



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

# ICT: analisi e valutazione degli indici di performance (KPIs)

Andrea Bassani, Maria Grazia Grottoli, Flavio Manenti  
Dipartimento CMIC “Giulio Natta”, Politecnico di Milano



# SuPER team

Sustainable Process Engineering Research

Unified CHEMICAL ENGINEERING and INDUSTRIAL CHEMISTRY team  
POLITECNICO DI MILANO – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

2



## MANENTI FLAVIO

Professor of Chemical Engineering.  
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano



## GROTTOLI MARIA GRAZIA

Senior Consultant in Chemical Engineering – Industrial Advisor



## BASSANI ANDREA

PhD Student of Chemical Engineering.  
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano.

## OBIETTIVO

Strutturare piattaforma ICT legata ad impianti di trattamento delle acque reflue.

### Potenzialità della piattaforma

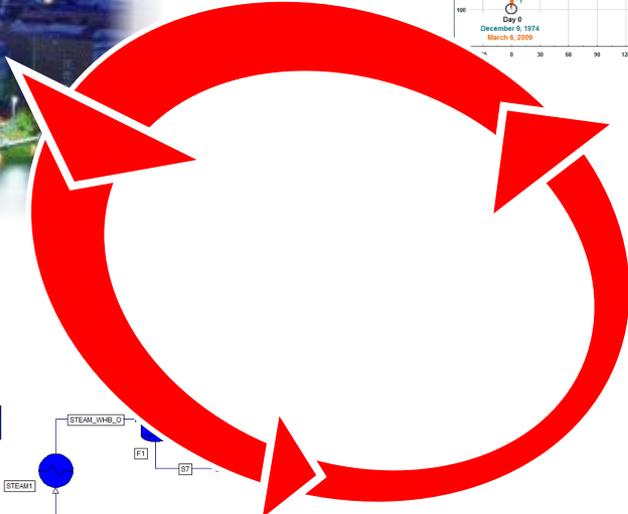
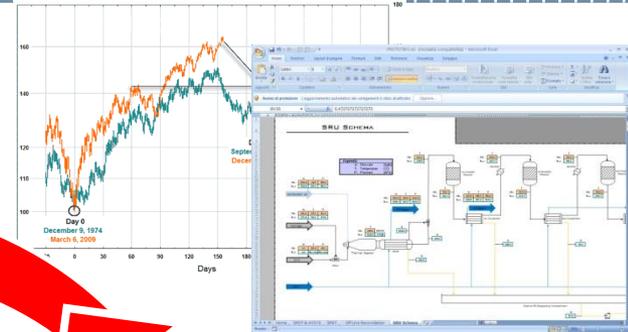
(raccolta/misurazione di dati di impianto in tempo reale)



- 1) Analisi condizioni operative del processo: **KPIs Impianto**
- 2) Individuazione rapida di problemi dell'impianto → **intervento online dell'operatore (Sicurezza)**
- 3) Ottimizzare **rendimento** impianto

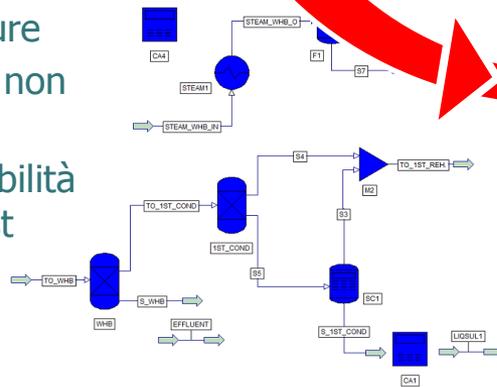


**Piattaforme sviluppate «ad hoc»  
per ciascun impianto**



## IMPIANTO

- ❑ Misure/informazioni/dati mancanti
- ❑ Errori nelle misure
- ❑ Comportamenti non convenzionali
- ❑ Non c'è la possibilità di effettuare test

