

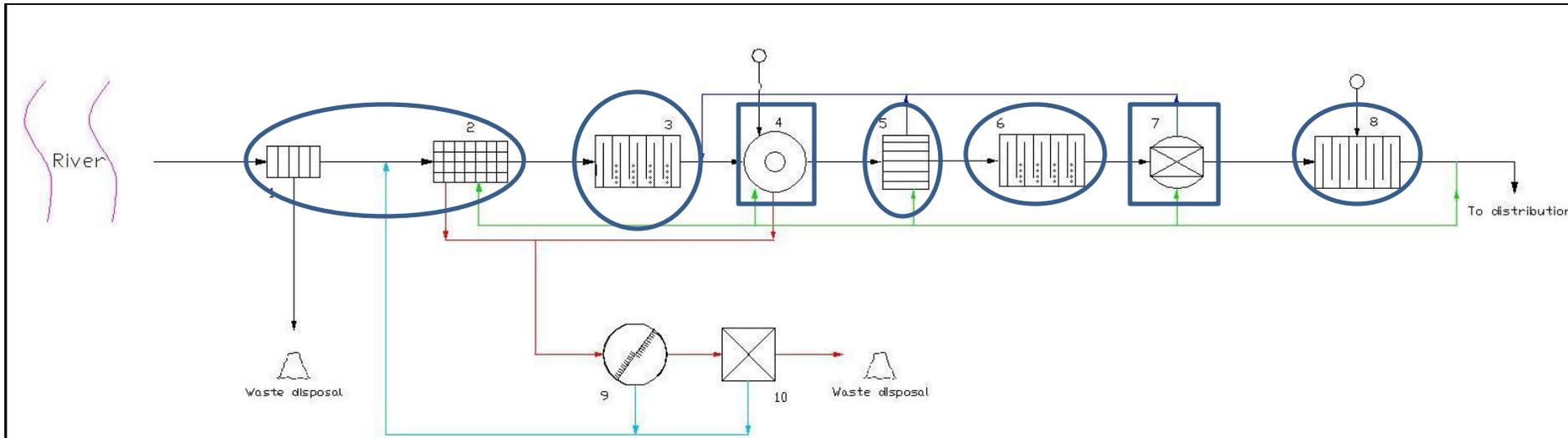




The Causeway

# “Egham Water Treatment Works”: Ciclo di Trattamento

L’Impianto è localizzato sulle rive del fiume Tamigi e può estrarre e trattare fino a 140 milioni di litri di acqua per giorno.



TREATMENTS	
1. SCREEN	
2. SCREEN	
3. PRE-OZONATION	
4. FLOC BLANKET CLARIFIER	
5. FILTRATION	
6. INTER-OZONATION	
7. ADSORPTION	
8. DISINFECTION	
9. THICKENING STAGE	
10. CENTRIFUGATION	

SIMBOLS	
—	WATER TREATMENT
—	WASTEWATER
—	BACKWASHING
—	RECYCLE WATER BACKWASHING
—	RECYCLE SUPERNATANT

# SimEAU Water Treatment Simulation Model

SimEAU è stato sviluppato nell'ambito del "TECHNEAU project", finanziato dalla "Comunità Europea", come supporto ai tradizionali trattamenti delle acque potabili.

SimEAU simula le performance di impianti di potabilizzazione in termini di:

- Solidi sospesi
- Dissolved Organic Carbon (DOC)

# Simulatori disponibili per la potabilizzazione delle acque



Processi	OTTER	STIMELA	METREX	SimEAU
Coagulazione	SI	SI	SI	Combinare
Flocculazione	SI	SI	SI	
Sedimentazione	Floc blanket clarifiers	NO	Vasca Sedimentazione	NO
Filtrazione	Filtri rapidi a gravità			
Ossidazione	Ozonizzazione	Ozonizzazione	Ozonizzazione	Ozonizzazione
Adsorbimento	SI	SI	SI	NO
Trattamento Fanghi	SI	NO	NO	NO
Disinfezione	SI	SI	SI	NO

