

Tecniche di rilevazione dei guasti nei processi di depurazione biologica

Stefano Marsili Libelli
coll.

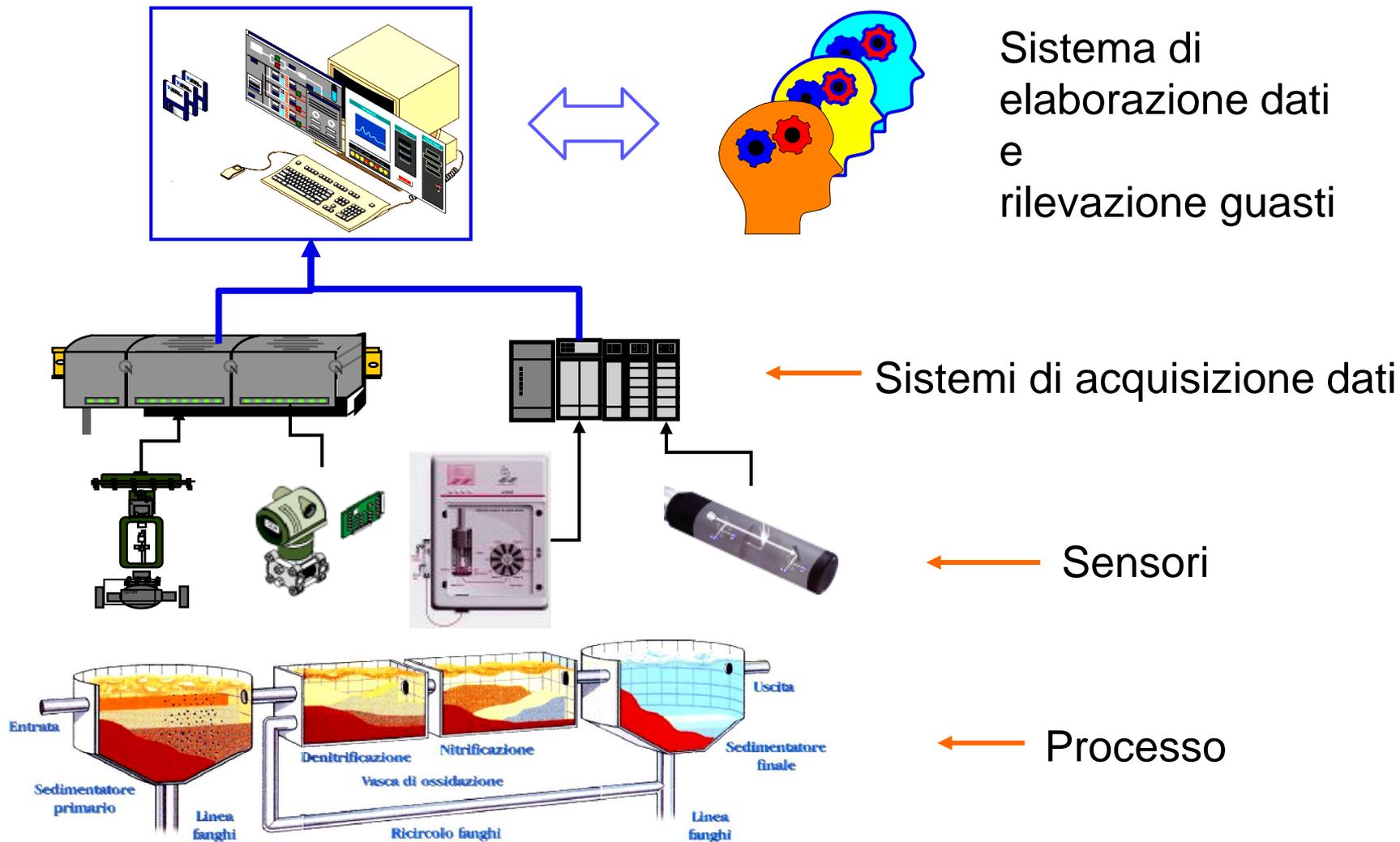
Giacomo Barni, Emanuele El Basri, Matteo Masi



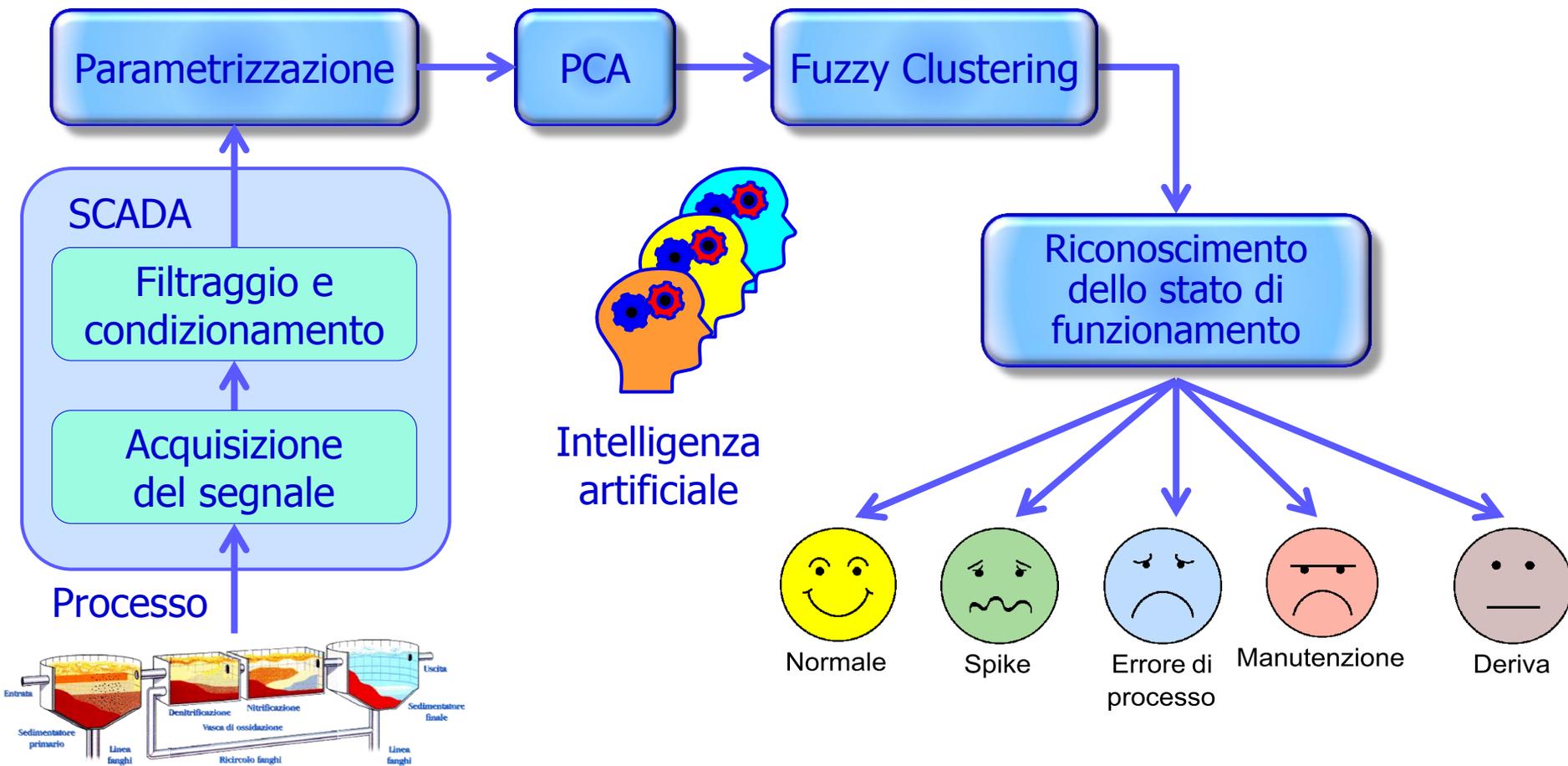
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DINFO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

Catena di monitoraggio della depurazione



Logica di rilevazione guasti



Sequenza di rilevazione guasti

□ *Parametrizzazione*

- Quali variabili meglio descrivono il comportamento del sistema?

□ *Analisi alle Componenti Principali (PCA)*

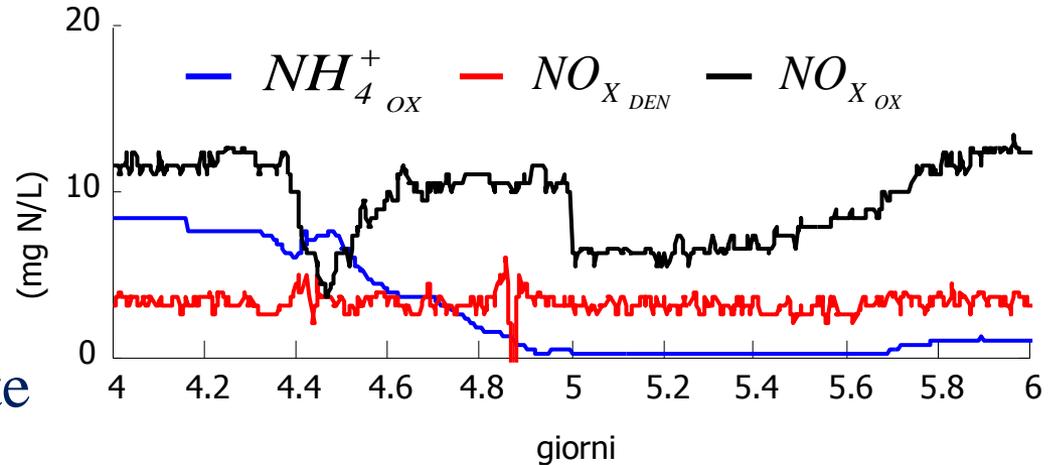
- Trasformare le variabili per differenziarle al massimo per evidenziarne le variazioni ed eliminare le sovrapposizioni
 - ✓ Definire indicatori sintetici di soglia

□ *Fuzzy Clustering*

- Classificare il funzionamento raggruppando comportamenti simili
- Eseguire la diagnostica
 - ✓ Normale
 - ✓ Anomalo: guasto rientrante in un paradigma di casi predefiniti.

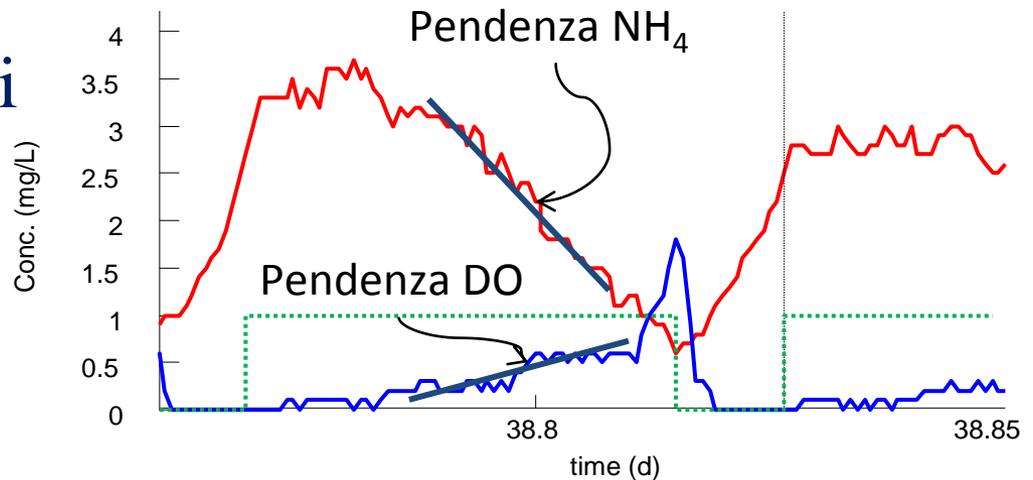
Parametrizzazione

- Quali variabili di processo rivelano meglio il guasto?
 - Scegliere fra quelle misurabili facilmente in modo automatico



- Eventualmente costruire indicatori secondari

- ✓ Derivate
- ✓ Medie mobili
- ✓ Varianze
- ✓ Etc.