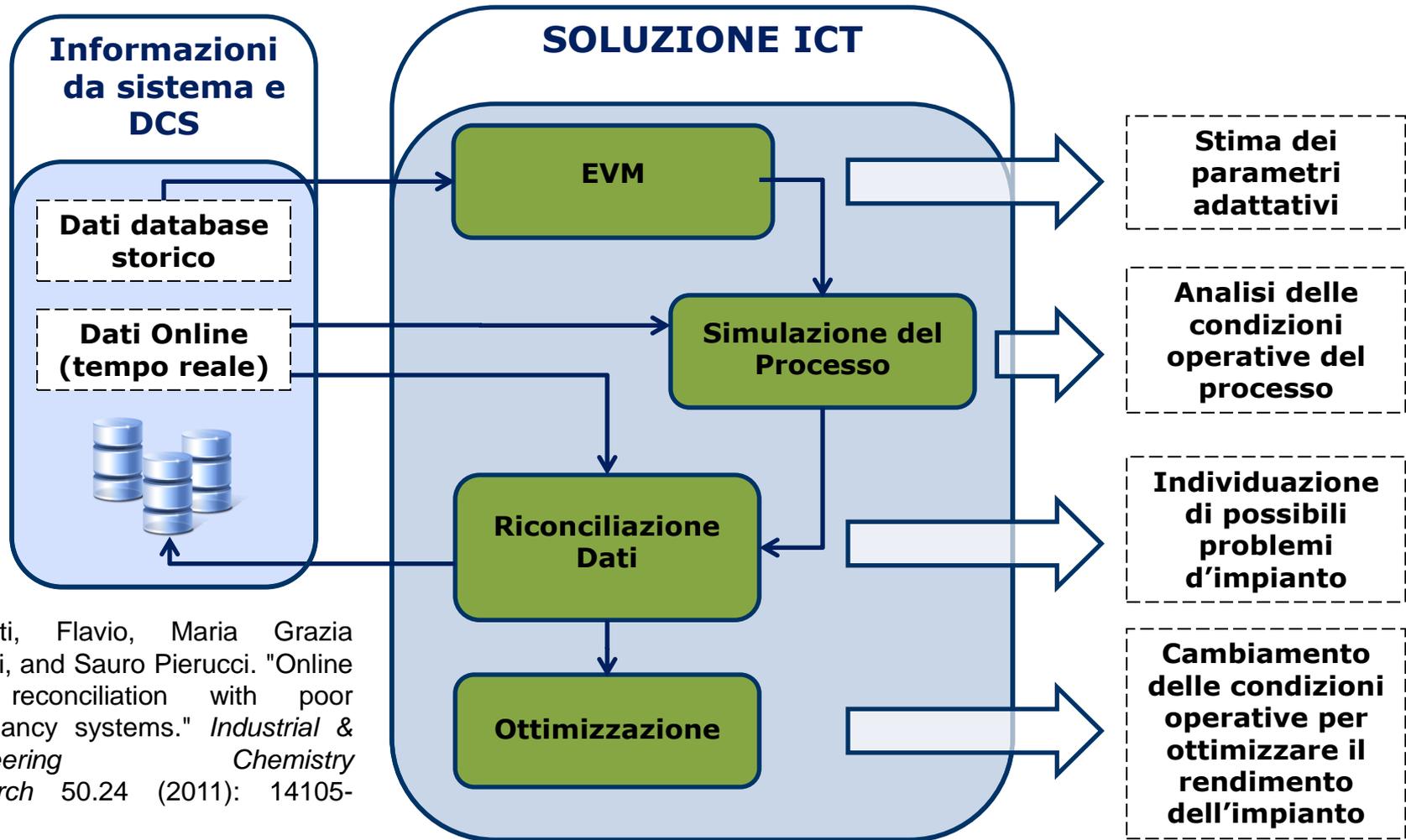


## RICONCILIAZIONE

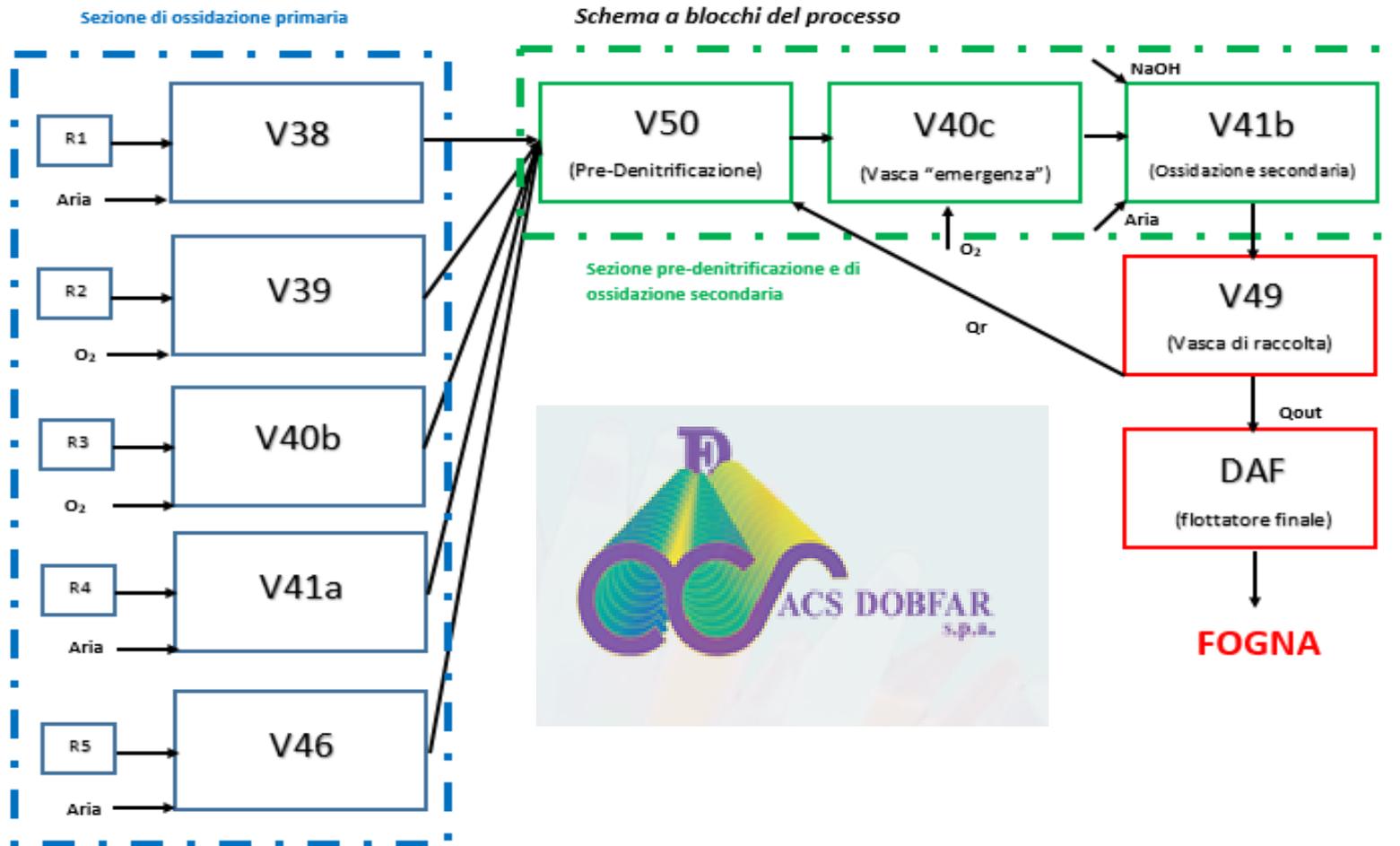
- ❑ Individuazione dei «Gross error»
- ❑ Stima/inferenza di alcune quantità non misurabili
- ❑ Monitoraggio delle performance di impianto

## SIMULAZIONE

- ❑ Consistenza delle variabili di processo
- ❑ Accordo con i bilanci di massa ed energia
- ❑ Flessibilità
- ❑ Migliore conoscenza del processo