# **Condizioni per l'applicazione di SimEAU all'impianto “Egham Water Treatment Works”**

1. Corrispondenza tra le assunzioni dei modelli in SimEAU e la reale configurazione dell'impianto “Egham Water Treatment Works”
2. Disponibilità di dati sperimentali dell'impianto per la calibrazione dei parametri dei modelli

# Assunzioni in SimEAU e configurazione dell'impianto "Egham Water Treatment Works"

TRATTAMENTI	ASSUNZIONI IN SimEAU	EGHAM CONFIGURAZIONE	LIMITI	SOLUZIONE
<b>Pre-ozonizzazione</b>	Colonna di contatto bolle ozono e vasca di contatto	Miscelazione rapida e vasca di contatto	Colonna di contatto bolle ozono	Studiata solo la Inter-ozonizzazione
<b>Coagulazione-Flocculazione</b>	Combinate. Coagulazione: miscelazione rapida Bacino flocculazione: miscelazione meccanica o dissipazione idraulica	Coagulazione: miscelazione rapida. Flocculazione: Bacino assente	Bacino Flocculazione	Implementazione "Edwards' Model"
<b>Sedimentazione</b>	Assente: caso ideale in cui tutti i solidi sospesi sedimentabili sono rimossi	Tre vasche sedimentazione in parallelo : due Floc Blanket Clarifier (FBC) e una vasca di sedimentazione	Assenza della sedimentazione in SimEAU	Implementazione "Floc Blanket Clarifier Model (FBC)"
<b>Filtrazione</b>	Filtri rapidi a gravità	Filtri rapidi a gravità	NO	Simulazioni con SimEAU
<b>Inter-ozonizzazione</b>	Colonna di contatto bolle ozono e vasca di contatto	Miscelazione rapida e vasca di contatto	Colonna di contatto bolle ozono	Modello con cinetica di decadimento ozono del primo ordine
<b>Adsorbimento (GAC)</b>	Assente	Granulated activated carbon Filters (GAC)	Assenza del GAC in SimEAU	Nuovo Modello di adsorbimento in Matlab
<b>Disinfezione</b>	Assente	Vasca di contatto	Assenza della disinfezione in SimEAU	Modello con cinetica di decadimento cloro del primo ordine

# Scopo della tesi

Inizialmente lo scopo della tesi era quello di testare il simulatore di acque potabili SimEAU applicandolo all'impianto di potabilizzazione "Egham Water Treatment Works".

In seguito, vista l'assenza di corrispondenza tra la reale configurazione dell'impianto e le assunzioni dei modelli in SimEAU, utilizzando i dati sperimentali di "Egham Water Treatment Works" sono stati perseguiti i seguenti obiettivi :

- Implementazione di modelli matematici per sopperire la debolezza di SimEAU
- Combinazione delle singole unità di processo per simulare le performance dell'impianto
- Confronto dei risultati di simulazione con i dati sperimentali dell'impianto
- Esempi di calibrazione dei parametri di alcune unità di trattamento
- Generali commenti sull'applicazione del simulatore SimEAU

# Coagulazione: "Edwards' Model"

Edwards' Model è stato implementato per predire la concentrazione di DOC (mg/l) a seguito del processo di coagulazione.

## Equazioni del modello:

➤ Aliquota non adsorbibile di DOC ( $X_{NS}$ )  $\longrightarrow X_{NS} = K_1 * SUVA_{rw} + K_2$

➤ Concentrazione adsorbibile di DOC ( $DOC_s$ )  $\longrightarrow DOC_s \left( \frac{mg}{l} \right) = (1 - X_{NS}) * DOC_{rw} \left( \frac{mg}{l} \right)$

➤ Isoterma di Langmuir  $\longrightarrow \frac{DOC_s - DOC_{eq}}{D} = \frac{a * b * DOC_{eq}}{1 + b * DOC_{eq}}$