Analisi alle Componenti Principali (PCA)

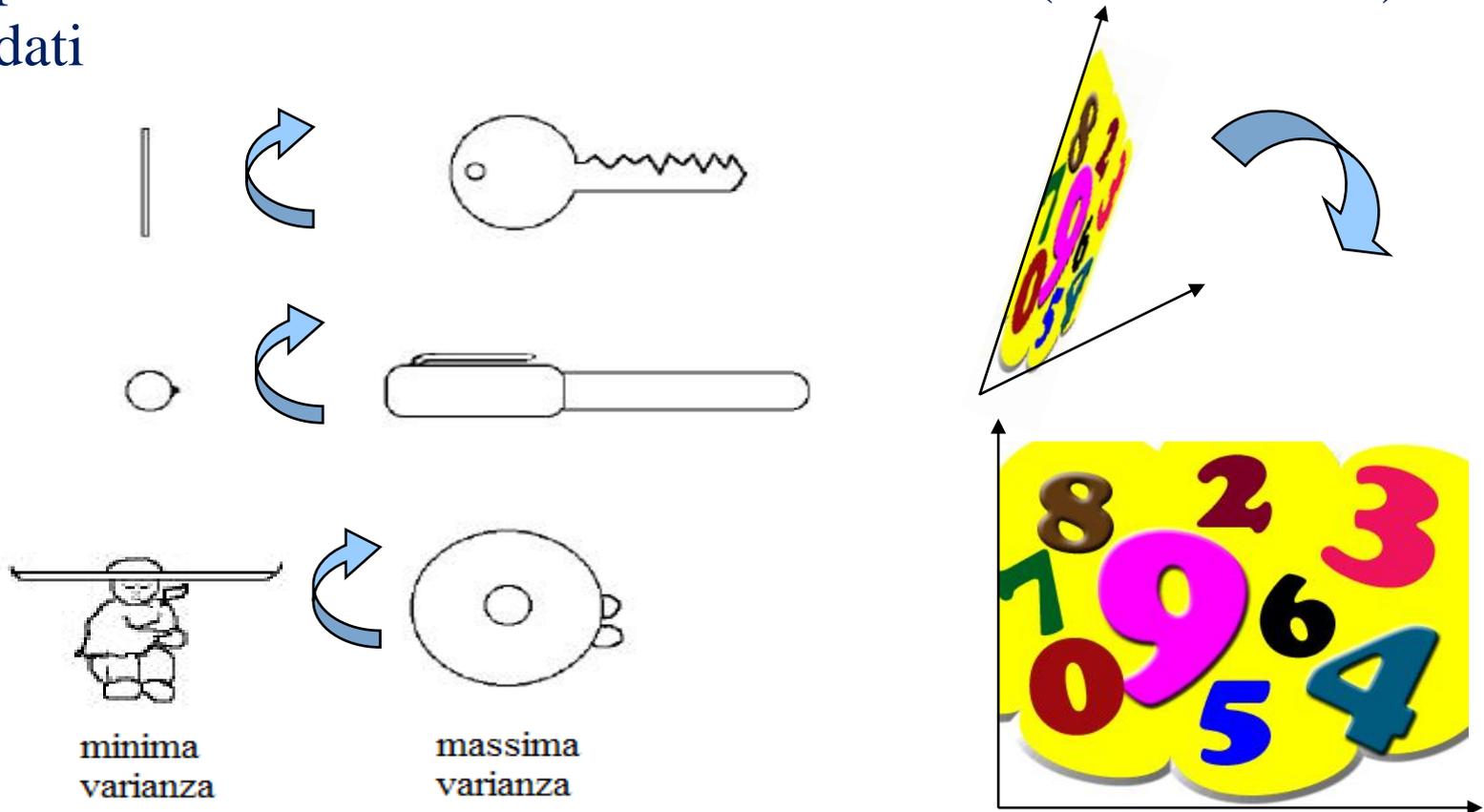
- E' una tecnica di trasformazione dei dati che permette di:
 - Evidenziarne l'informazione
 - Ridurne la dimensionalità

- Geometricamente l'obiettivo della PCA è:
 - Presentare i dati nel riferimento che evidenzia maggiormente la loro struttura (cambio di riferimento)
 - Escludere le componenti che portano minore informazione

- E' possibile definire delle soglie di comportamento
 - Il loro superamento segnala un funzionamento anomalo

Migliore visualizzazione

- Il cambio di riferimento può essere visto come un cambio di punto di vista che massimizza la visibilità (informazione) dei dati



Soglie di normalità

□ Esistono degli indicatori di coerenza rispetto a dei dati di riferimento:

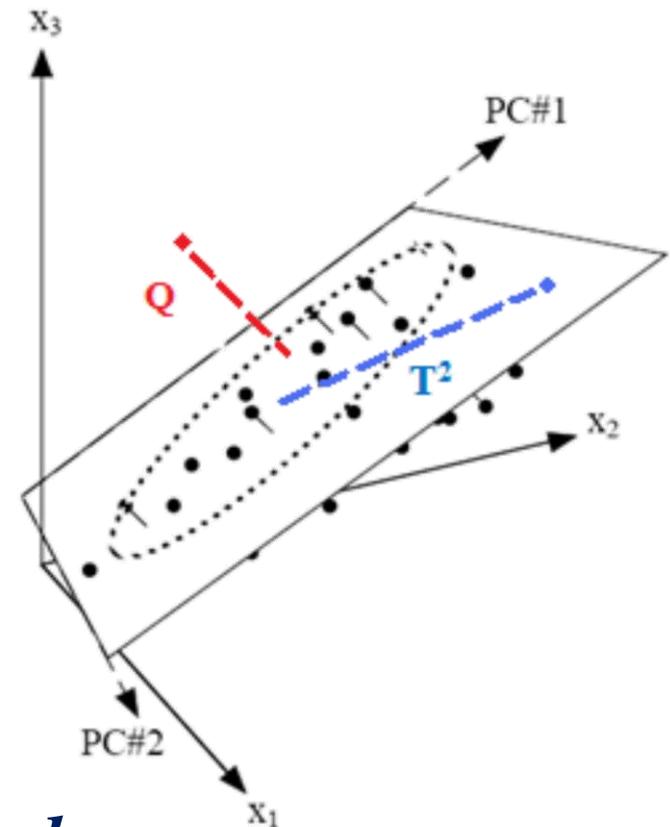
□ *Hotelling T^2*

- misura la variazione nello spazio delle PCA trattenute

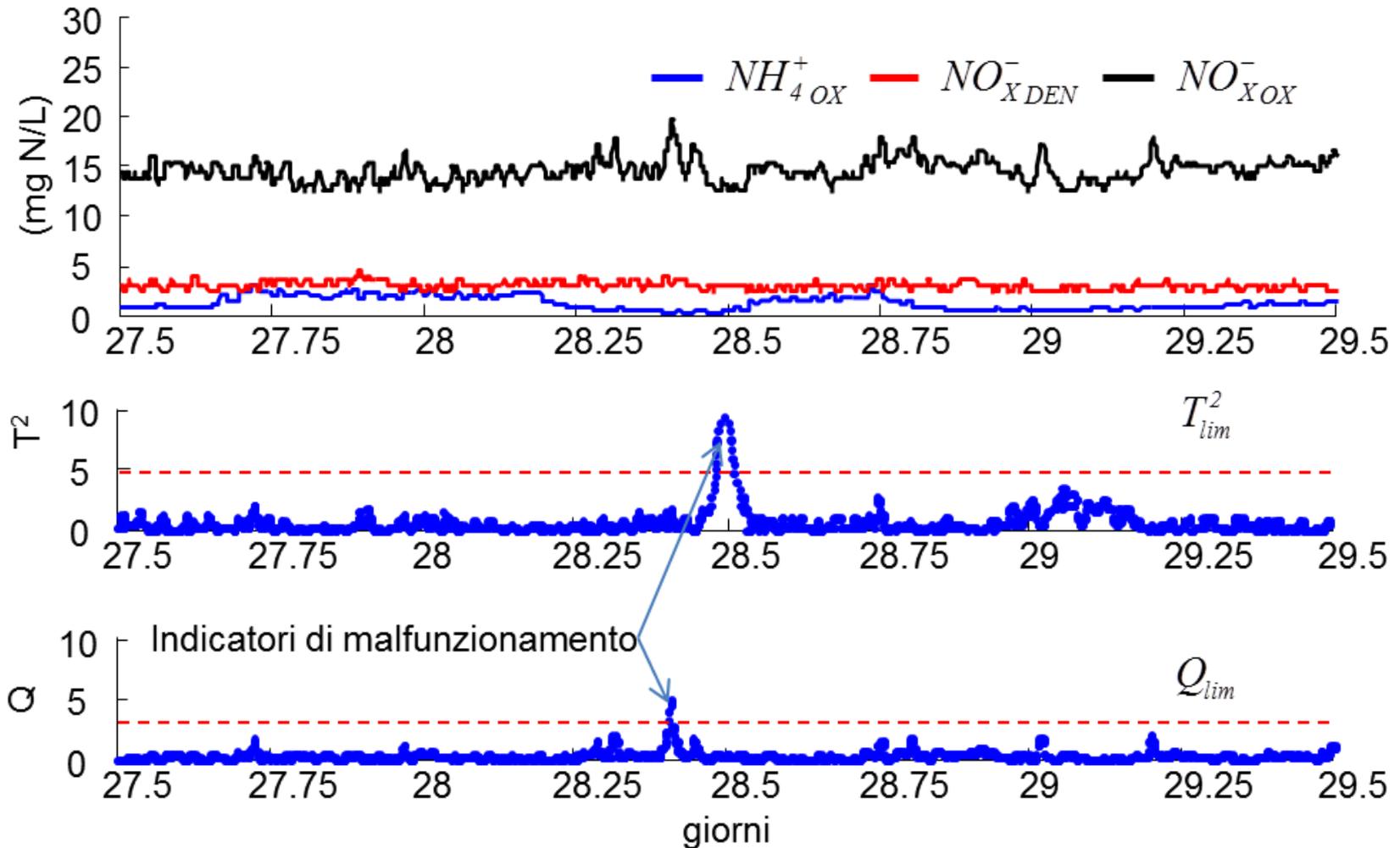
□ *Statistica Q*

- misura la variazione delle PCA eventualmente scartate

□ E' possibile definire delle soglie T^2_{lim} e Q_{lim} il cui superamento indica un *comportamento anomalo*