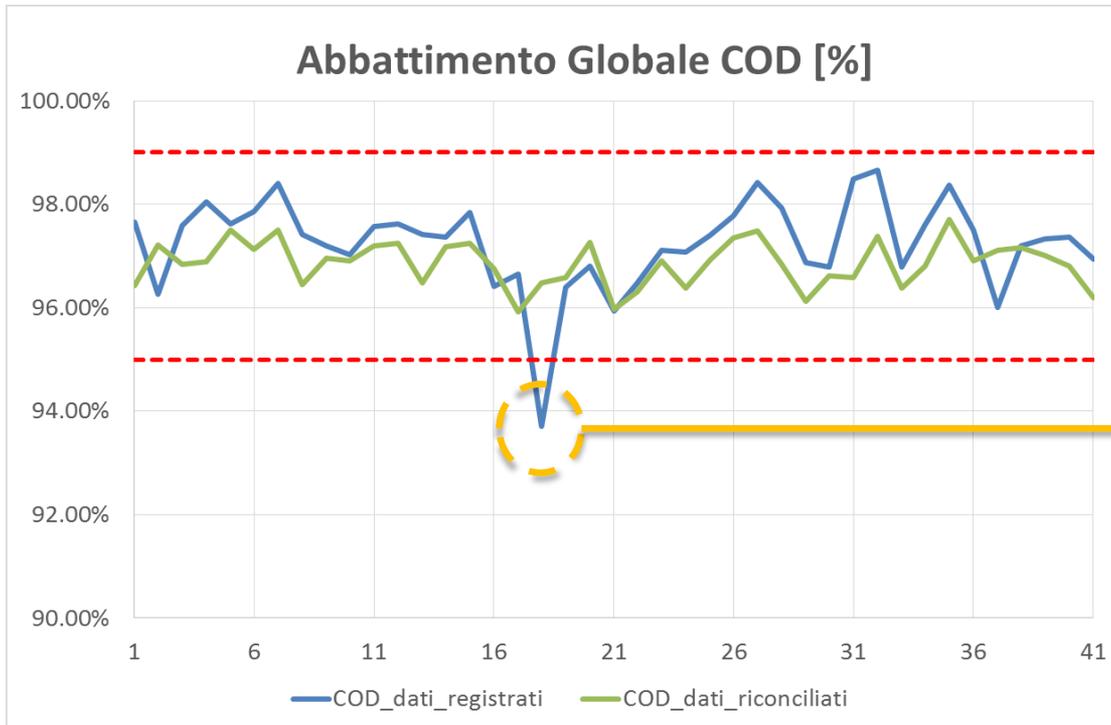


Manenti, Flavio, Maria Grazia Grottoli, and Sauro Pierucci. "Online data reconciliation with poor redundancy systems." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 50.24 (2011): 14105-14114.



## APPLICAZIONE METODOLOGIA ICT

- ❑ Riconciliazione dati impianto → **COD** (Chemical Oxygen Demand), **TN** ( Total Nitrogen), **TC** (Total Carbon).
- ❑ Stima di parametri adattativi per il modello.
- ❑ Analisi del processo: **Valutazione dei KPIs** (Key Performace Indicators) dell'impianto quali (e.g. impianto trattamento acque):
  - Resa abbattimento di COD.
  - Resa abbattimento di composti azotati (TN).
  - Resa abbattimento del carbonio totale (TC).
  - CO<sub>2</sub> totale emessa.
  - O<sub>2</sub> totale consumato.
  - Consumo energetico delle soffianti.



## ---- Limiti di abbattimento

- **Inferiore:** Limiti legge
- **Superiore:** Possibilità di risparmio energetico