➤ Concentrazione adsorbibile di DOC in soluzione all'equilibrio ( $DOC_{eq}$ )

$$DOC_{eq} = \frac{-(1 - b * DOC_s + D * a * b) + \sqrt{(1 - b * DOC_s + D * a * b)^2 + 4 * b * D * DOC_s}}{2 * b}$$



➤ Concentrazione di DOC in soluzione al termine processo coagulazione ( $DOC_{coag}$ )

$$DOC_{coag} \left( \frac{mg}{l} \right) = DOC_{eq} \left( \frac{mg}{l} \right) + X_{NS} * DOC_{rw} \left( \frac{mg}{l} \right)$$

# Coagulazione: "Edwards' Model"

N°	Assunzioni del Modello	Condizioni operative Impianto Egham	Barriere del modello per Impianto
1	Miscelazione rapida	Miscelazione meccanica	Nessuna
2	5<pH<7	pH=7	Nessuna
3	Temperatura costante	Temperatura costante	Nessuna

Constants	Al Coagulant
K <sub>1</sub>	-0.075
K <sub>2</sub>	0.56
X <sub>1</sub>	284
X <sub>2</sub>	-74.2
X <sub>3</sub>	4.91
b	0.147

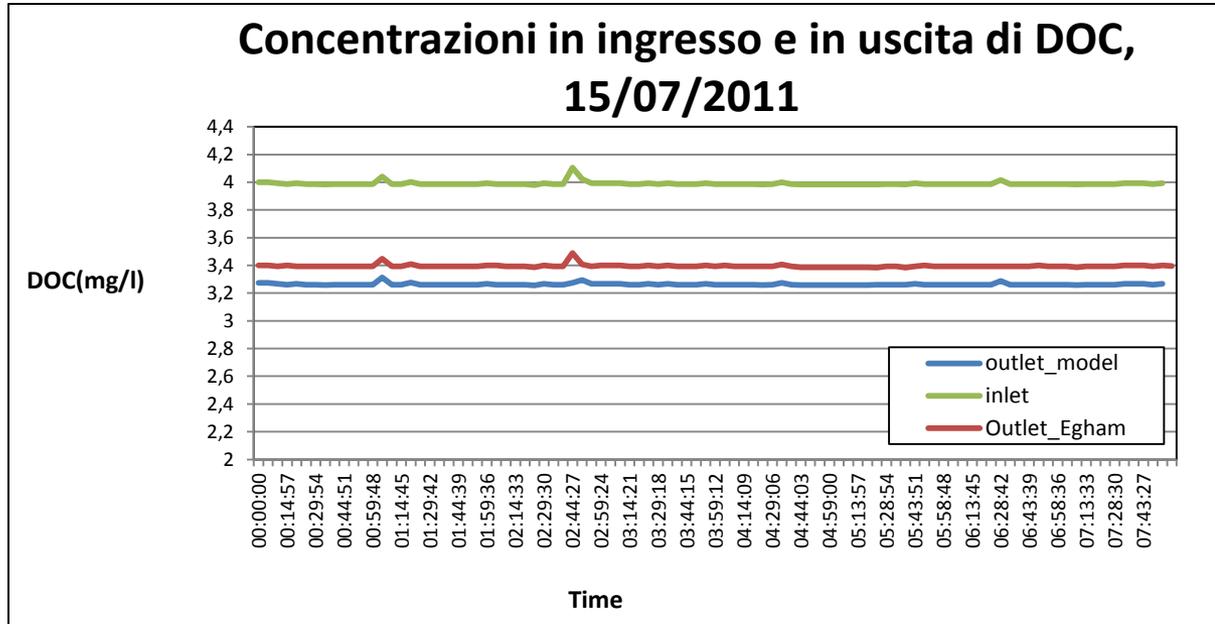
$$a = x_3 * pH_{coag}^3 + x_2 * pH_{coag}^2 + x_1 * pH_{coag}$$