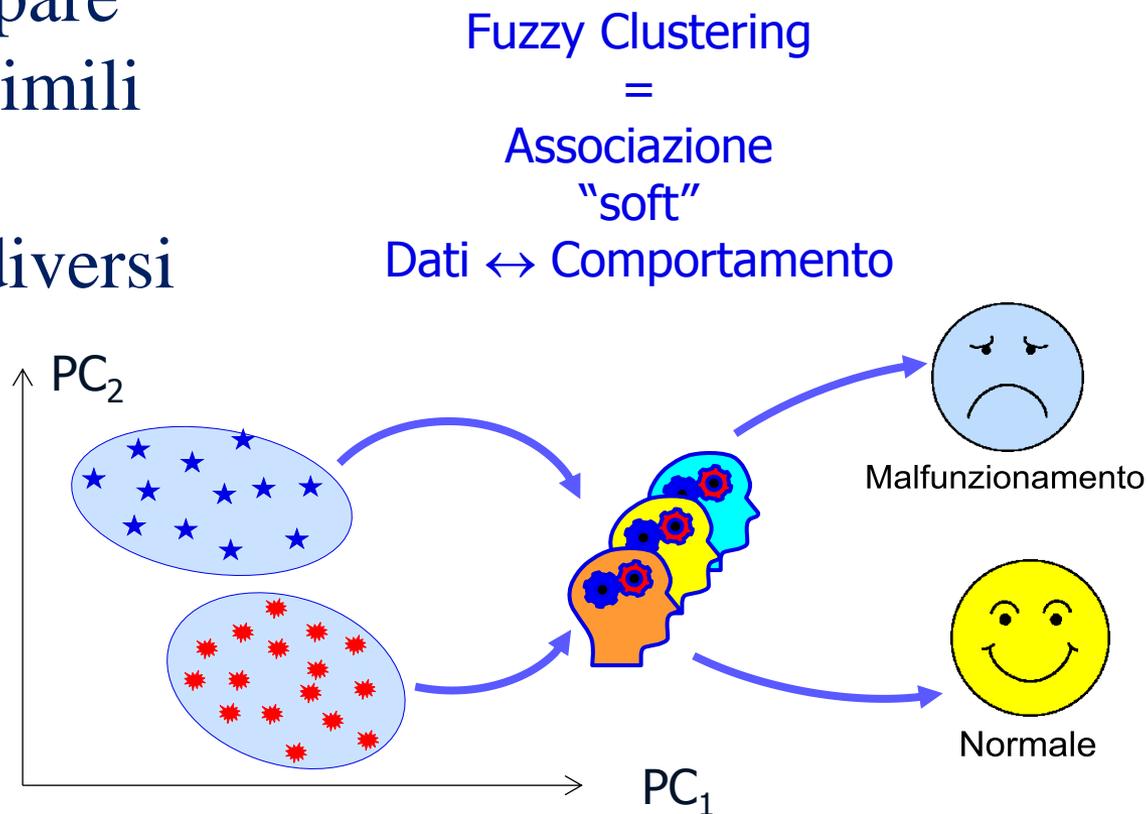


Superamento delle soglie di normalità



Analisi di raggruppamento (*clustering*)

- ❑ Opera sulle variabili trasformate mediante PCA per ottenere la massima sensibilità
- ❑ Tende a raggruppare comportamenti simili e a discriminare comportamenti diversi
- ❑ Ad ogni gruppo (*cluster*) viene associato un comportamento significativo

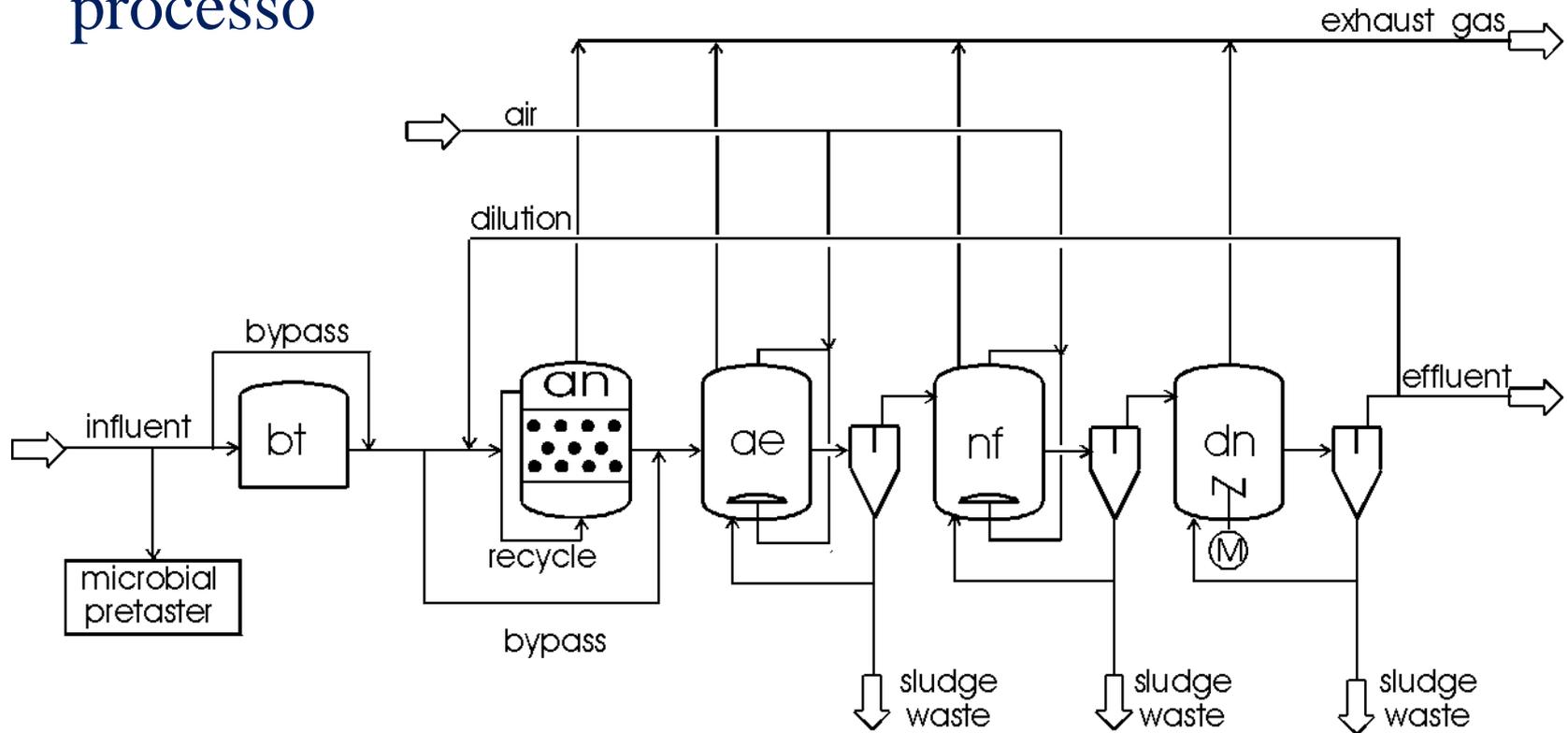


Applicazioni

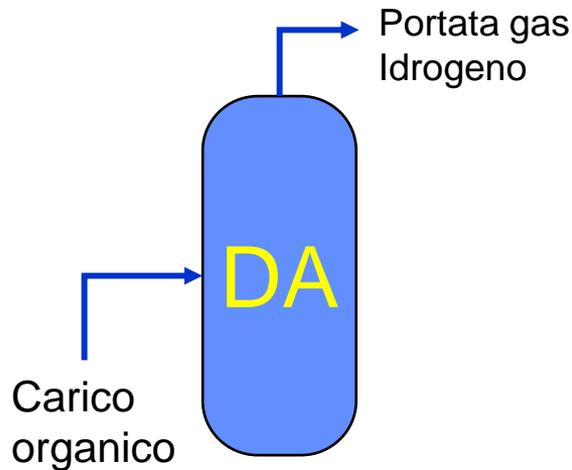
- ❑ Diagnosi di sovraccarico di un digestore anaerobico
 - Progetto CE EV5V-CT92-0233
 - *Coll.* KFA, Julich (D)
- ❑ Analisi di un evento di torbida (potabilizzazione)
 - Cambio di influenza delle variabili durante l'evento
 - *Coll.* Comune di Firenze → Publiacqua (tesi laura A. Moscatelli)
- ❑ Analisi di guasto in un depuratore tradizionale (N/DN)
 - Discriminazione fra guasti sonda e malfunzionamenti di processo
 - *Coll.* Acque Ingegneria srl
- ❑ Monitoraggio di un reattore biologico a membrana
 - Diagnosi sullo stato di usura della membrana
 - *Coll.* Università di Gent, Biomath (B)
- ❑ Analisi di guasto in tempo reale in depuratori a cicli alternati
 - Discriminazione fra guasti sonda e malfunzionamenti di processo
 - *Coll.* ETC-ENG (TN)

Diagnosi di sovraccarico di un digestore

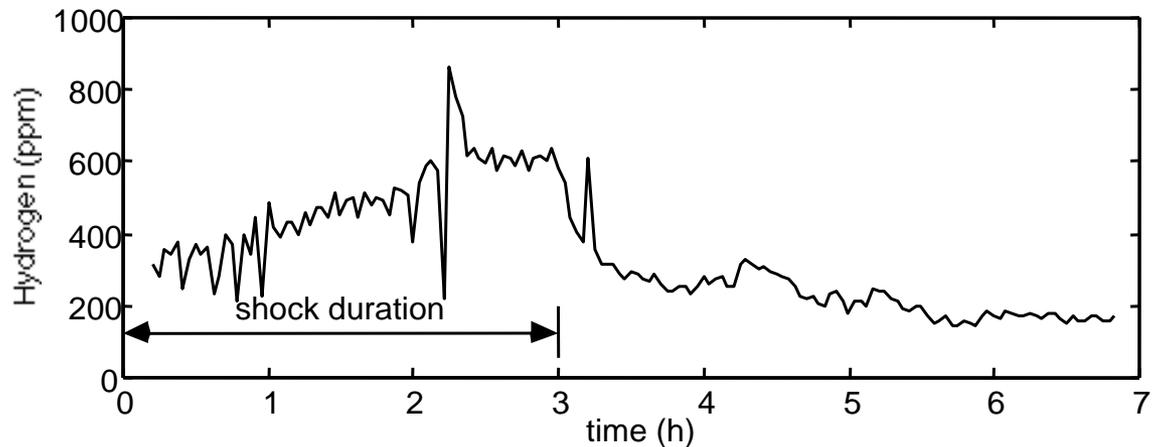
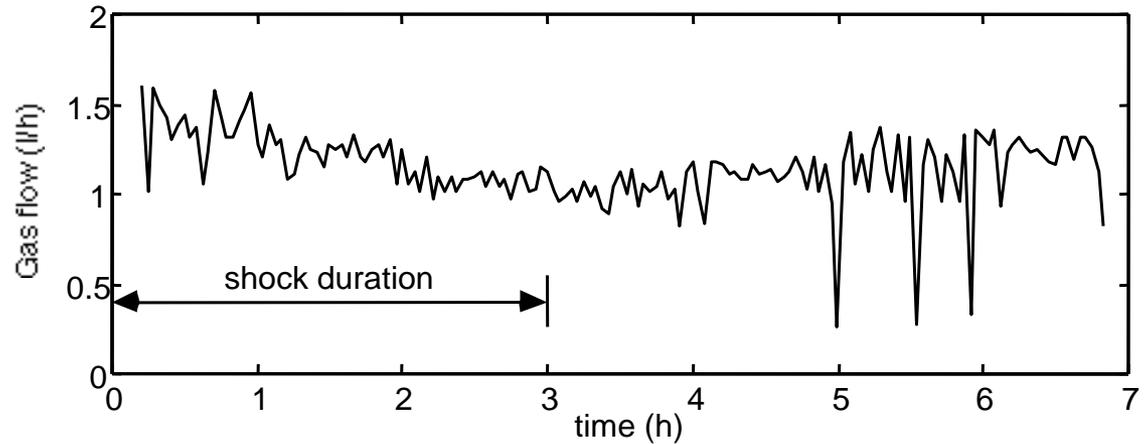
- ❑ Processo multistadio, con digestore in testa
- ❑ Necessità di diagnosi precoce per prevenire danni al processo