Abbattimento di COD **inferiore** al valore minimo di abbattimento

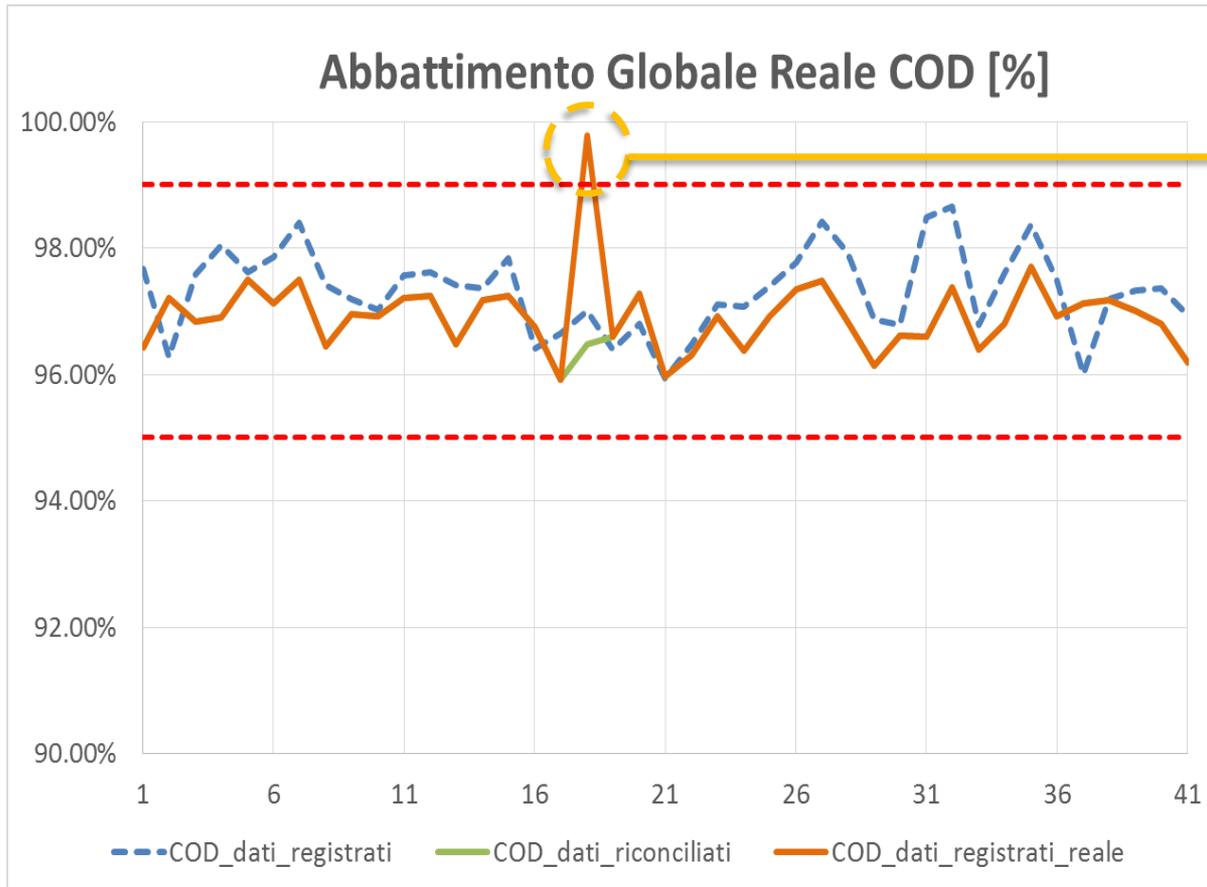


**Aumento potenza** delle pompe/soffianti??



**NO! Errore:** Il valore reale di abbattimento di COD rispetta i vincoli imposti

	<b>MEDIA</b>	<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>
<b>COD_conv_registrati[%]</b>	9.72E-01	0.88%
<b>COD_conv_riconciliati[%]</b>	<b>9.69E-01</b>	<b>0.44%</b>