Polyaluminium chloride Hydroxide Sulphate=3.5 mg/l



Al<sup>3+</sup>= 0.75 mg/l

# Risultati

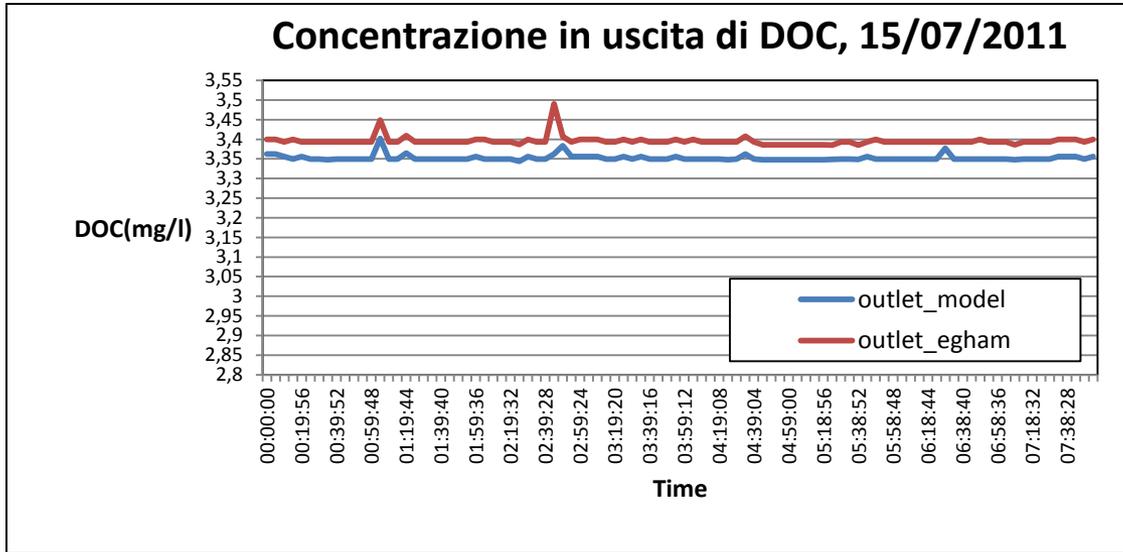


$$UVA_{254} (1/m) = 26.7$$

$$X_{NS} = K_1 * SUVA_{rw} + K_2$$

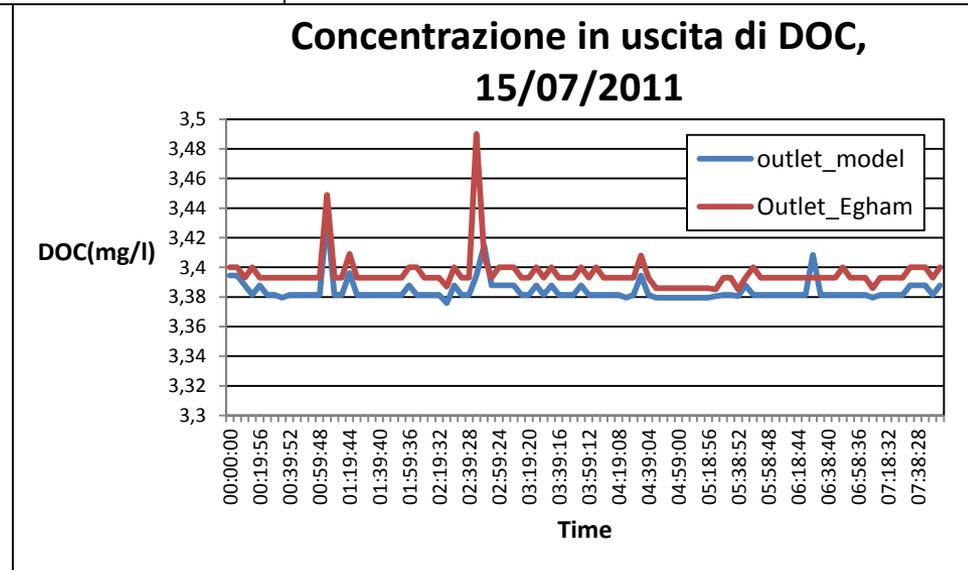
$$SUVA_{rw} = \frac{UVA_{254} \left(\frac{1}{m}\right)}{DOC \left(\frac{mg}{l}\right)}$$

