

Strumenti, tecniche e metodologie per la gestione intelligente di sistemi complessi

Luca Luccarini
ENEA

Torino, 14-15 Ottobre 2015



Italian DHI Conference 2015

Sistemi complessi

Sistemi *aperti* caratterizzati da:

- Presenza di *numerosi elementi* più o meno complessi
- Interazioni *locali* e *non lineari*

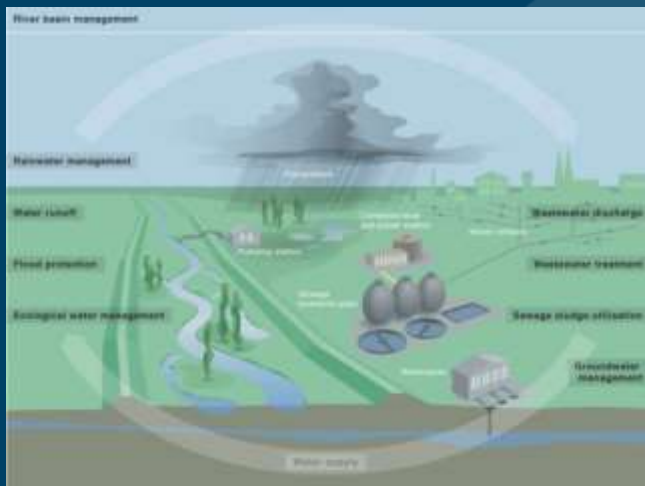


Struttura a *rete* con *retroazioni* positive e negative

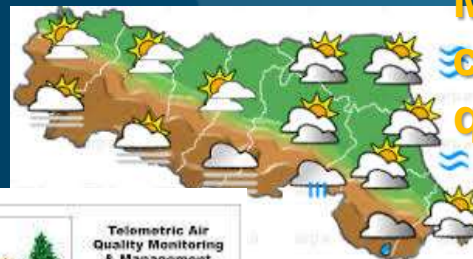
Attitudini

- Capacità di evolversi e adattarsi
- Robustezza
- Diversi livelli di organizzazioni

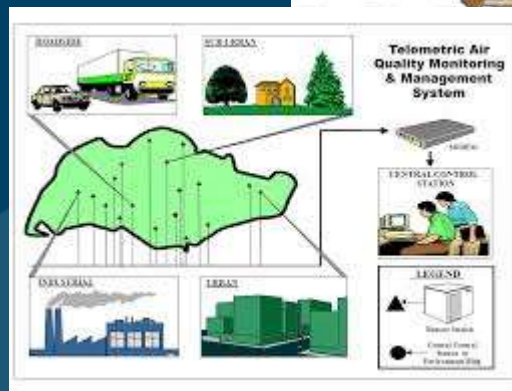
Sistemi complessi ambientali (esempi)



Gestione bacini fluviali



Monitoraggio e controllo qualità dell'aria



Monitoraggio e controllo impianti di depurazione



Approccio metodologico

Come approcciare i sistemi complessi?

- Formulando *ipotesi* e definendo *modelli matematici*
- *Simulando* i modelli al calcolatore
- Conducendo *attività sperimentali* e di *analisi dati*

Approccio olistico

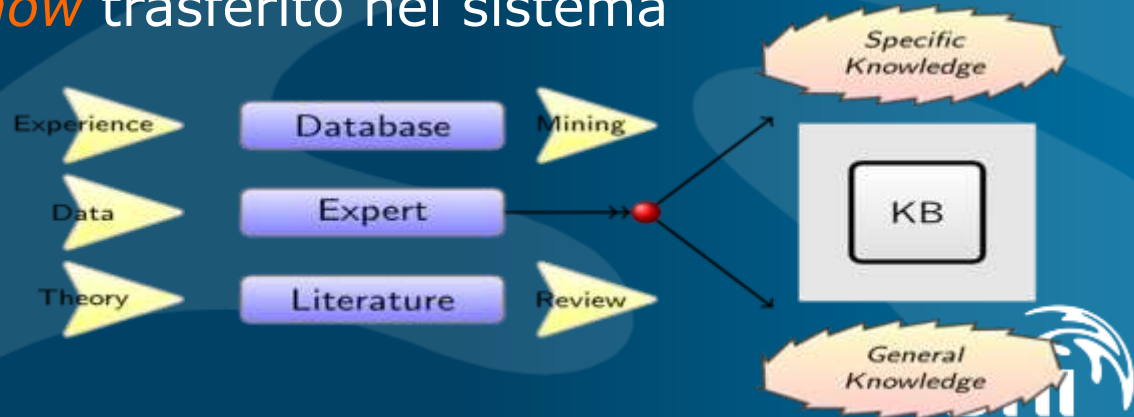
interpretare il comportamento del sistema come risultato delle relazioni tra le sue parti

Knowledge-Based Systems

- Politiche note di gestione e ottimizzazione basate sulla **competenza** degli esperti:
 - Includono criteri **empirici**
 - Rafforzabili con **osservazioni** continue



Know-how trasferito nel sistema



Gestione intelligente di sistemi complessi

OBIETTIVO

– Automatizzare le attività:

- *Monitoraggio*
- *Controllo*
- *Diagnosi*
- *Supervisione*

– Risorse disponibili:

- **Segnali** diretti e indiretti
 - ✓ Acquisiti in tempo reale
 - ✗ Sistemi non completamente osservabili
- **Conoscenza** (parziale) da esperti del dominio

«Intelligenza»

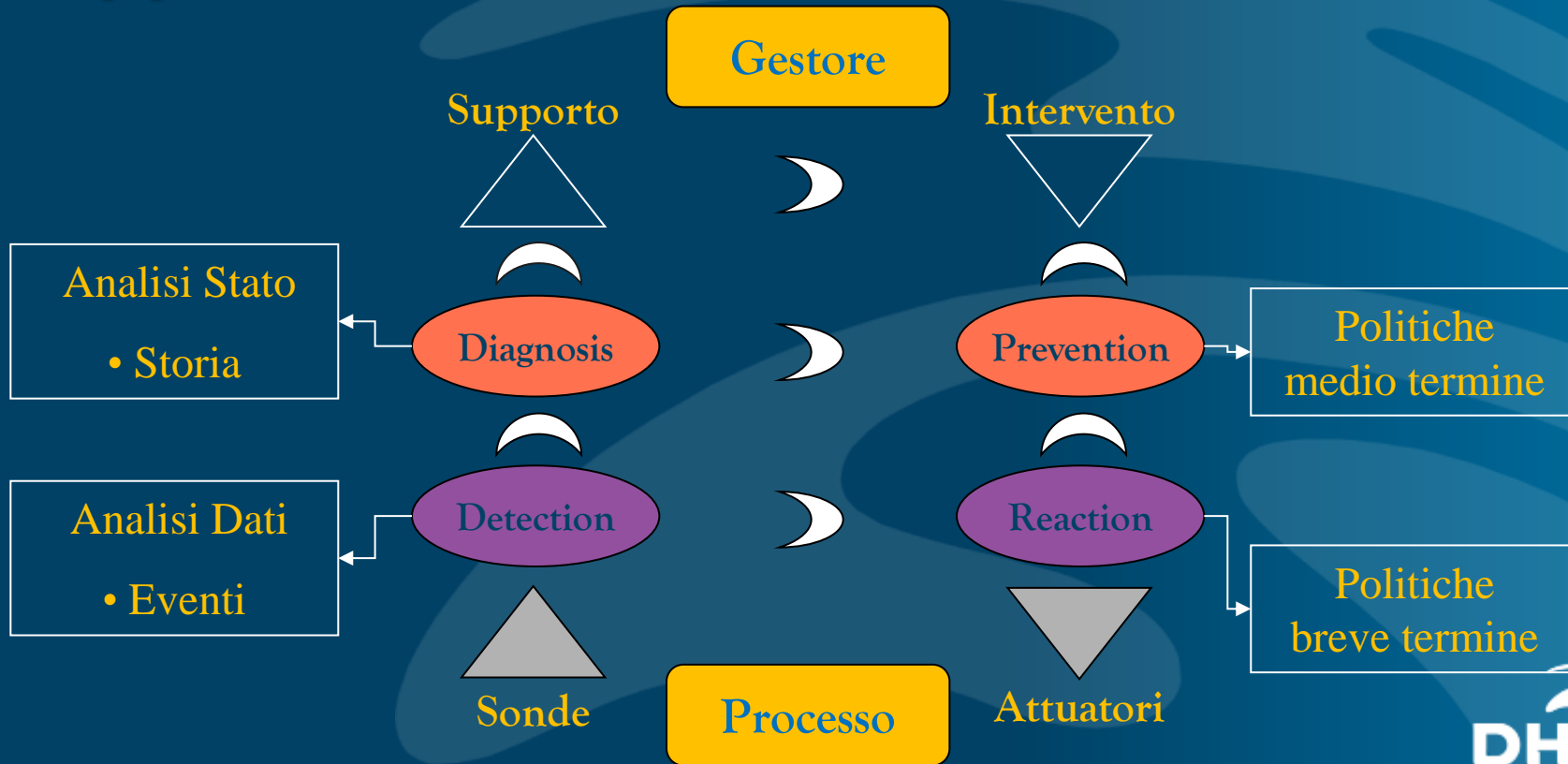
- Riconoscere lo **stato** esterno
 - Costruirsi un modello
 - Confrontare il modello con le osservazioni
 - Capacità di **apprendere**
 - Incrementare la conoscenza con l'elaborazione di nuove informazioni
 - Apprendere dagli stimoli esterni
 - **Agire** di conseguenza
 - “Belief, Desire, Intention”
- Identificare lo **stato** di funzionamento dell'impianto
 - Confrontare l'andamento atteso con i valori misurati
 - Capacità di **apprendere**
 - Adattarsi ai cambiamenti delle condizioni di regime
 - Estrarre informazione e correlazioni dai dati acquisiti
 - Definire e **attuare** in tempo reale le politiche di gestione ottimale

Sistema “*naturale*”