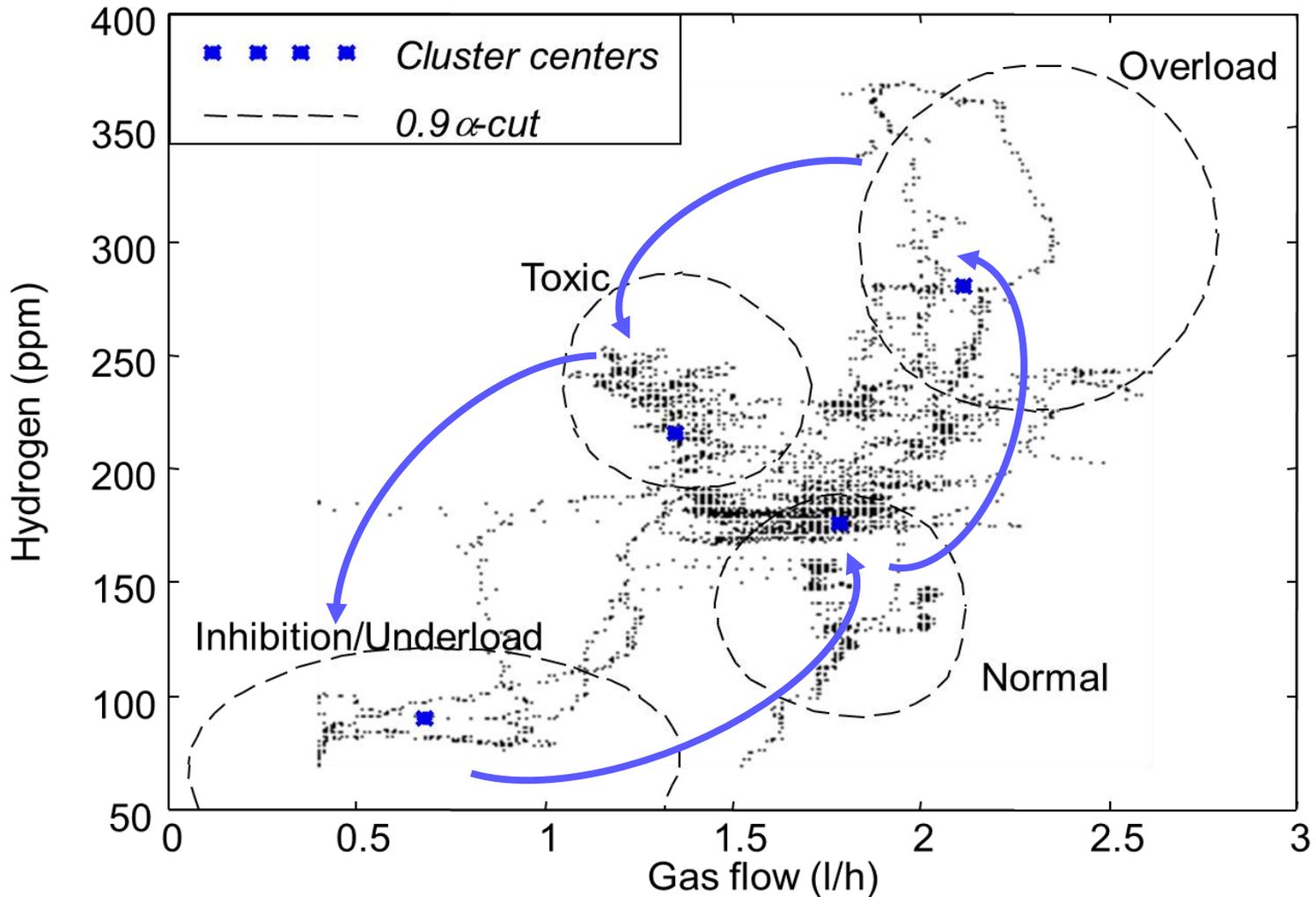
Diagnosi di un shock organico/tossico



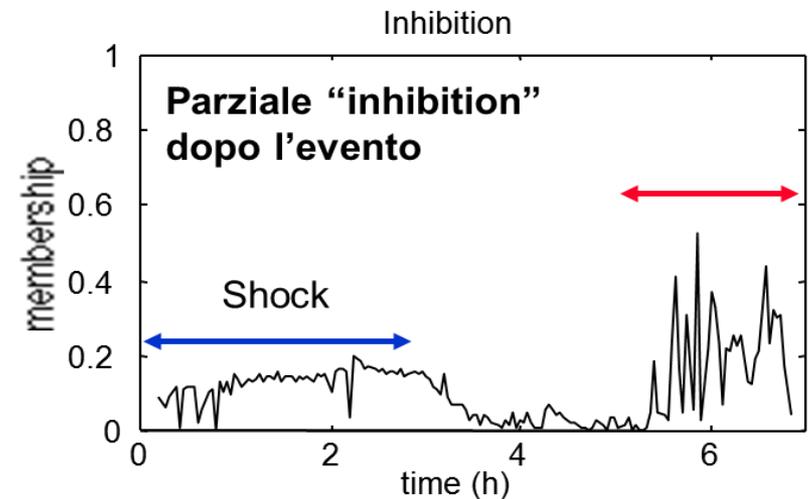
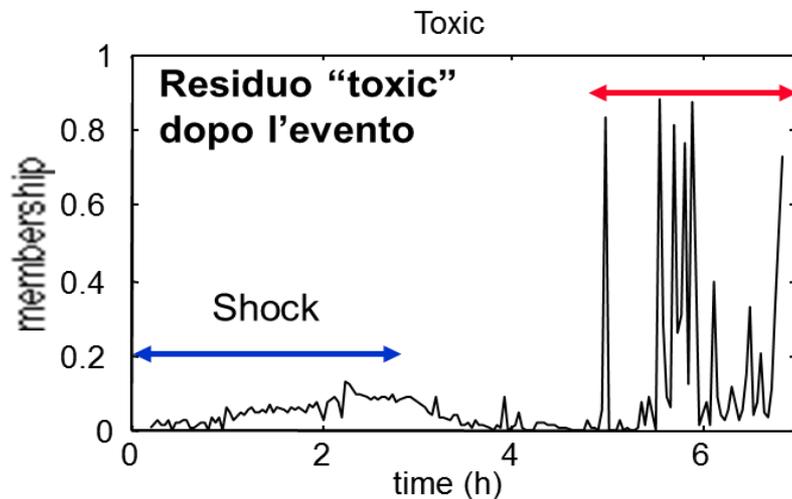
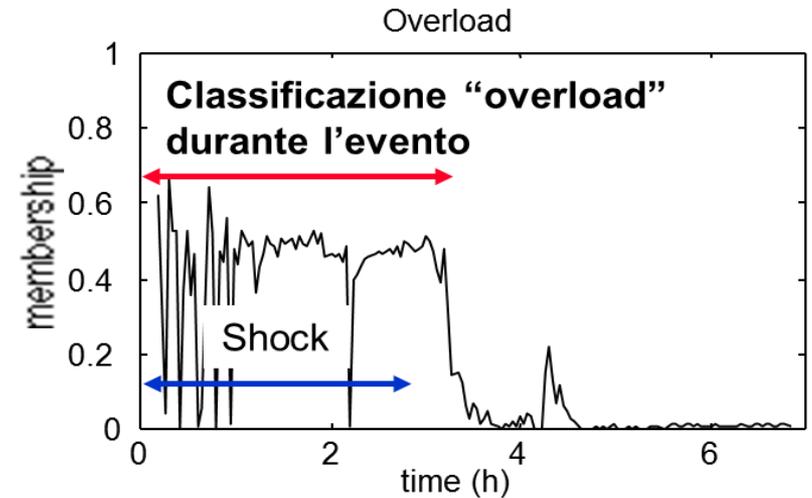
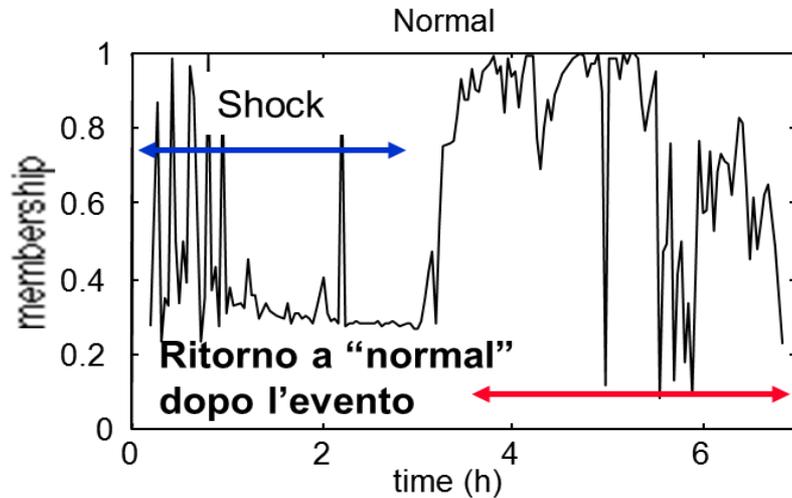
La risposta di un DA ad un eccessivo carico organico (*Overload*) è una inibizione della fase metanogena con diminuzione della portata ed aumento del contenuto di idrogeno