# Influenza della UVA<sub>254</sub>



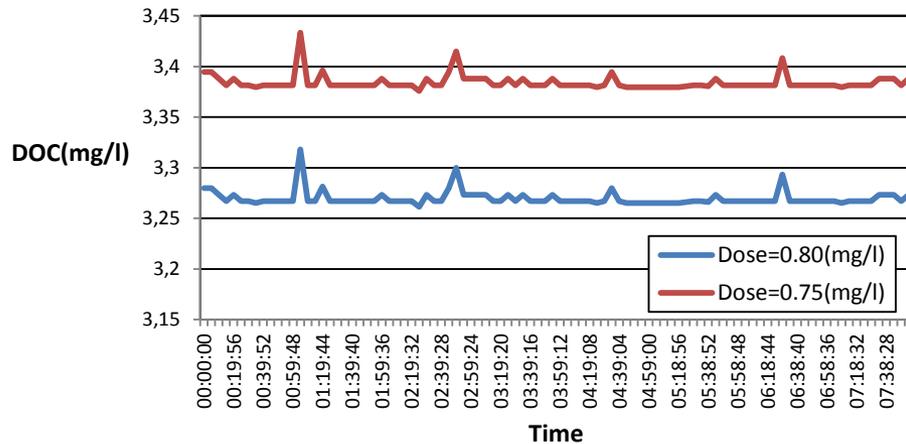
UVA<sub>254</sub> Riduzione 30%

UVA<sub>254</sub> Riduzione 40%

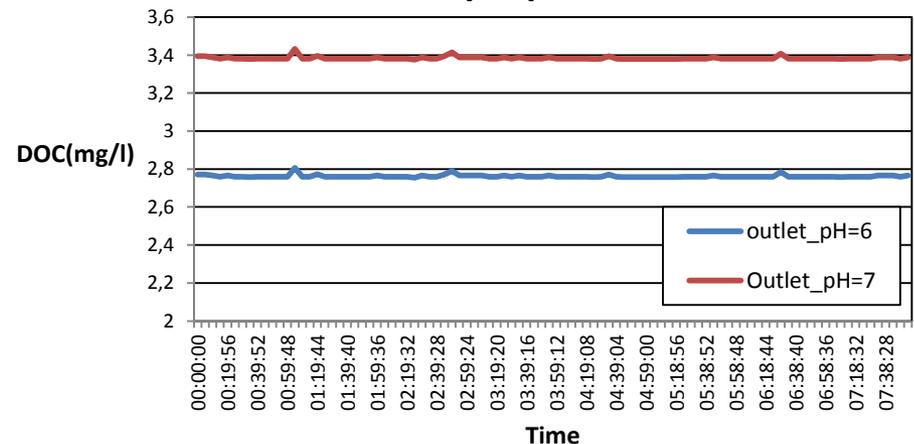


# Influenza della Dose di Coagulante e del pH

Concentrazione in uscita DOC,  
15/07/2011



Concentrazione in uscita DOC,  
15/07/2011



# Floc blanket clarifier (FBC): Modello

Il Floc blanket Clarifier è stato modellato con un reattore a miscelazione continua (CSTR) per la rimozione dei solidi sospesi sedimentabili.

## Assunzioni del modello:

- Due tipologie di particelle presenti nel FBC
- Tutti i solidi sospesi sedimentabili sono ugualmente rimossi nel chiarificatore

Solidi sospesi nell'influente

Fiocchi alluminio

## Le prestazioni del FBC sono influenzate:

- Caratteristiche di sedimentabilità dei fiocchi all'interno del FBC
- Fattore di Flocculazione che descrive il processo di chiarificazione e la capacità dello strato di fiocchi di idrossido di alluminio nell'inglobare i colloidali
- Concentrazione nel "blanket"

# Equazione del modello

Bilancio di massa per il bacino CSTR:

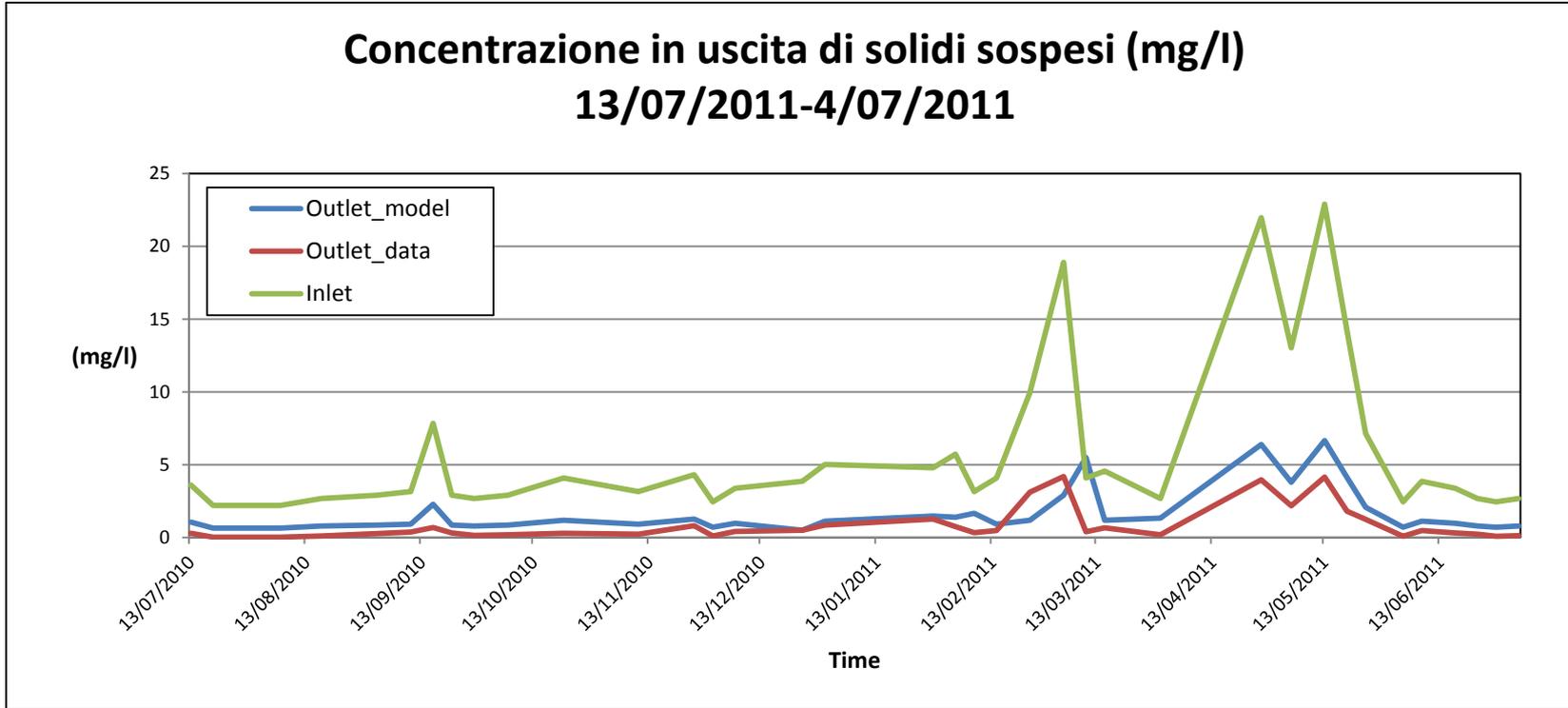
$$\frac{dX}{dt} = \frac{Q}{V} (X_i - X) - \left[ \frac{K_f \phi H_b}{100L} + \frac{v_s A}{V} \right] X$$

Concentrazione solidi sospesi nel FBC  
(g/m<sup>3</sup>)

Concentrazione solidi sospesi in uscita  
al FBC (g/m<sup>3</sup>)