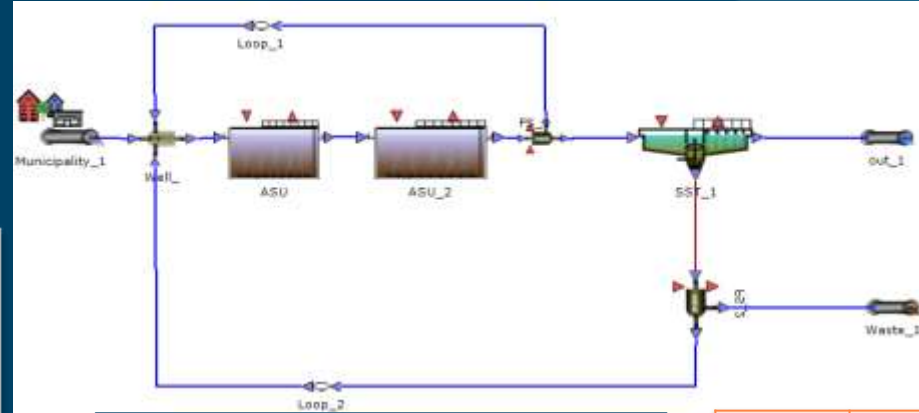
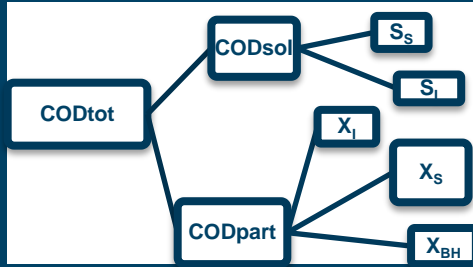
Sistema “*artificiale*”



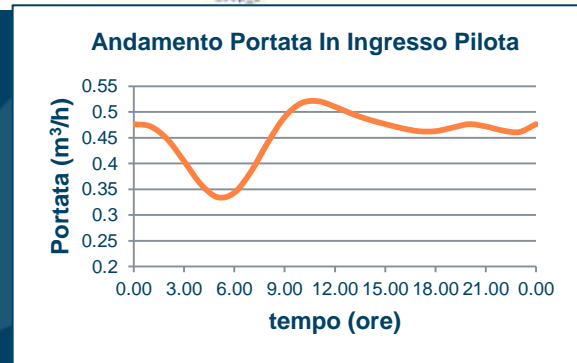
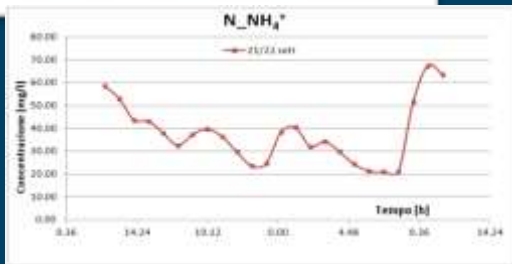
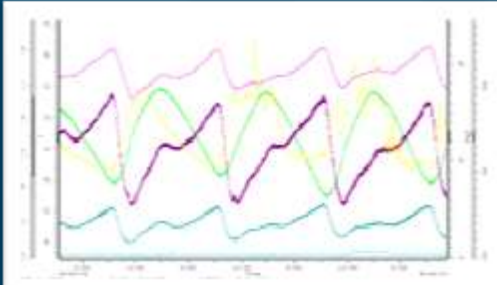
Supporto alla Gestione



Strumenti / 1 : Modelli matematici

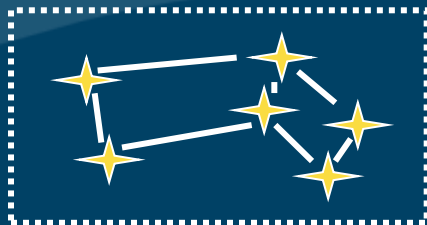


Main Features	Value	U.M
Anoxic Tank Volume	94,5	L
Aerobic Tank Volume	175,5	L
Settler	83	L
Influent Flow	460	L/d
External Recycle Flow	430	L/d
Internal Recycle Flow	760	L/d
Waste Flow	3	L/d
kla	140	1/d



Parametro	Valore prova 1 (20°C)	Valore prova 2 (20°C)	Valore di letteratura in WEST (20°C)
$\mu H [d^{-1}]$	4.44	6.03	6
$k_s [mgCOD/l]$	0.95	0.99	20
$b' [d^{-1}]$	0.63	-	0.62
$\mu A [d^{-1}]$	0.74	0.80	0.8
$k_{NH} [mgN/l]$	0.21	0.41	1

Strumenti / 2 : Reti Neurali



► Approssimazione di **relazioni** non lineari

- Apprendimento da esempi
- Classificazione

► Approssimazione di **sistemi** non lineari

- Stato con retroazione

Esempio : Stimare concentrazioni di inquinanti a partire da segnali indiretti

Usato per :

Detection, Reaction,
Diagnosis

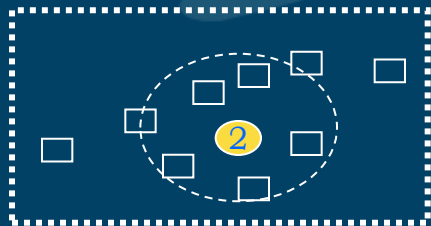
Vantaggi :