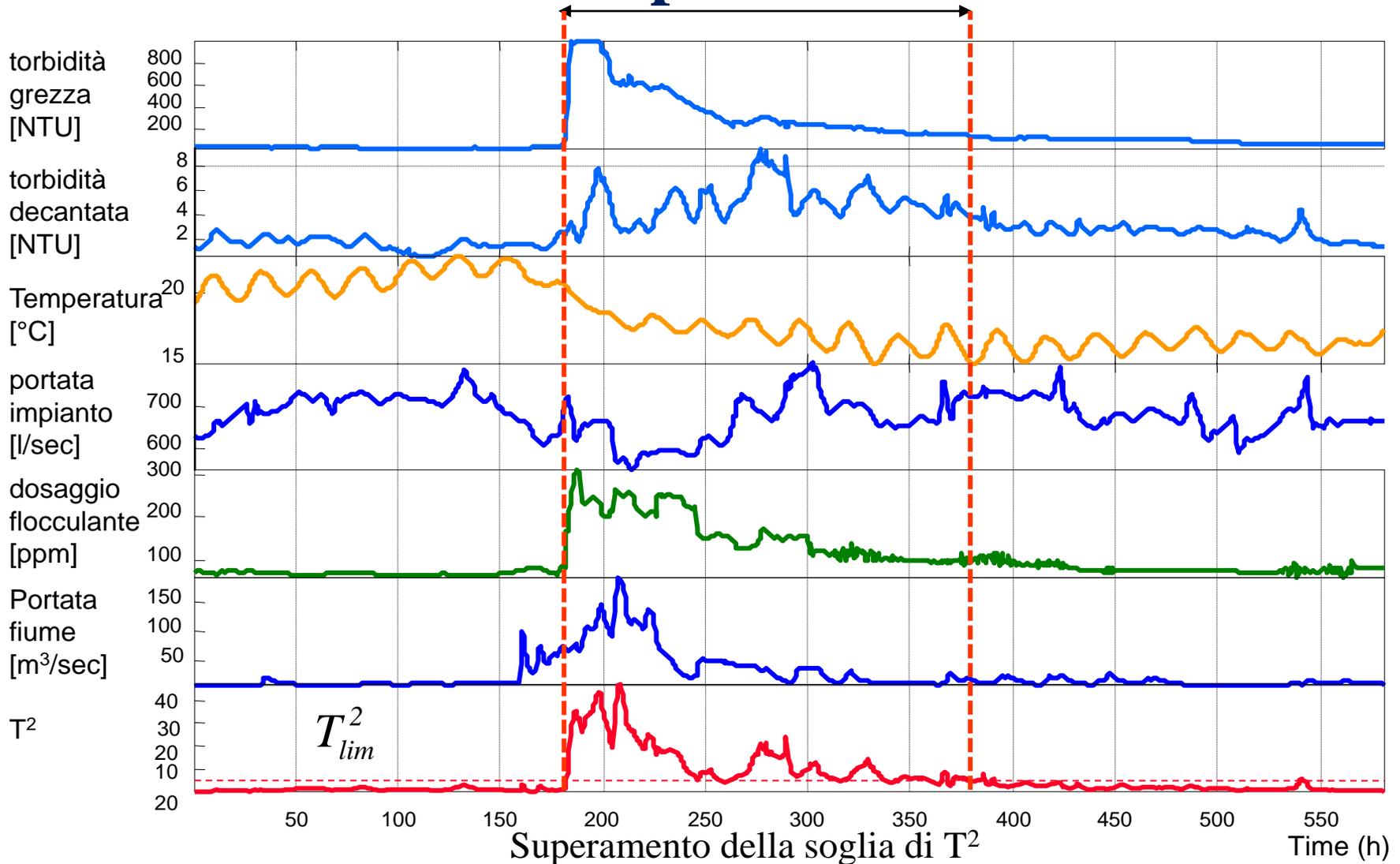
Evoluzione della diagnostica



Monitoraggio del sovraccarico

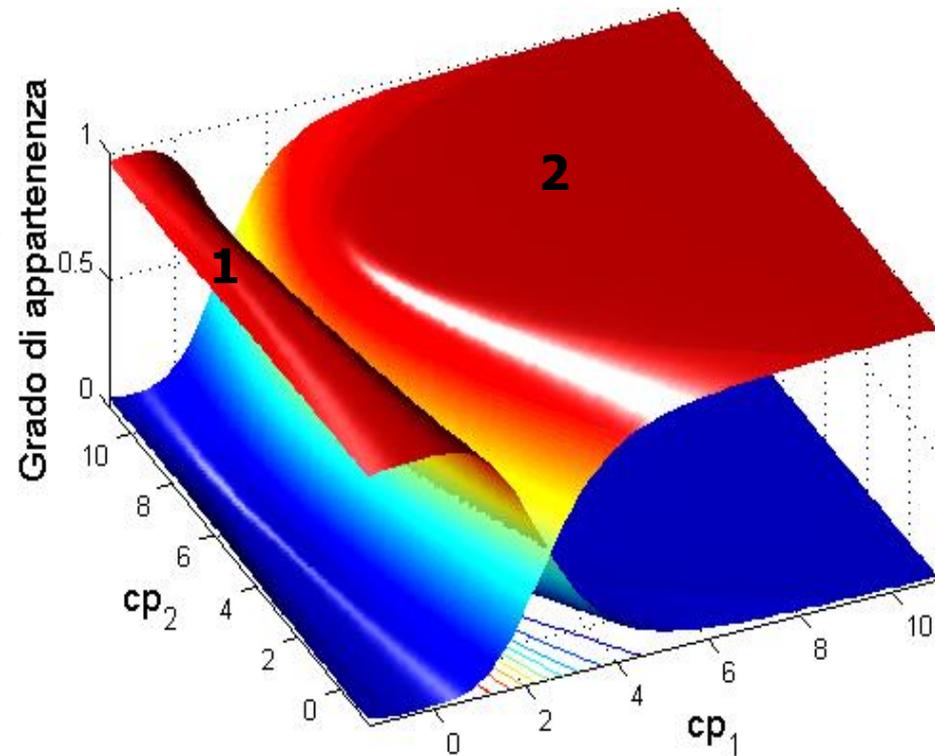
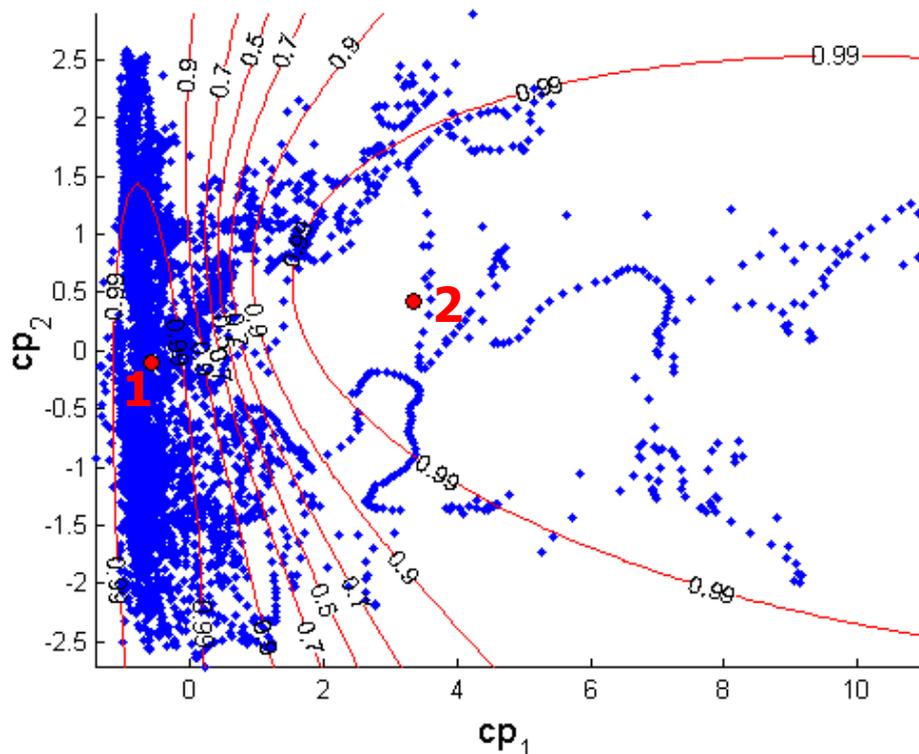