Q(m <sup>3</sup> /h)	750
V(m <sup>3</sup> )	1271
Fattore di flocculazione <b>K<sub>f</sub></b> (h <sup>-1</sup> )	12.5
Concentrazione nel blanket <b>Φ</b> (%v/v)	5%
Altezza dello sludge blanket <b>H<sub>b</sub></b> (m)	1.45
Livello dell'acqua nel FBC <b>L</b> (m)	4.55
Velocità sedimentazione <b>v<sub>s</sub></b> (m/h)	6
Superficie del FBC <b>A</b> (m <sup>2</sup> )	279

# Risultati



$$\beta = \frac{\frac{Q}{V}}{\frac{Q}{V} + \frac{K_f H_b \Phi}{100L} + \frac{v_s A}{V}} = 0.29$$

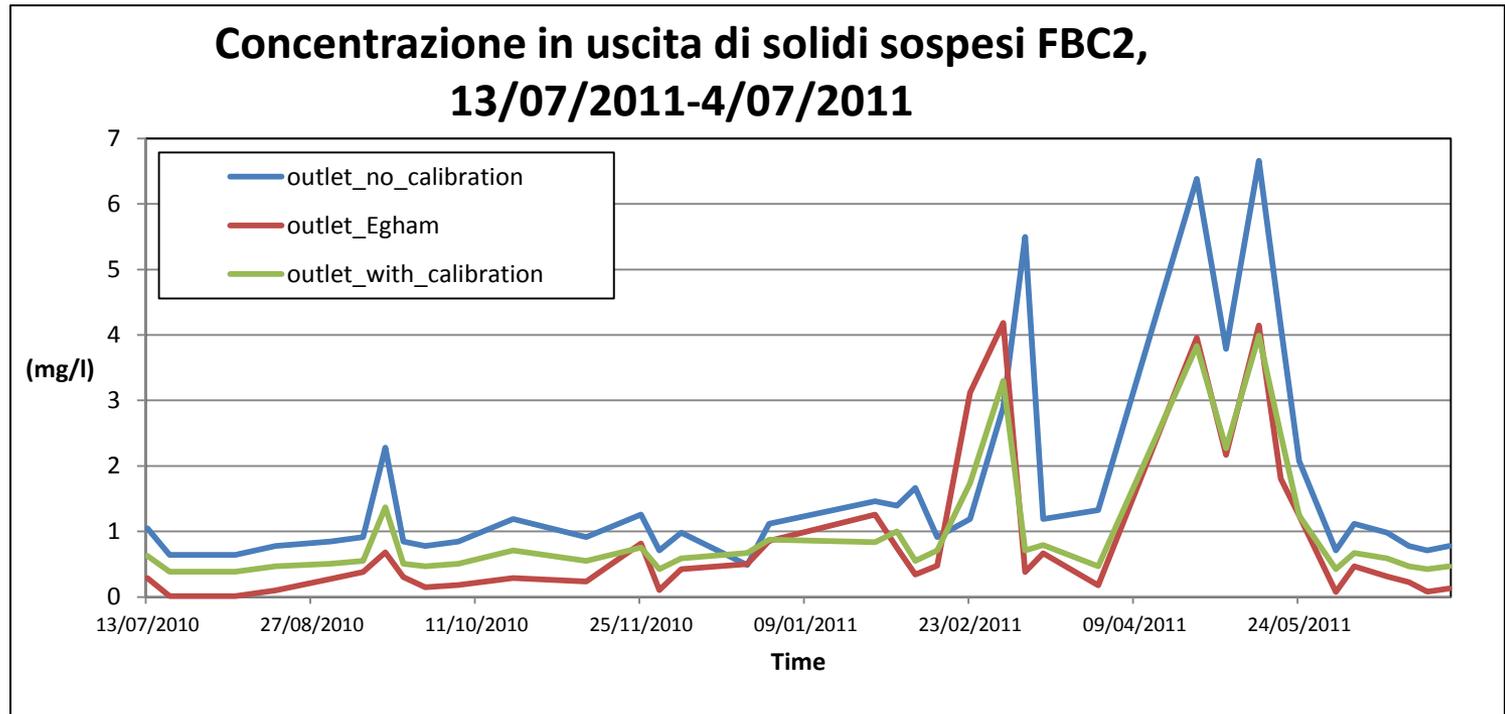
# Calibrazione del Modello

Calibrazione con regressione lineare:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0.17$$