- ✓ Apprendimento non supervisionato
- ✓ Non linearità

Svantaggi :

- ✗ Scelta dell'architettura
- ✗ Difficile validazione
- ✗ Estrapolazione

Strumenti / 3: Clustering



► Estrazione di **informazione** significativa da dati grezzi

- Classificazione
- Sintesi
- Ricerca di Correlazioni

Esempio : Associare condizioni operative simili

Usato per :

Detection, (Diagnosis)

Vantaggi :

- ✓ Apprendimento non supervisionato
- ✓ Sintetico

Svantaggi :

- ✗ Richiede molti dati
- ✗ Scelta dei parametri
- ✗ Non analitico

Strumenti / 4

Sistemi a regole

- Specifica **formale** di regole
 - **Procedure reattive**
 - when
 <condition>
 then
 <action>
 - **Attivazioni in cascata**

Usato per : **Reaction, Reasoning**

Vantaggi :

- ✓ Conoscenza dichiarativa
- ✓ Chiarezza

Svantaggi :

- ✗ Non adattivi

Ontologie

- Permettono una rappresentazione formale dei concetti rilevanti in un dominio e delle possibili relazioni che possono intercorrere fra di loro

Vantaggi :

- ✓ Conoscenza dichiarativa
- ✓ Chiarezza

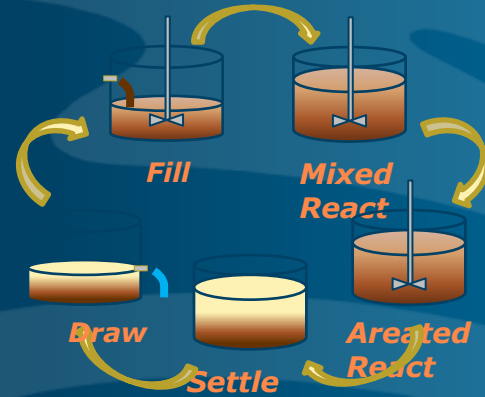
Svantaggi :

- ✗ limitata in potere espressivo
- ✗ non dinamica

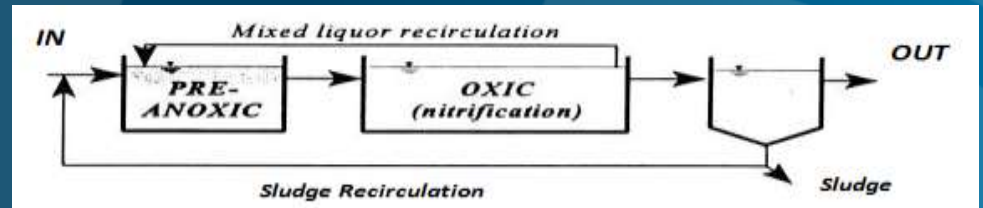


Caso di studio

Sequencing Batch Reactor (SBR)

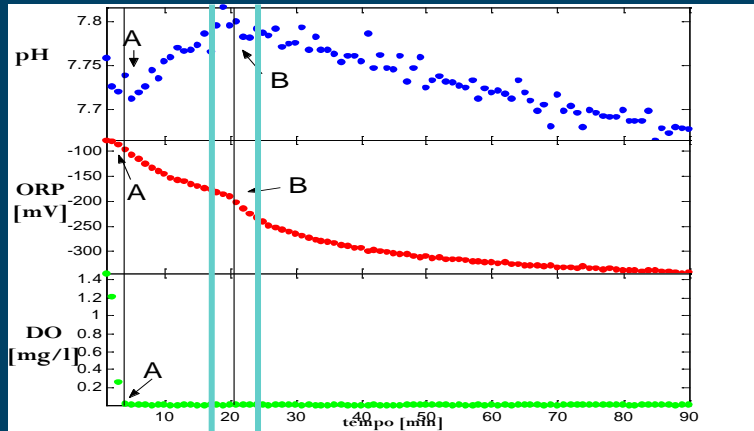


Flusso continuo schema predenitro/nitro



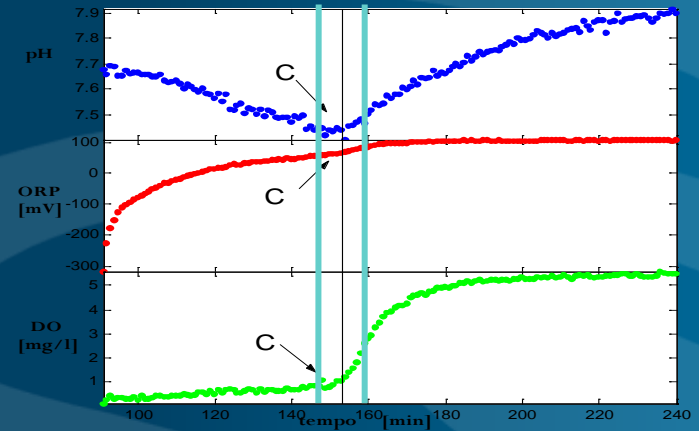
Relazione pH, ORP e DO e processi biologici