Analisi di un episodio di torbidità



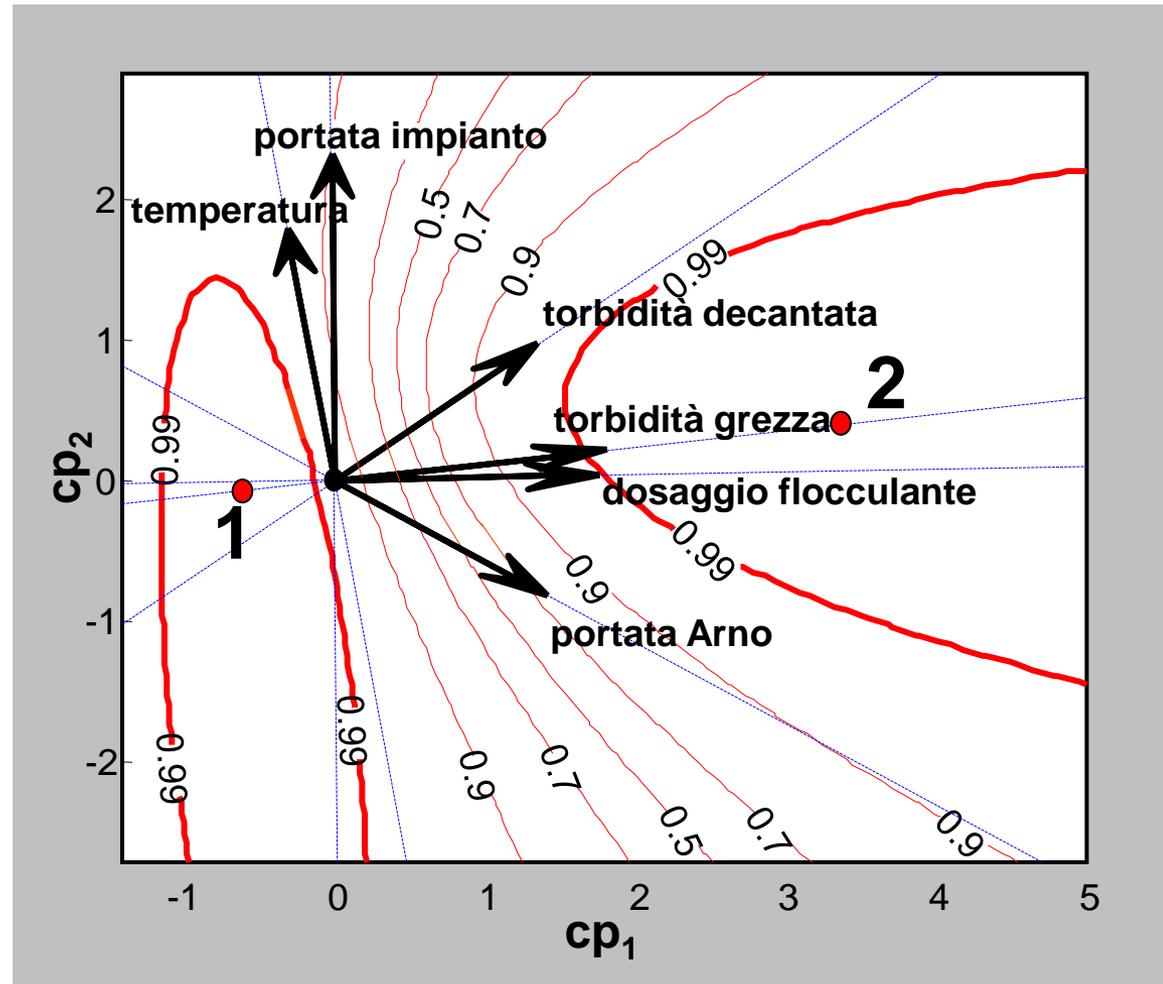
Clustering dei dati trasformati

- ❑ Cluster 1: Funzionamento normale
- ❑ Cluster 2: Situazione di torbida



Analisi dell'evento di torbida

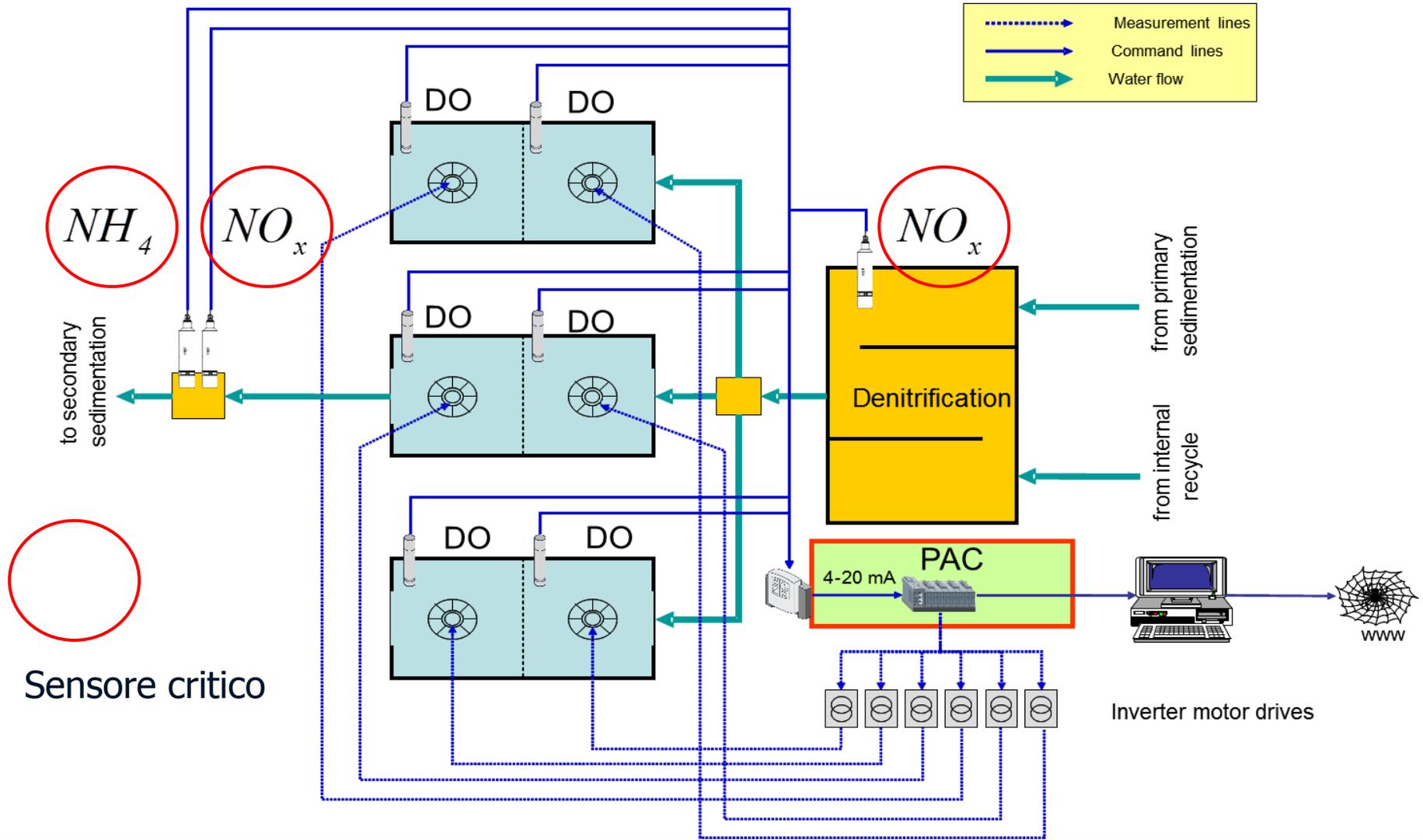
- Si possono individuare delle linee di influenza
 - Quale variabile influenza maggiormente la torbida?
- Si può così contrastare meglio l'emergenza.



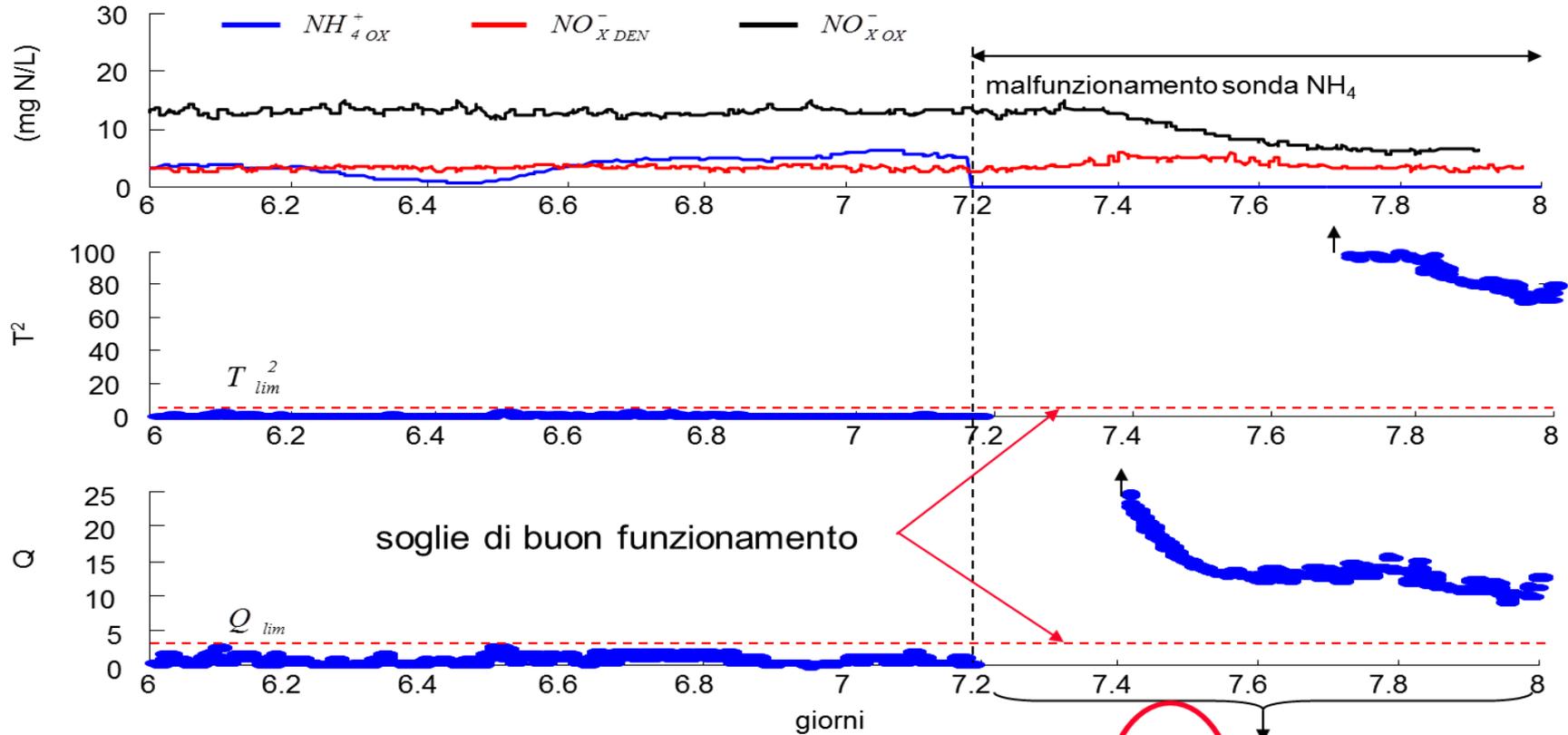
Analisi di guasto in un depuratore tradizionale

- ❑ Studio inizialmente motivato dal risparmio energetico
- ❑ Depuratore con configurazione Nitro/Denitro
 - Tre linee di ossidazione in parallelo
- ❑ Successivamente si presenta la necessità di tenere sotto controllo i frequenti guasti alle sonde per ioni specifici
 - Ammonio (NH_4) e Nitrati/Nitriti (NO_x)
- ❑ Necessità di:
 - Distinguere fra guasto e malfunzionamento di processo
 - Allertamento precoce in caso di guasto sonda
- ❑ Sistema di diagnostica basato su
 - Utilizzo delle variabili tal quali (NH_4 - NO_x)
 - Decomposizione PCA
 - Utilizzo di soglie T^2/Q

Schema dell'impianto

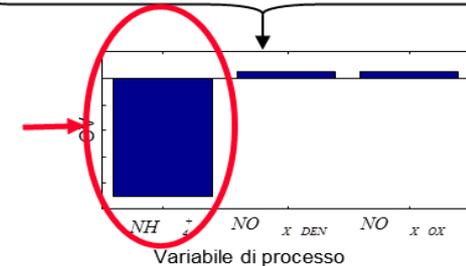


Uso combinato di PCA (T^2) e CV

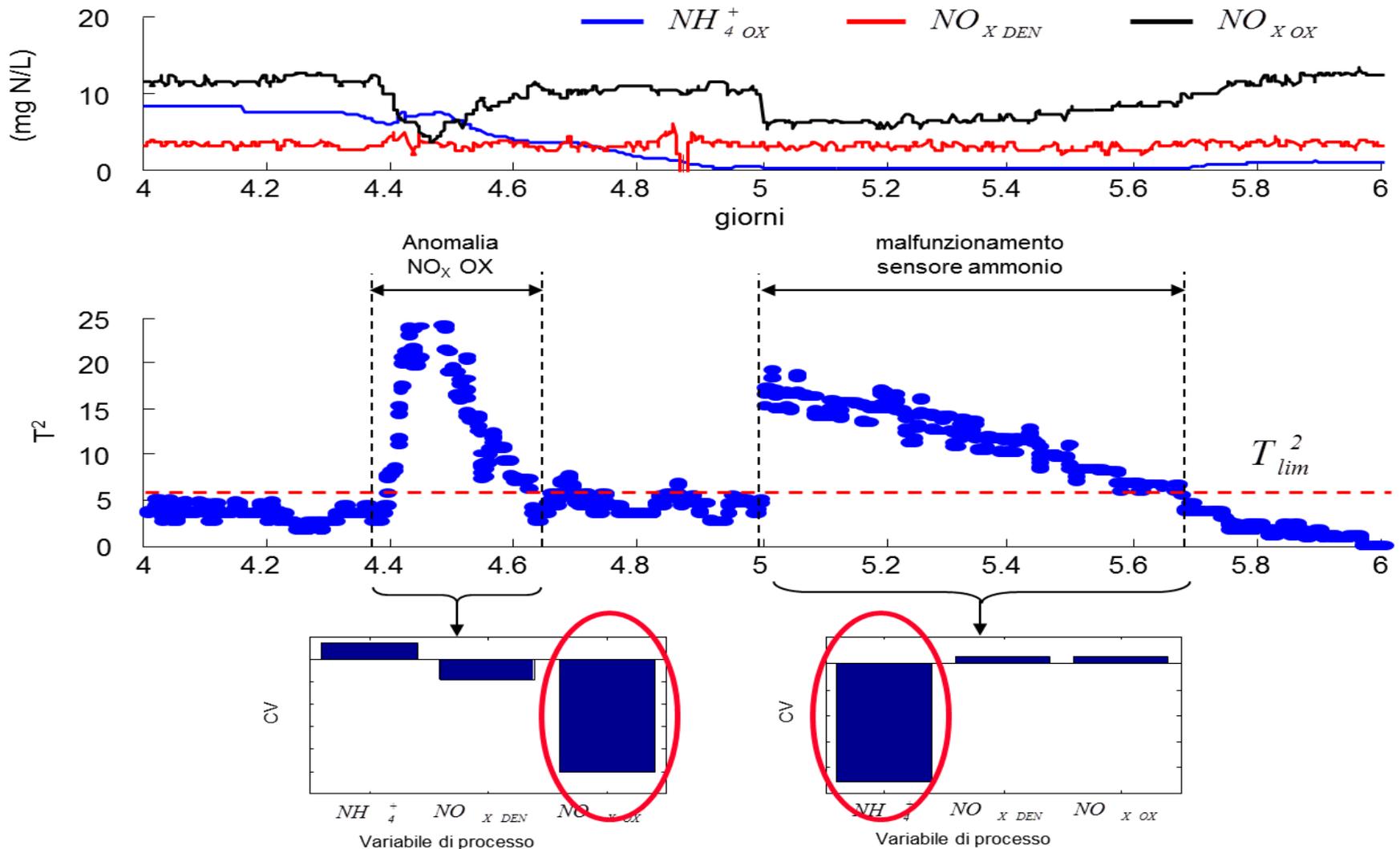


CV = Contribution Variables
indica quale variabile è
maggiormente responsabile del
malfunzionamento

