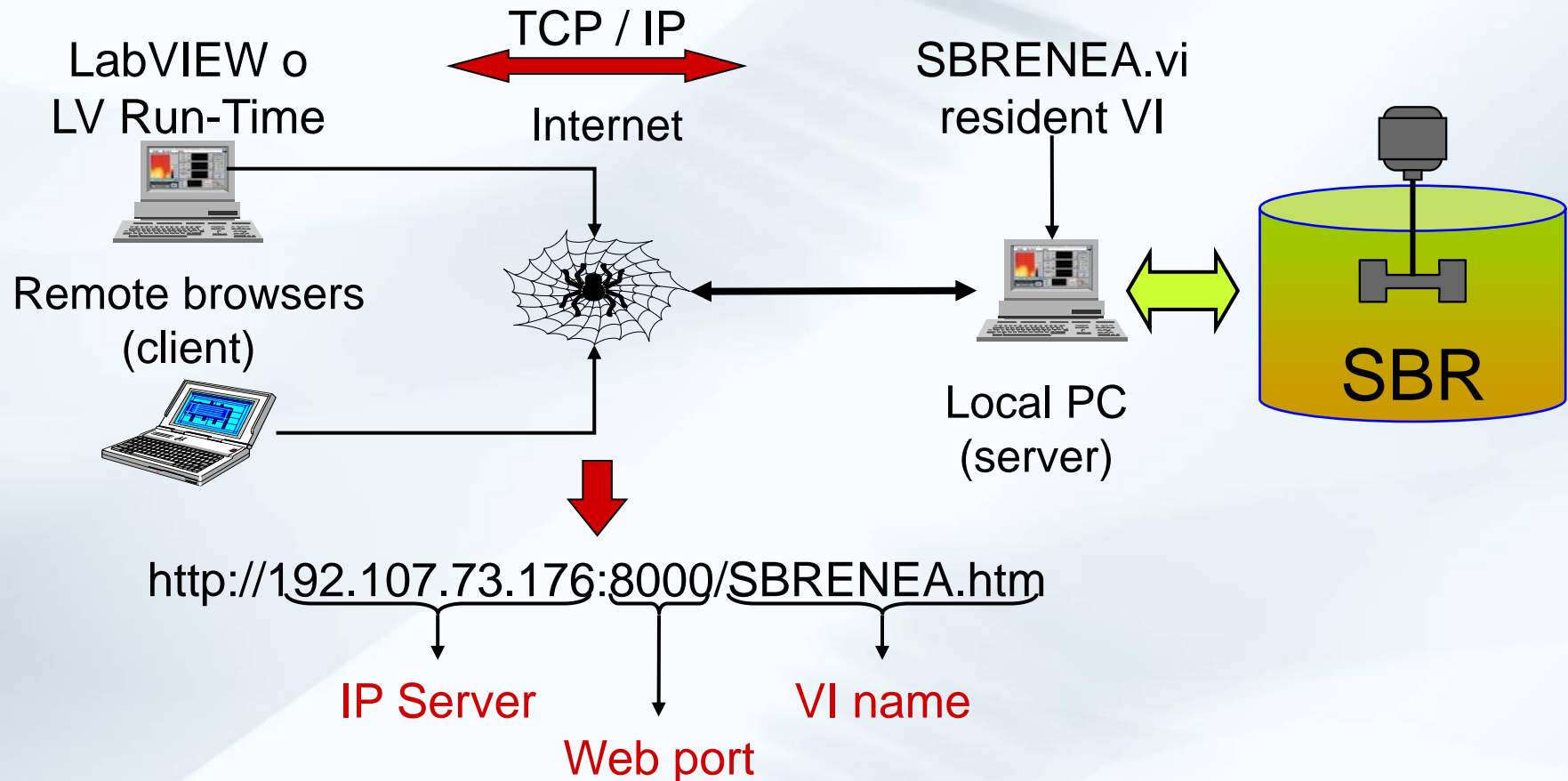


Quadro di controllo

Salvataggio dati

Visualizzazione funzionamento

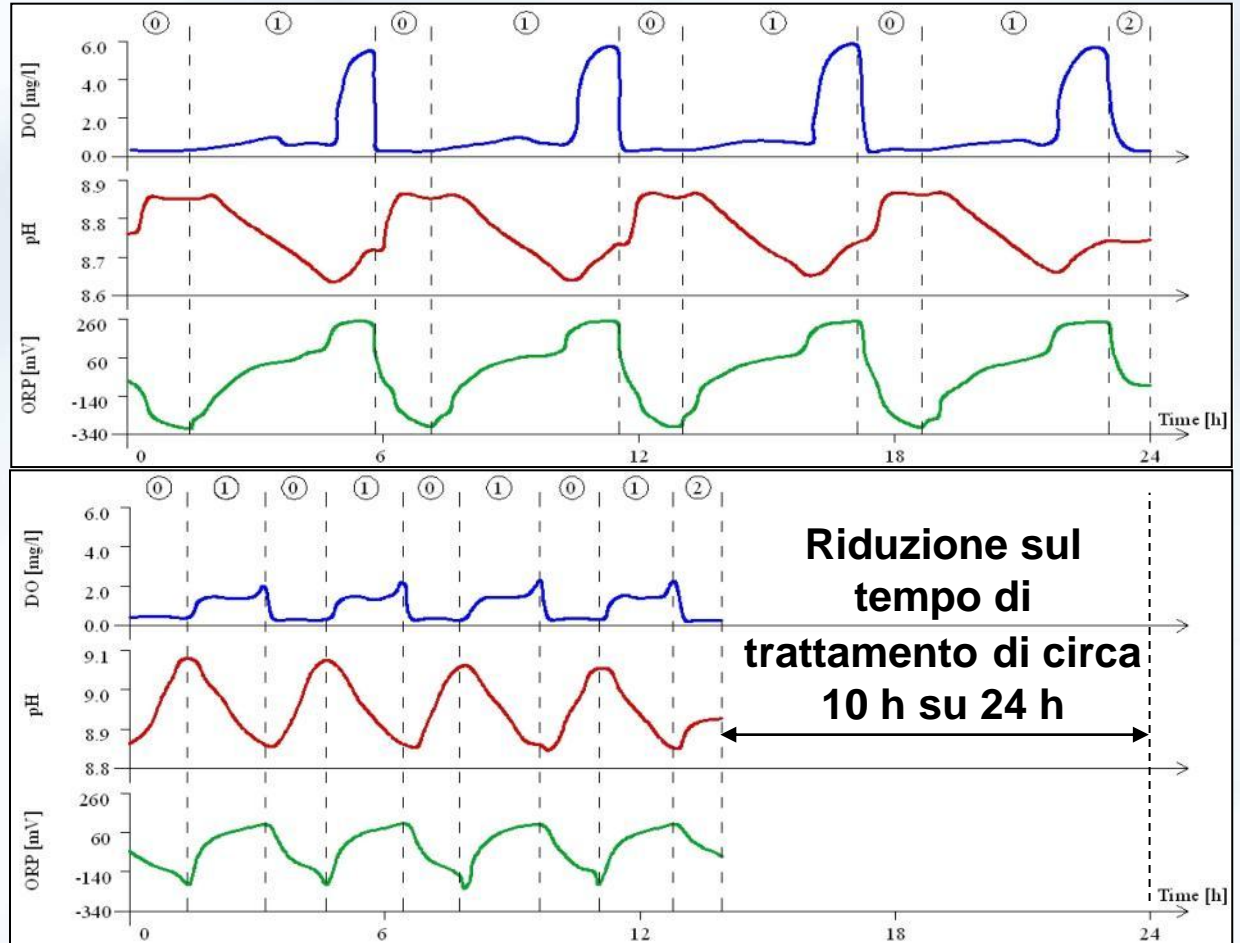
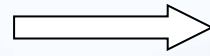
Telecontrollo via Internet



Web Service: permette di configurare il server su cui è in funzione l'applicazione in modo tale da permettere la gestione dell' impianto da remoto.