■ Fase Anossica



Termine processo di
Denitrificazione

■ Fase Aerobica



Termine processo di
Nitrificazione

Caso di studio : Denitrificazione

Identificare lo **Stato** di funzionamento

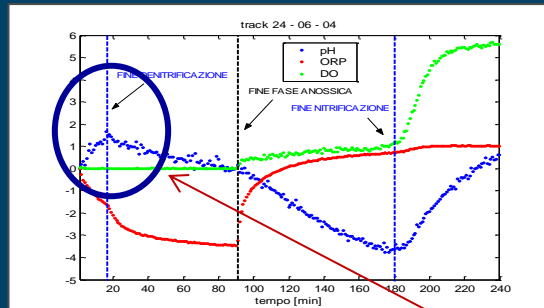


Applicare le **Politiche** ottimali

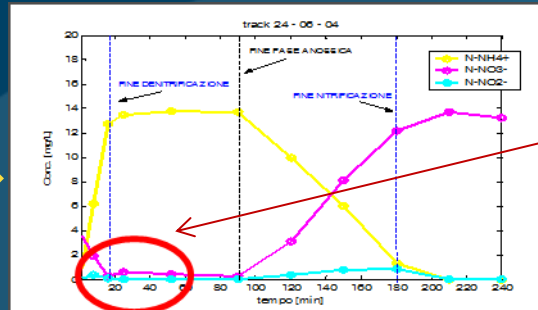
Esempio: **Termine** della Denitrificazione