Applicando un aumento di potenza

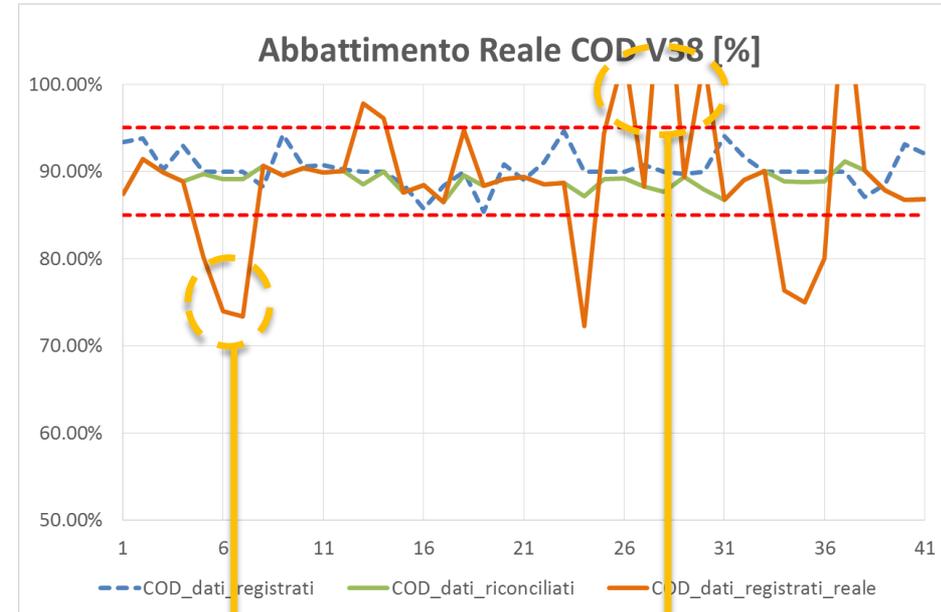
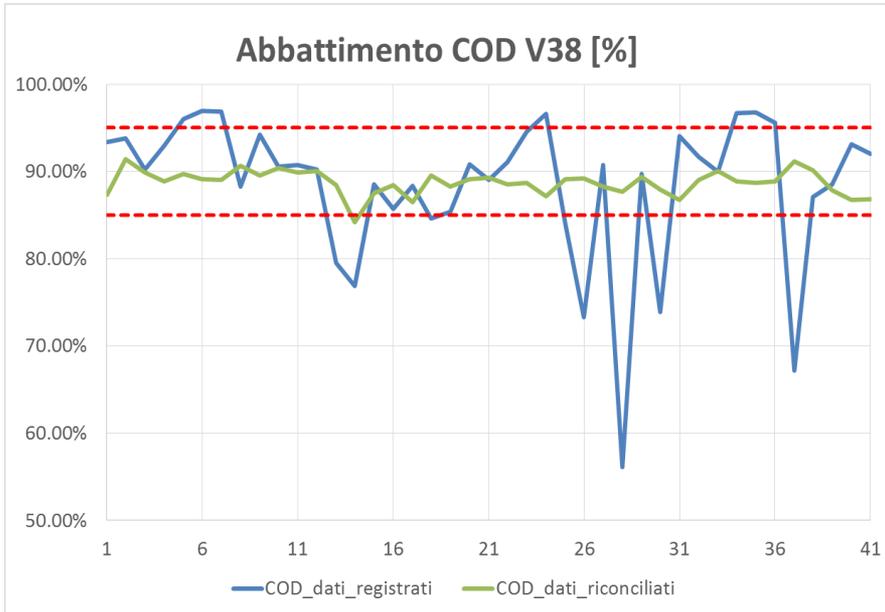
→ **inutile**  
**consumo**  
**energetico**  
**aggiuntivo**