Indicazione del
sensore difettoso



Discriminazione fra sensori difettosi



Diagnosi corrette nel breve periodo: 100%

Anno	Mese	Malfunzionamenti	Fermi sonda	Spike	Outliers	Anomalie di processo	
2007	Agosto	osservati	2	4	2	1	
		rilevati	2	4	2	1	
	Settembre	osservati	4	0	0	1	
		rilevati	4	0	0	1	
	Ottobre	osservati	4	6	2	3	
		rilevati	4	6	2	3	
	Novembre	osservati	1	4	1	0	
		rilevati	1	4	1	0	
	Dicembre	osservati	2	20	7	2	
		rilevati	2	20	7	2	
	2008	Gennaio	osservati	6	20	10	1
			rilevati	6	20	10	1
Marzo		osservati	2	55	2	1	
		rilevati	2	55	2	1	
Aprile		osservati	3	4	1	0	
		rilevati	3	4	1	0	
Maggio		osservati	5	0	1	0	
		rilevati	5	0	1	0	

Diagnosi corrette nel lungo periodo: 84%

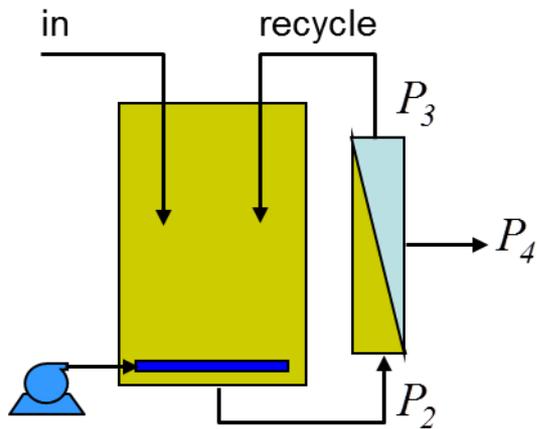
Anno	Mese	Malfunzionamenti	Fermi sonda	Spike	Outliers	Anomalie di processo	
2007	Agosto	osservati	2	4	2	1	
		rilevati	2	3	1	1	
	Settembre	osservati	4	0	0	1	
		rilevati	3	0	0	1	
	Ottobre	osservati	4	6	2	3	
		rilevati	4	4	2	2	
	Novembre	osservati	1	4	1	0	
		rilevati	1	3	1	0	
	Dicembre	osservati	2	20	7	2	
		rilevati	2	15	6	1	
	2008	Gennaio	osservati	6	20	10	1
			rilevati	5	16	9	1
Marzo		osservati	2	55	2	1	
		rilevati	2	46	1	1	
Aprile		osservati	3	4	1	0	
		rilevati	2	3	1	0	
Maggio		osservati	5	0	1	0	
		rilevati	4	0	1	0	

Monitoraggio di un reattore a membrana

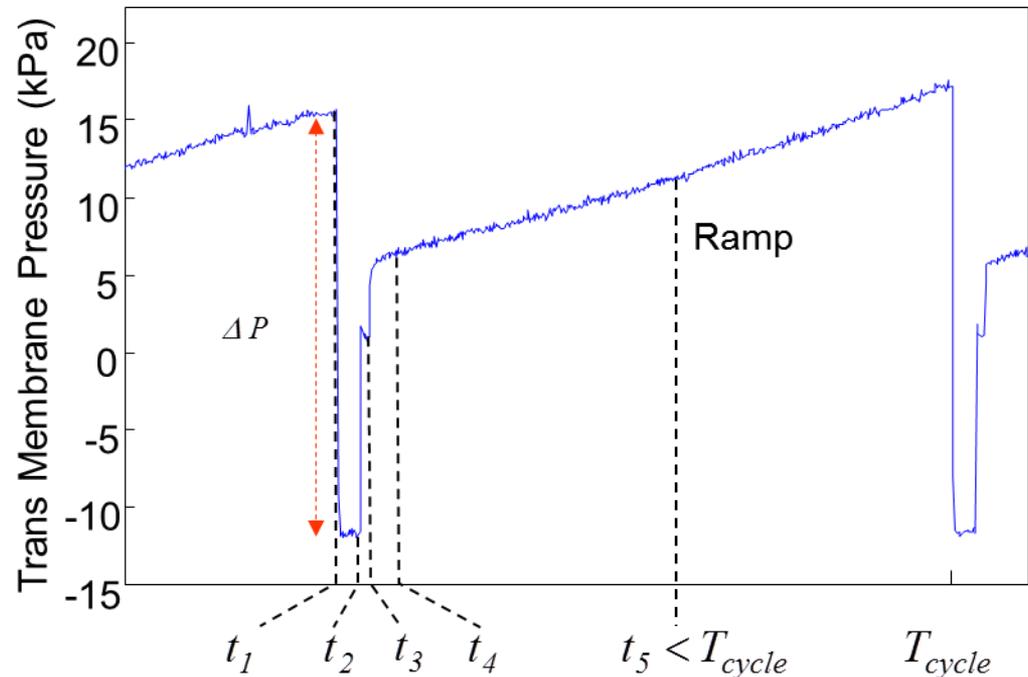
- ❑ Studio in collaborazione con l'Università di Gent (B)
- ❑ Necessità di monitorare lo stato della membrana in un reattore biologico per
 - Programmare i controlavaggi e le sostituzioni
 - Prevenire per quanto possibile l'intasamento irreversibile
- ❑ Studio iniziato su impianto pilota, adesso esteso a impianto a piena scala
- ❑ Metodo:
 - Parametrizzazione dei parametri di filtrazione
 - PCA dei parametri nel tempo
 - Fuzzy clustering
 - Diagnosi

Parametrizzazione

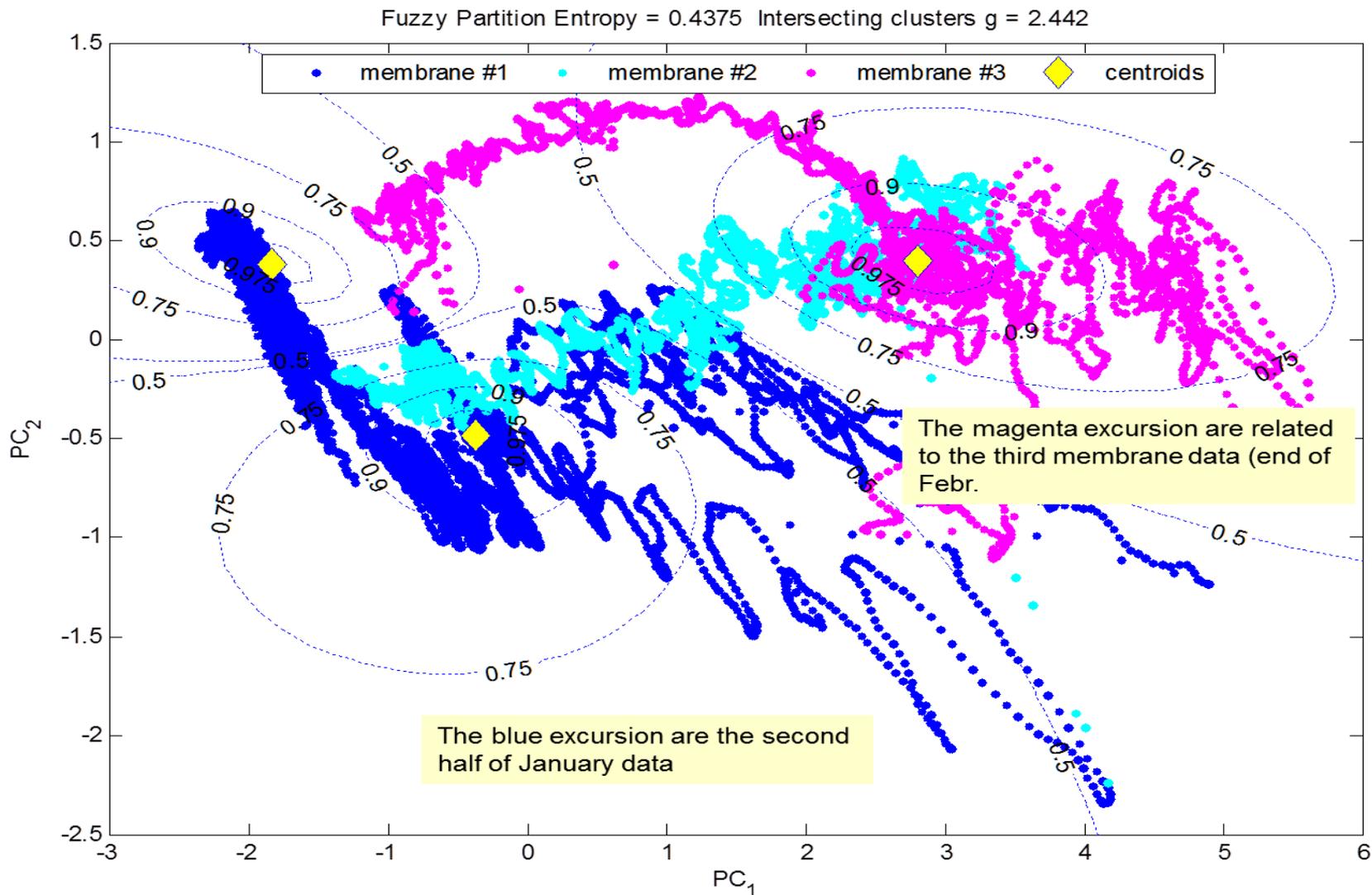
- Ci si basa sul ciclo di filtrazione della membrana utilizzando l'andamento della pressione di transmembrana (TMP)



$$TMP = \frac{P_2 + P_3}{2} - P_4$$



Clustering e diagnosi sui parametri post-PCA



Risultati ottenuti

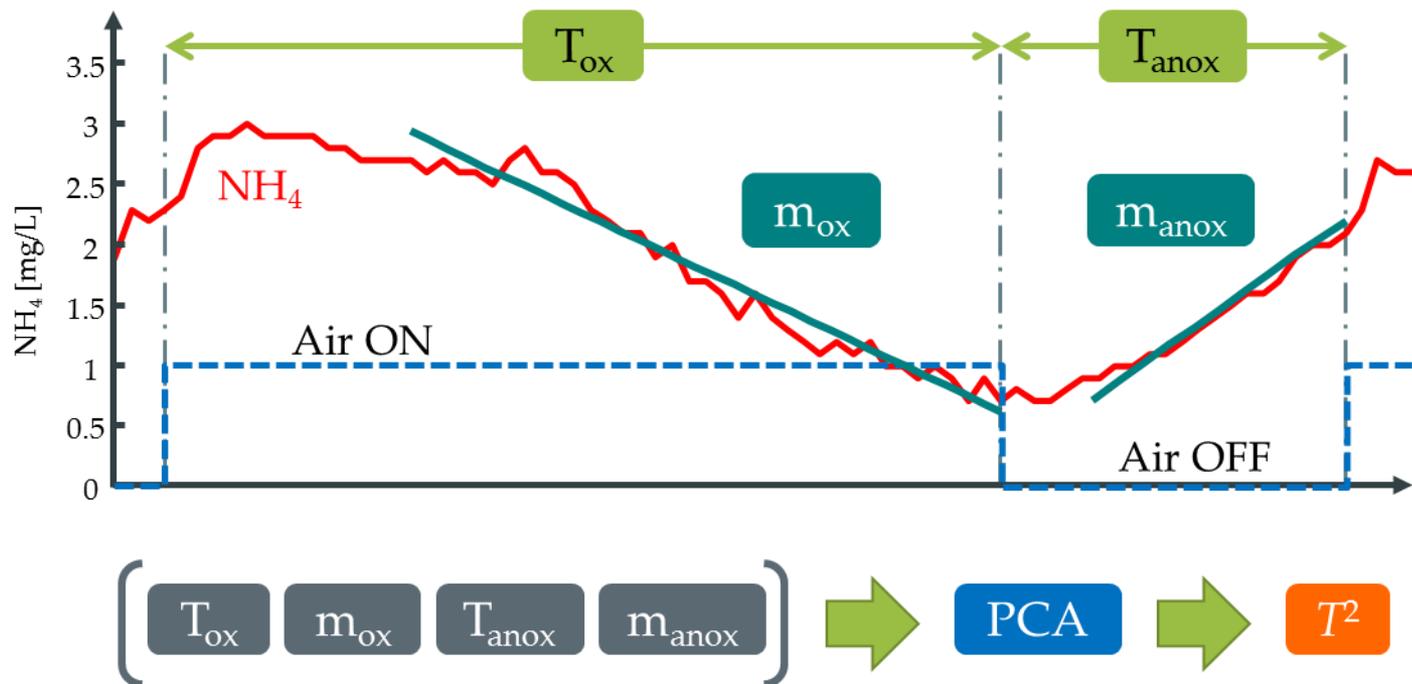
- ❑ Diagnosi dei diversi tipi di intasamento (fouling)
 - Reversibile
 - Irreversibile
- ❑ Monitoraggio della progressione di intasamento della membrana
- ❑ Migliore programmazione dei cicli di controllo-lavaggio in modo da prolungare la vita della membrana
- ❑ Migliore gestione della depurazione
- ❑ L'analisi dei dati dell'impianto pilota è stata confermata in quello a piena scala.