Abbattimento della concentrazione di Nitrati $[\text{NO}_3^-](t)$

Identificare l'istante T_{EOD} in cui $[\text{NO}_3^-] \approx 0$



Input



Output qualitativo

- Stima (real time) delle **proprietà**

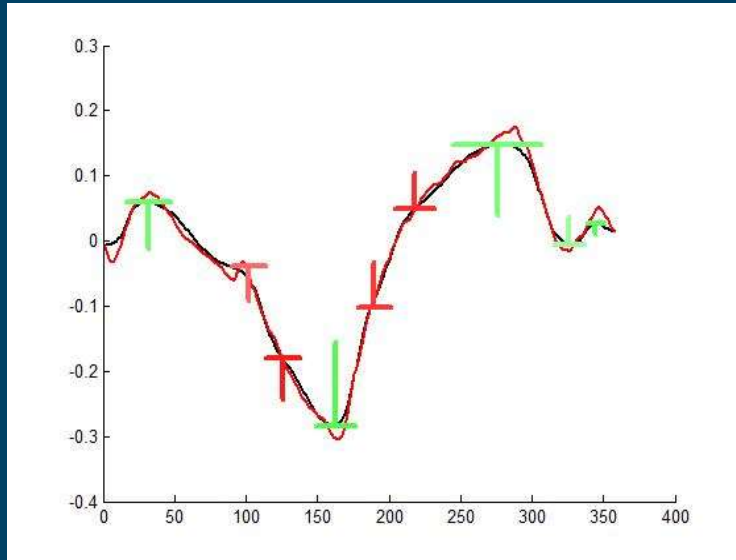
Output quantitativo

- Stima (real time) delle **grandezze**

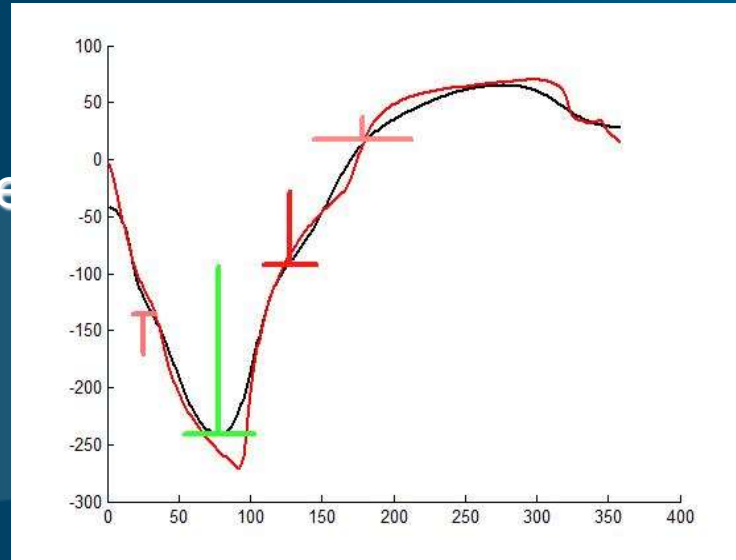
Analisi e Interpretazione
DHI

Caratteristiche dei Segnali

Fase anossica ciclo SBR

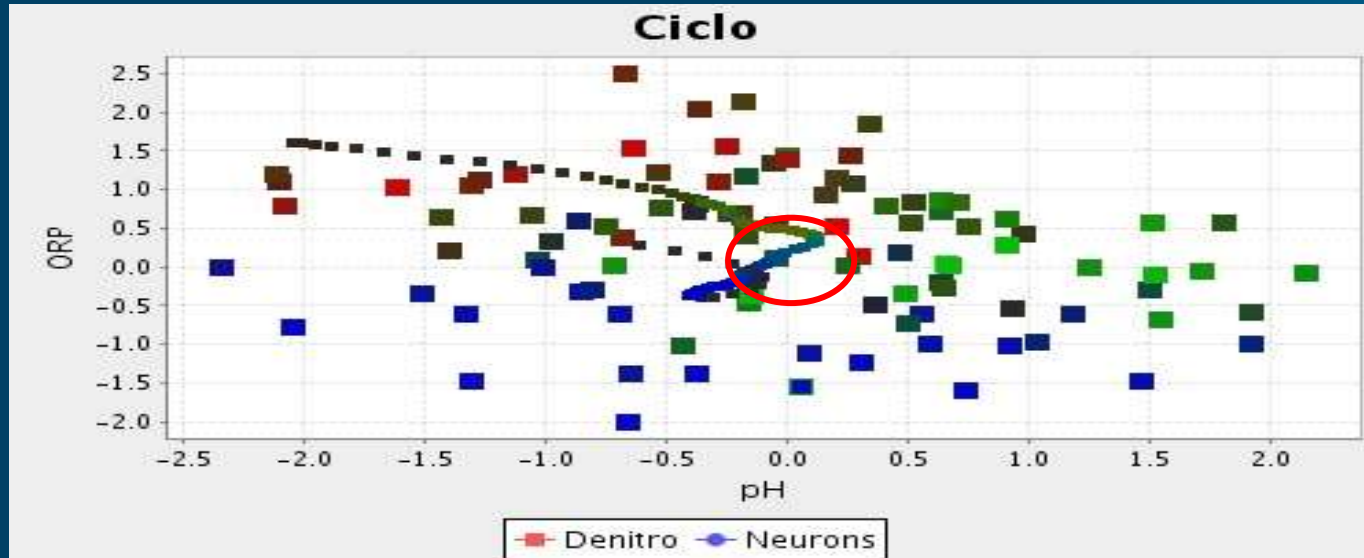


Fase aerobica ciclo SBR



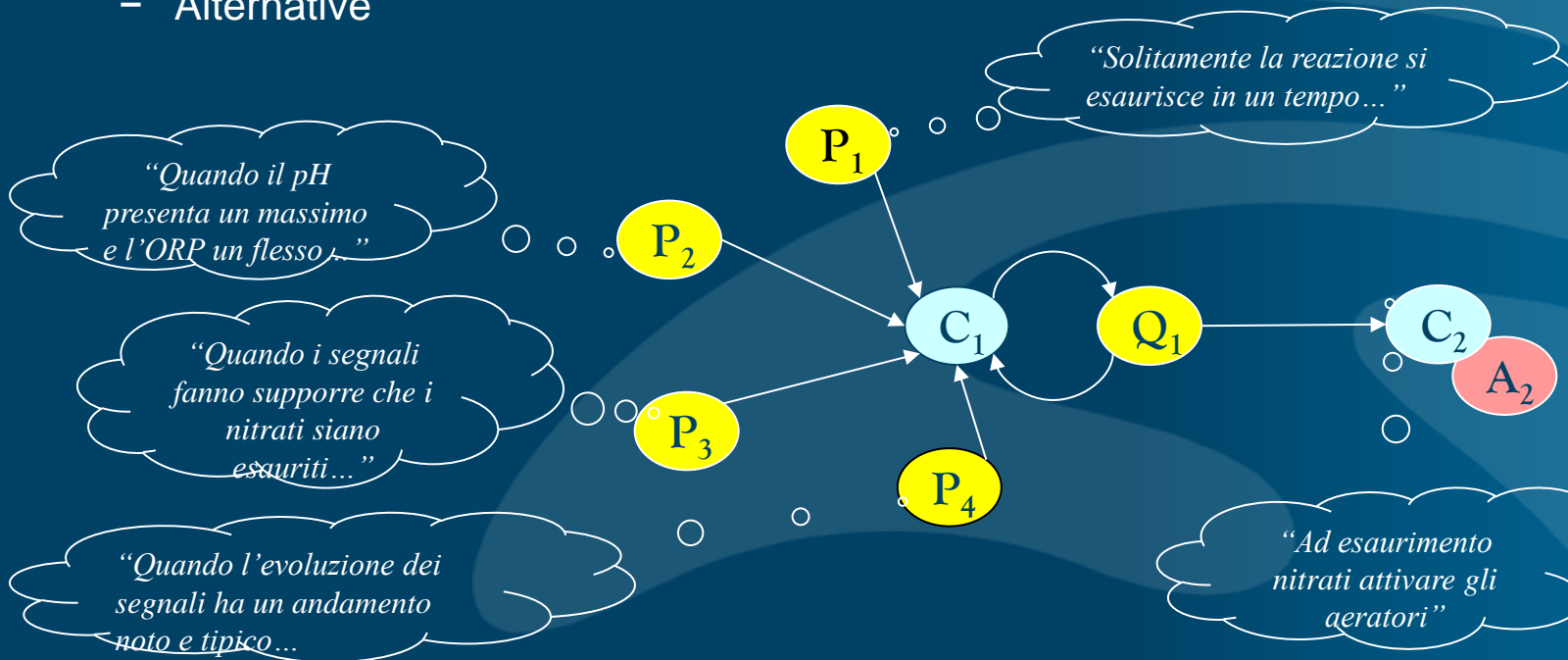
Evoluzione dei segnali

- Confronto con andamenti “tipici” memorizzati
 - Rete SOM per la memorizzazione
 - Sottofasi : “pre”, “inter” e “post” – EOD definite a regole