Il rispetto dei limiti è già garantito dai dati riconciliati

# Effetto riconciliazione dati sull'abbattimento di COD

10



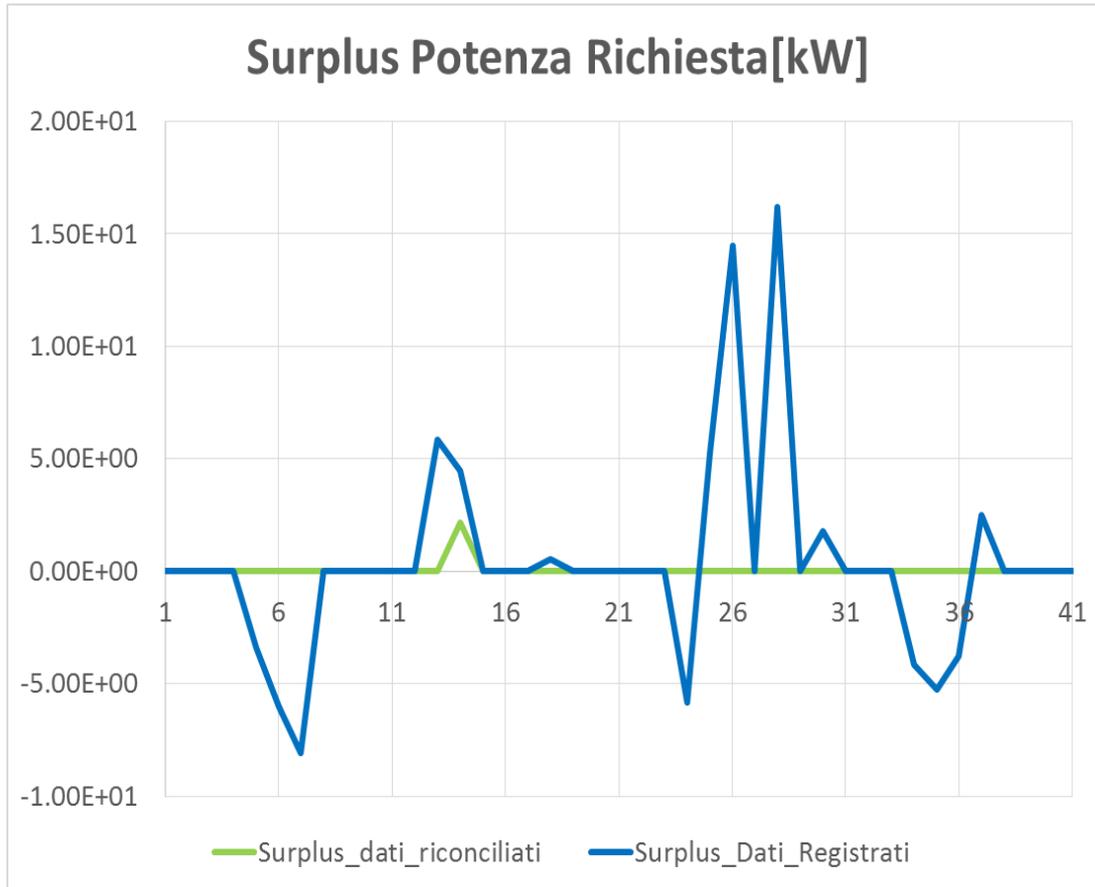
	MEDIA	DEVIAZIONE STANDARD
COD_conv_registrati[%]	8.84E-01	8.54%
COD_conv_riconciliati[%]	<b>8.87E-01</b>	<b>1.40%</b>