Monitoraggio in tempo reale di guasti

- ❑ Impianti di depurazione biologica a cicli alternati
 - Anossia/Ossidazione
 - Adatti alla rimozione degli inquinanti azotati
- ❑ Work in progress
- ❑ Il segnale delle sonde DO e NH_4 essenziali per comandare l'alternanza dei cicli
- ❑ Metodo:
 - Parametrizzazione del segnale sonda
 - ✓ Pendenza del segnale su finestra mobile
 - ✓ PCA dei parametri nel tempo
 - ✓ Soglie T^2 diverse per discriminare fra guasto sonda e carico anomalo
 - ✓ Allenamento su dati off-line e sperimentazione in tempo reale su impianti a piena scala attualmente in corso.

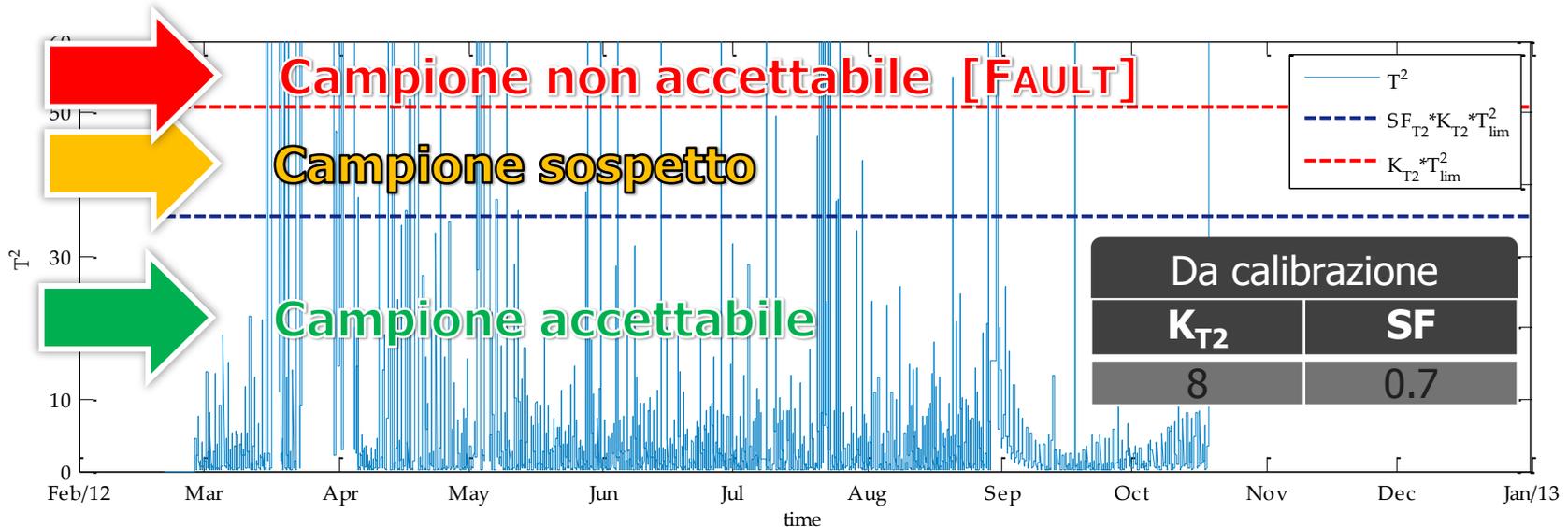
Parametrizzazione

- Pendenza sul segnale di Ammonio (NH_4) in una finestra mobile
- PCA delle pendenze e durate (T_{ox} , m_{ox} , T_{anox} , m_{anox})
- Soglie di tolleranza T^2

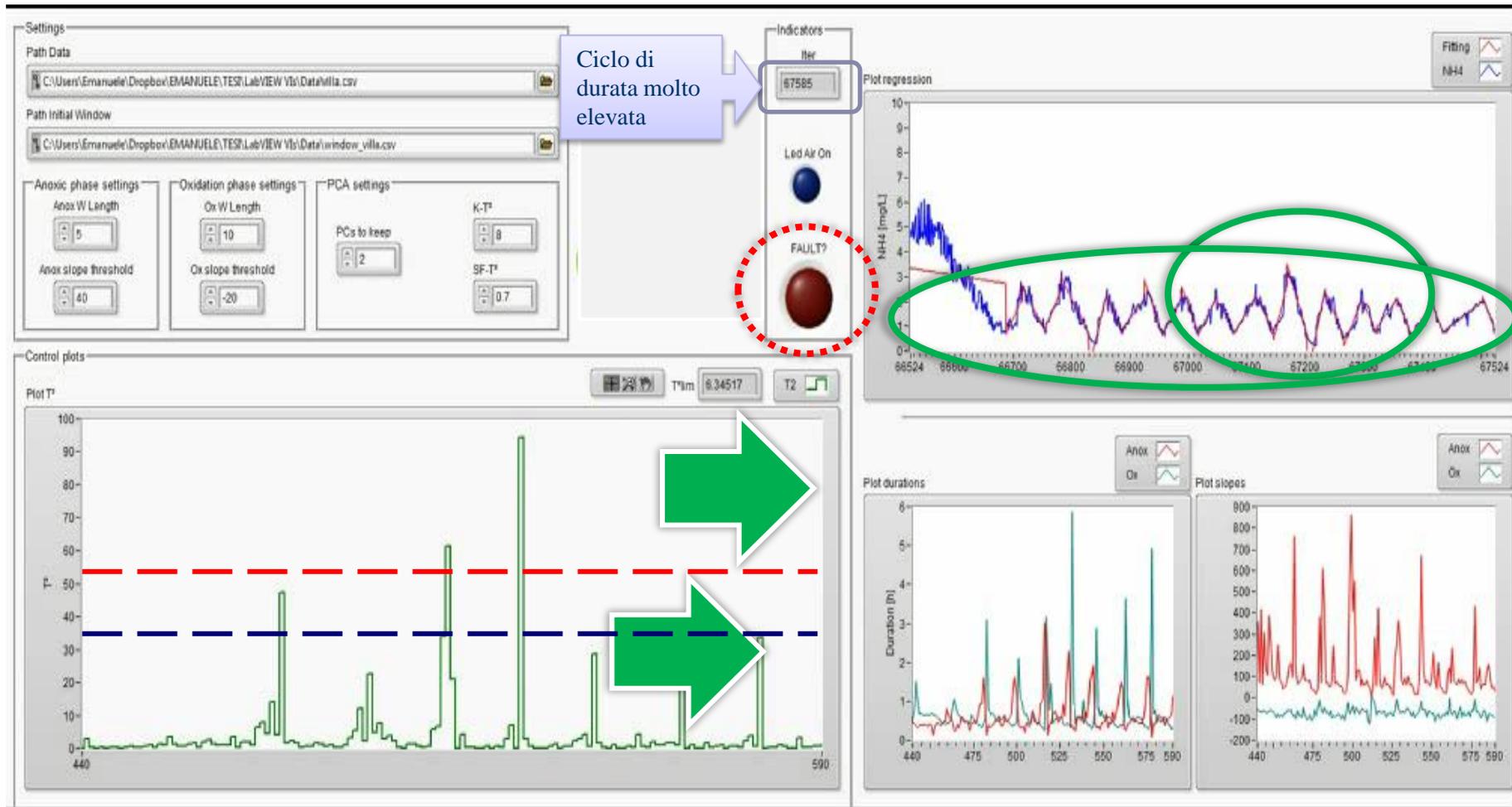


Modulazione delle soglie T^2

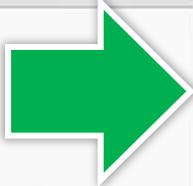
- ❑ Introdotta per discriminare i falsi allarmi dovuti alla variabilità intrinseca
- ❑ Su base sperimentale si sono definite tre soglie
 - Campione accettabile
 - Campione sospetto (possibile variabilità biologica)
 - Campione che indica decisamente un guasto.



Funzionamento real-time



Ciclo di durata molto elevata



Conclusioni

- ❑ La rilevazione automatica dei guasti è facilmente realizzabile via software
 - Si tratta di scegliere la migliore combinazione di algoritmi
- ❑ Non comporta costi o attrezzature aggiuntive
 - Può essere ospitata a bordo dello SCADA di sistema
- ❑ Con il solo costo di sviluppo del software può migliorare sensibilmente l'affidabilità del processo
 - Segnalazioni «intelligenti» di anomalie
- ❑ Può essere il primo passo verso un'automazione più avanzata
 - Le segnalazioni possono lanciare diverse procedure di gestione, a seconda dei casi.

Bibliografia

- ❑ Maere T., Villez K., Marsili-Libelli S., Naessens W., Nopens I. (2012). Membrane bioreactor fouling behaviour assessment through principal component analysis and fuzzy clustering. *Water Research* **46**, 6132 - 6142.
- ❑ Spagni A., Marsili-Libelli S. (2010). Artificial intelligence control of a sequencing batch reactor for nitrogen removal via nitrite from landfill leachate. *J. of Environmental Science and Health Part A* **45**, 1085 - 1091.
- ❑ Marsili-Libelli S., (2010). Modelling and automation of water and wastewater treatment processes. *Environmental Modelling & Software*, **25**, 613 - 615
- ❑ Baggiani F., Marsili-Libelli S. (2009). Real-time fault detection and isolation in biological wastewater treatment plants. *Water Sci. Tech.* **60**: 2949 – 2961
- ❑ Moscatelli, A., Rossi, L., Marsili-Libelli, S., Lubello, C. (2006). Diagnostica del processo di chiari-flocculazione mediante tecniche di intelligenza artificiale. *Ingegneria Ambientale* vol. XXXV n. 9: 443 - 455.
- ❑ Marsili-Libelli S. (1998). Adaptive fuzzy monitoring and fault detection. *Int. J. COMADEM*, **1** (3): 31 -38
- ❑ Marsili-Libelli S., Müller A. (1996). Adaptive fuzzy pattern recognition in the anaerobic digestion process. *Pattern Recognition Letters*, **17**: 651 – 659.
- ❑ 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.



Tecniche di rilevazione dei guasti nei processi di depurazione biologica

Stefano Marsili Libelli
coll.

Giacomo Barni, Emanuele El Basri, Matteo Masi



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DINFO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE



Publiacqua

BIOMATH