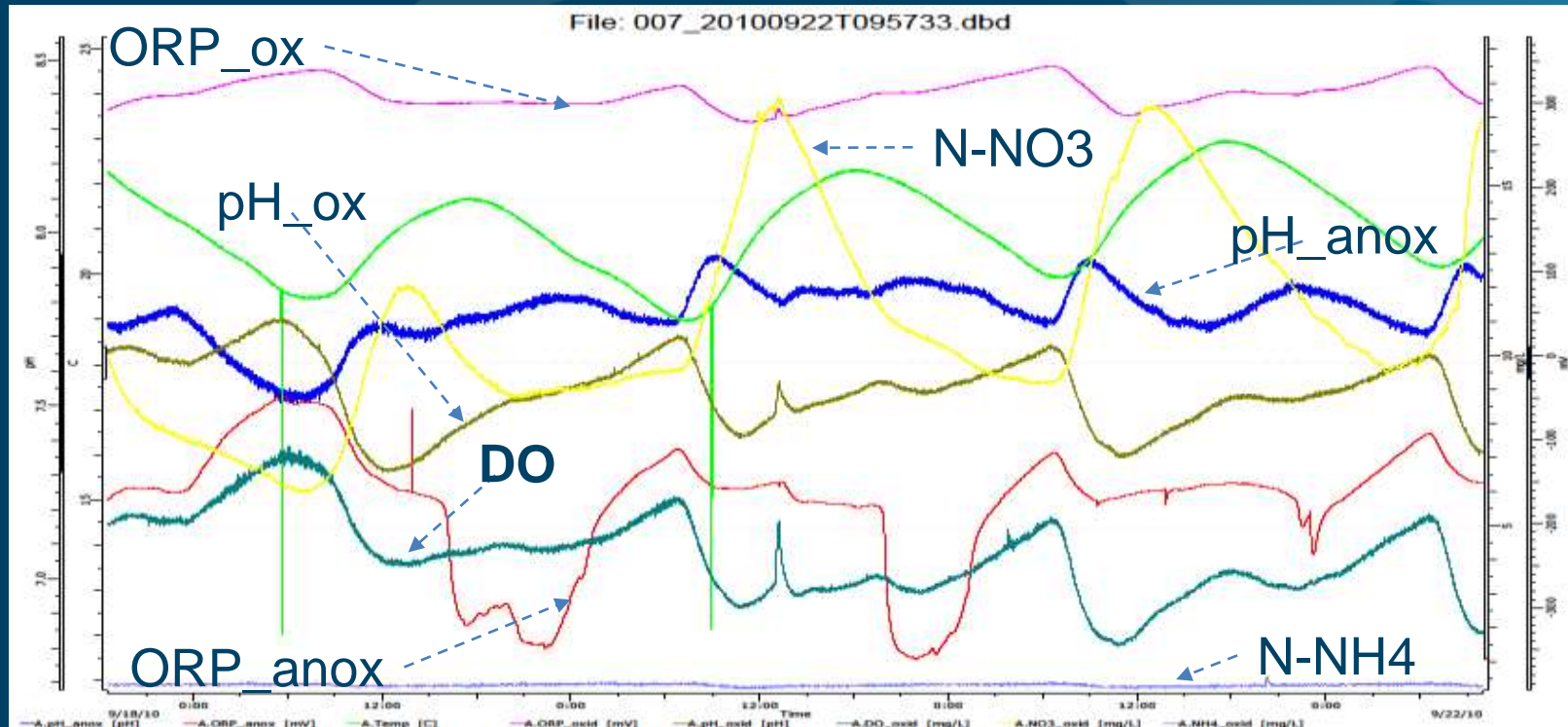


Caso di studio : Soluzione

- Esiste *Conoscenza* sulla soluzione del problema:
 - “Soluzioni” ad alto livello...
 - Alternative