Abbattimento COD non sufficiente

↓  
**Limiti di legge non rispettati**

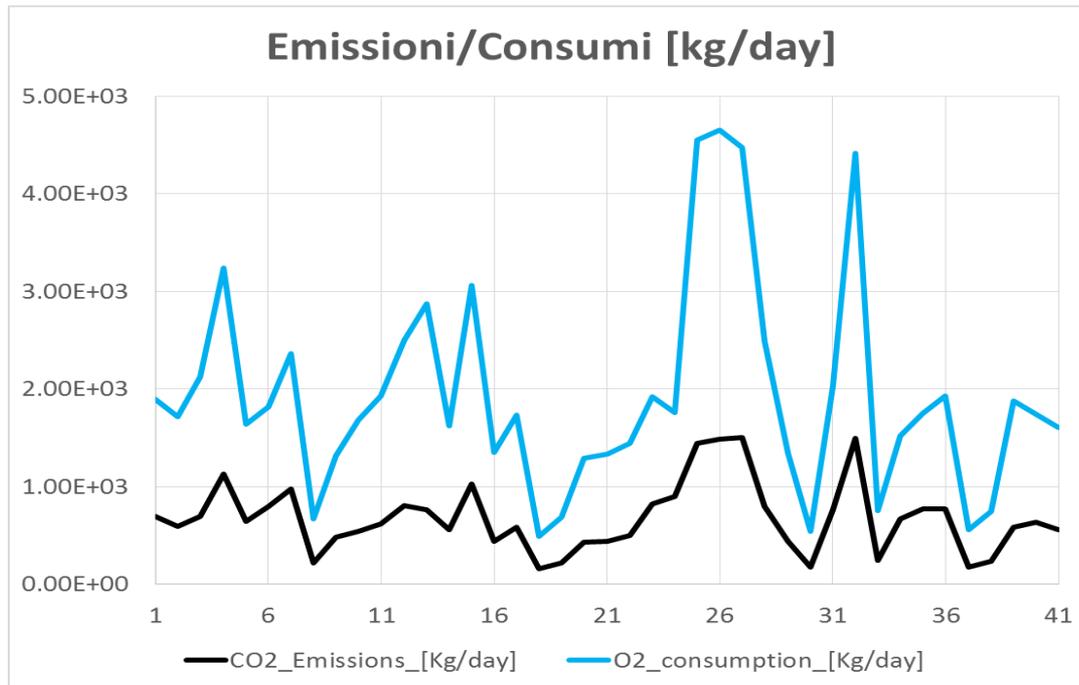
Abbattimento COD eccessivo

↓  
**Consumi di Energia aggiuntivi**



## CASO STUDIO

- 1) Incremento dell'1%** nell'energia utilizzata nelle soffianti
- 2) Stress maggiore** della soffiante:
  - maggiore logorio della apparecchiatura
  - sostituzione obbligata della apparecchiatura stessa.



## CASO STUDIO

➤ Emissioni legate ad una vasca singola

	<b>MEDIA</b>	<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>
<b>CO<sub>2</sub>_Emissions_[Kg/day]</b>	6.78E+02	3.57E+02
<b>O<sub>2</sub>_consumption_[Kg/day]</b>	1.94E+03	1.08E+03

## OBIETTIVI RAGGIUNTI

- Descrizione e implementazione della piattaforma ICT basata su metodologie già sviluppate/convalidate c/o il Centre for SuPER (PoliMI)
- Dimostrazione, sulla base di un impianto reale (i.e. ACS Dobfar), dell'efficacia di tale piattaforma ICT per massimizzazione performance e minimizzazione dei consumi energetici

## SVILUPPI FUTURI

- Implementazione ad hoc su altri impianti di trattamento (per es. Alan S.r.l.)
- Ottimizzazione globale/simultanea di impianto/energia basata su dati riconciliati
- Pacchetti on-line collegati ai sistemi di controllo in grado di migliorare e prevedere le performance



**SuPER** team  
Sustainable Process Engineering Research

Unified CHEMICAL ENGINEERING and INDUSTRIAL CHEMISTRY team  
POLITECNICO DI MILANO – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

# GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE

<http://super.chem.polimi.it/>

# Riconciliazione Dati

- La riconciliazione, nella pratica, è una minimizzazione vincolata e pesata che tiene conto dei dati sperimentali e del modello che viene utilizzato come vincolo:

$$\min_{x_i} f = \sum_{i=1}^{NP} \mu_i (x_i^{mod} - x_i^{sper})^2$$

s.t.

$$\text{Modello} \rightarrow \begin{cases} f(\mathbf{x}) = 0 \\ g(\mathbf{x}) \geq 0 \end{cases}$$

- In aggiunta, la risoluzione del problema di ottimo è associata alla identificazione di eventuali outliers che possono essere originati da misure errate o temporanei malfunzionamenti di strumentazione/trasmissione.

# Modello Impianto ACS Dobfar

## Principio di conservazione:

- Bilanci materiali per ciascuna vasca → determinazione principali indici di caratterizzazione delle acque reflue (COD, TN, TC).
- Bilanci materiali sul singolo componente (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O etc.)
- Bilanci energetici → determinazione del consumo energetico di pompe/soffianti.

$$\left\{ \begin{array}{l} dCOD_{out}/dt = F_{liq}/V_k (COD_{in} - COD_{out}) - \alpha_{COD}COD_{out} \\ dTN_{out}/dt = F_{liq}/V_k (TN_{in} - TN_{out}) - \alpha_{TN}TN_{out} \\ dTC_{out}/dt = F_{liq}/V_k (TC_{in} - TC_{out}) - \alpha_{TC}TC_{out} \end{array} \right.$$