Risultati ottenuti

Processo con controllo temporizzato



Risultati sul breve periodo

Processo controllato



FEDERAZIONE NAZIONALE
IMPRESE ELETTROTECNICHE
ED ELETTRONICHE



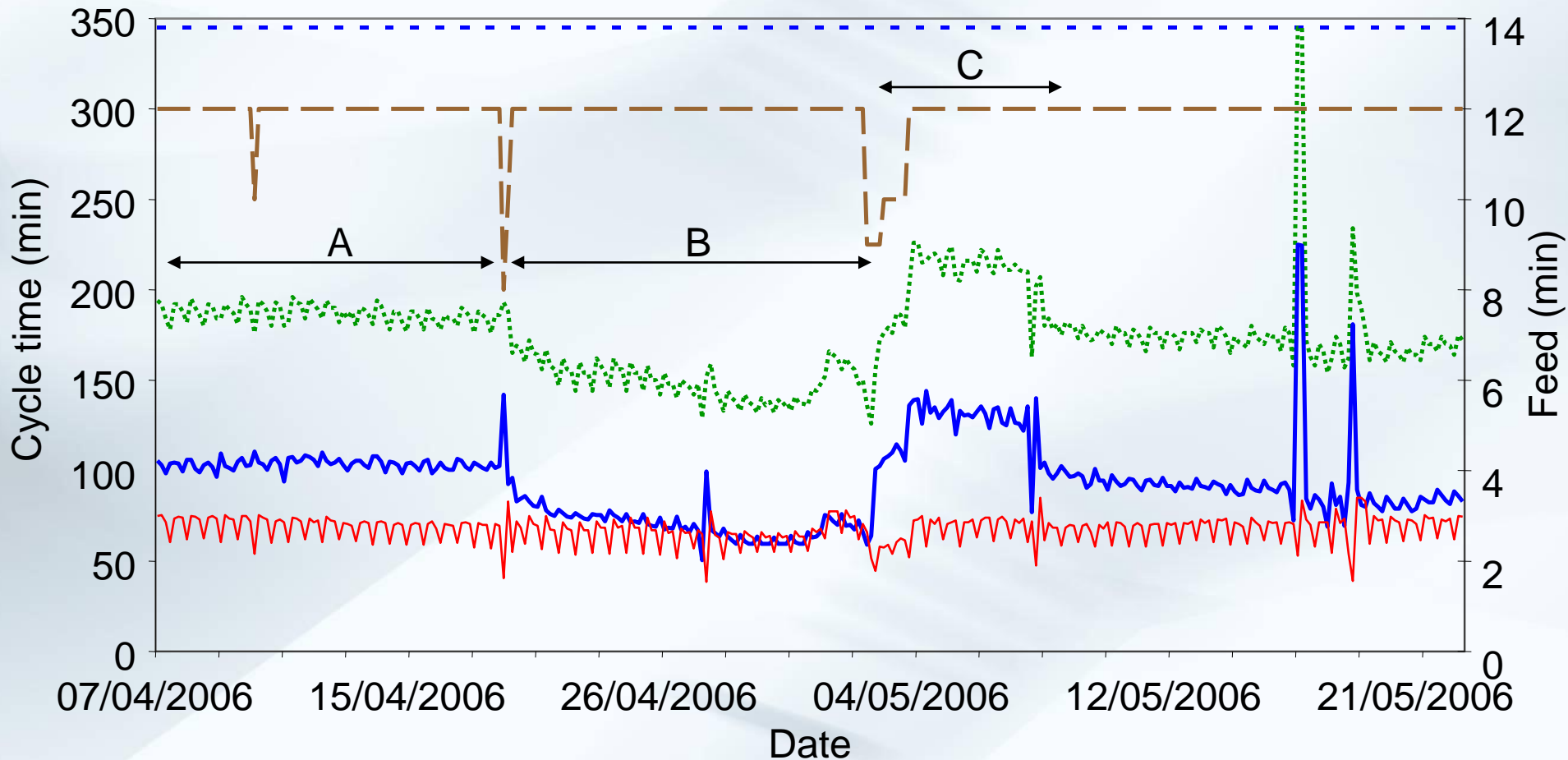
DAL 1945 IL VALORE DELL'INNOVAZIONE

AssoAutomazione
Associazione Italiana
Automazione e Misura

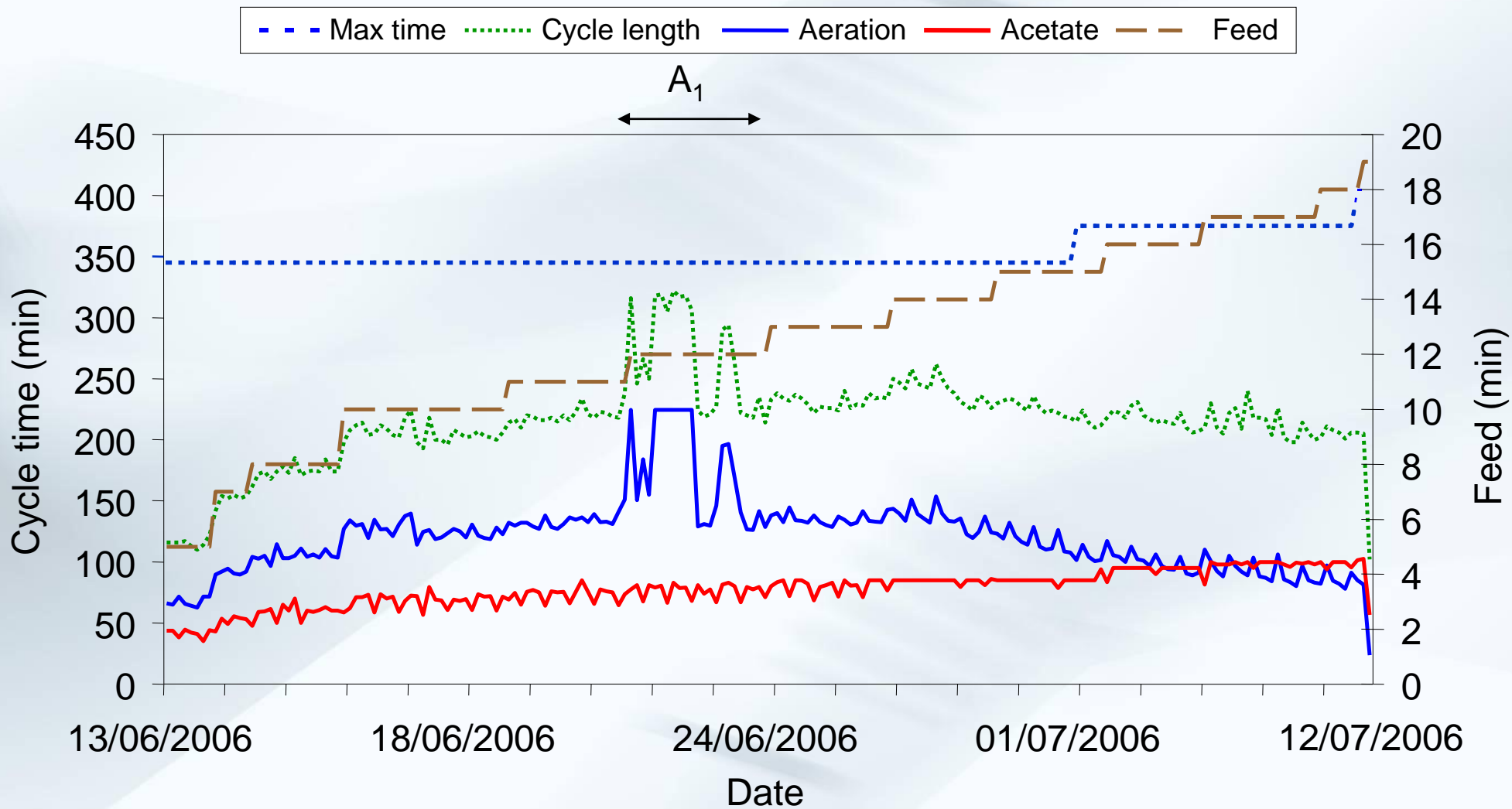


Prestazioni a lungo termine

--- Max time Cycle length — Aeration — Acetate - - - Feed



Aumento di carico



Conclusioni

- **L'automazione di processo** è oggi indispensabile per raggiungere gli standard di qualità richiesti con la necessaria economia e sicurezza di esercizio
- Il suo successo si basa su:
 - Esistenza di modelli di processo dettagliati ed affidabili (famiglia ASM)
 - Protocolli standard di simulazione (Benchmark)
 - Applicazione di concetti avanzati di Controllo dei Processi
 - Intelligenza Artificiale (Reti neurali, Sistemi Fuzzy)
 - Controllo predittivo
 - Stima parametrica
 - Disponibilità di sistemi di acquisizione e trasmissione dati (controllo distribuito) affidabili ed economici.