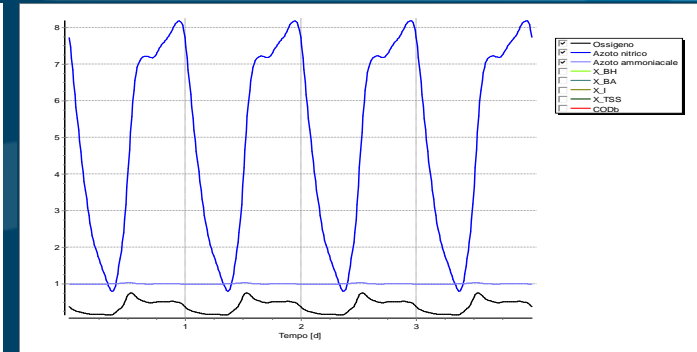
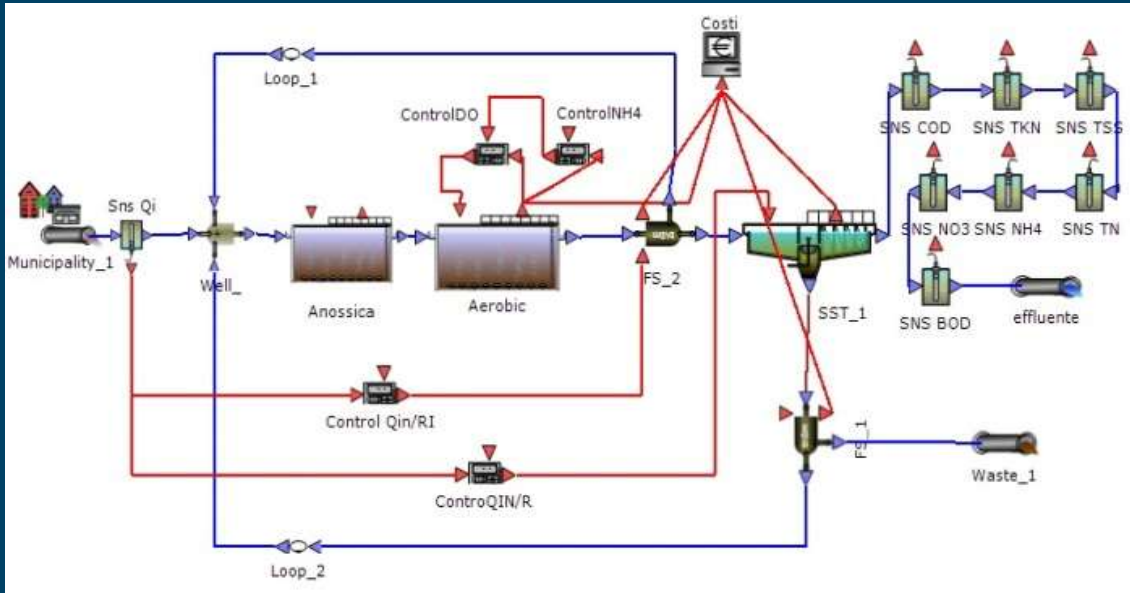


Segnali impianto flusso continuo



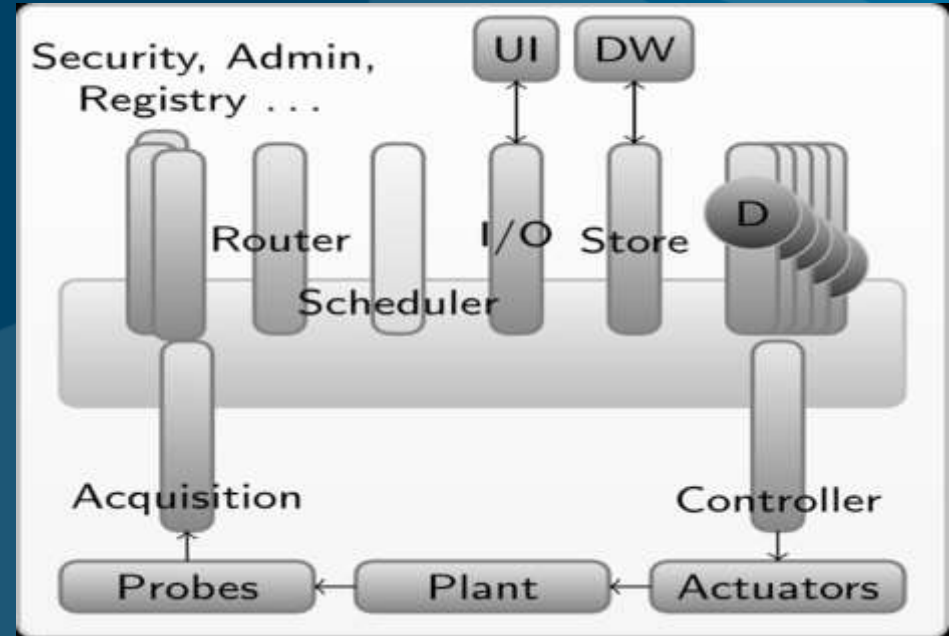
Strategie di Controllo

SET POINT $\text{NH}_4=1\text{mg/l}$



Architettura sistema

- Architettura distribuita ad agenti orientata ai servizi (SOA) e pilotata da eventi (EDA)
- Funzionalità inglobate in moduli indipendenti. Ognuno svolge compiti differenti
- Moduli offerti come servizi
- L'integrazione dei servizi tramite ESB (Enterprise Service Bus)
 - middleware di comunicazione distribuito
 - Permette integrazione basata su standard



Conclusioni

- ✘ Problemi generalmente complessi
- ✓ Varietà di strumenti disponibili
 - Nessuno “risolutivo”
 - Applicabile ad ogni problema...
 - Corretto...
 - Efficiente...
 - Facilmente implementabile...
 - Facilmente usabile...
 - Sempre.
- Architetture ibride per integrare ragionamento incerto, con regole e ontologie

Thank you

Luca Luccarini

Torino, 14-15 Ottobre 2015