Concentrazione in uscita di solidi sospesi (Egham dato sperimentale)(mg/l)

Concentrazione in ingresso di solidi sospesi (mg/l)



# Filtrazione-Filtri rapidi a gravità

## Equazioni del modello

- Bilancio di massa relativo ai solidi sospesi in acqua

$$\frac{\delta C}{\delta t} - D_x \frac{\delta^2 C}{\delta z^2} - u_p \frac{\delta C}{\delta z} + f_1(C) + f_2(C, C_s) = 0$$

- Bilancio di massa per le particelle nel mezzo poroso

$$\frac{\delta C_s}{\delta t} + f_{2s}(C, C_s) = 0$$

- Equazione fenomenologica della filtrazione

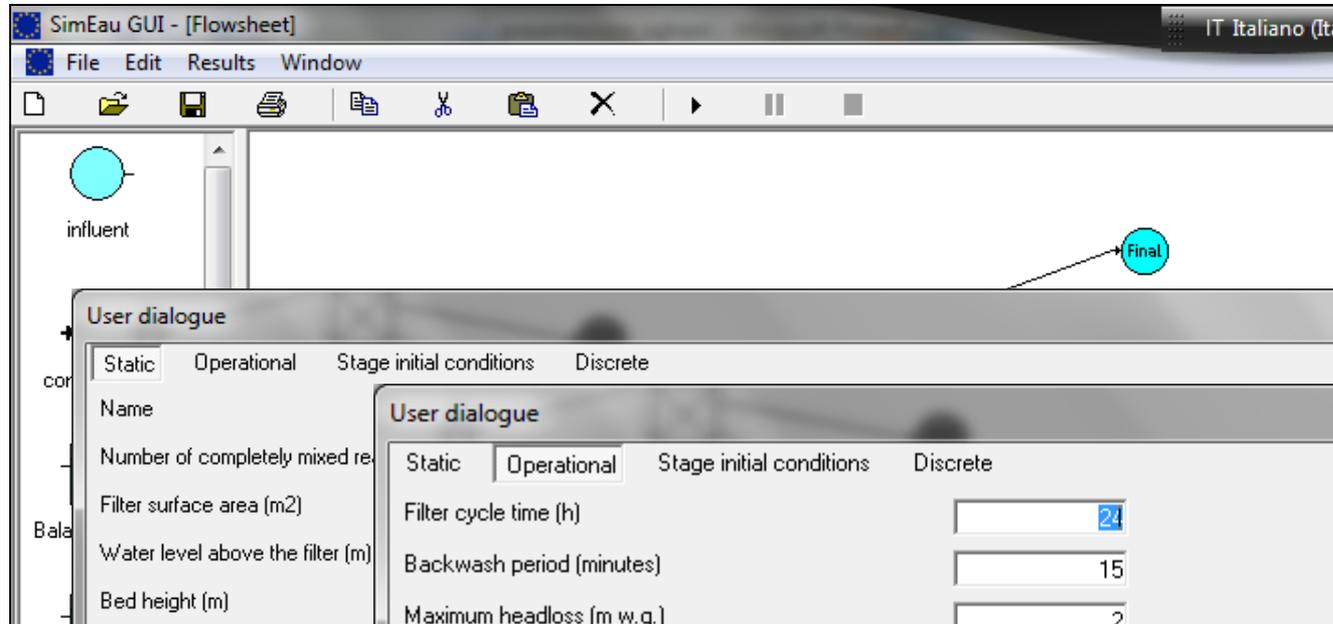
$$f_{2s}(C, C_s) = -\frac{u_f}{\varepsilon_t} \lambda C$$

- Ives' Relationship per il coefficiente di filtrazione  $\lambda$

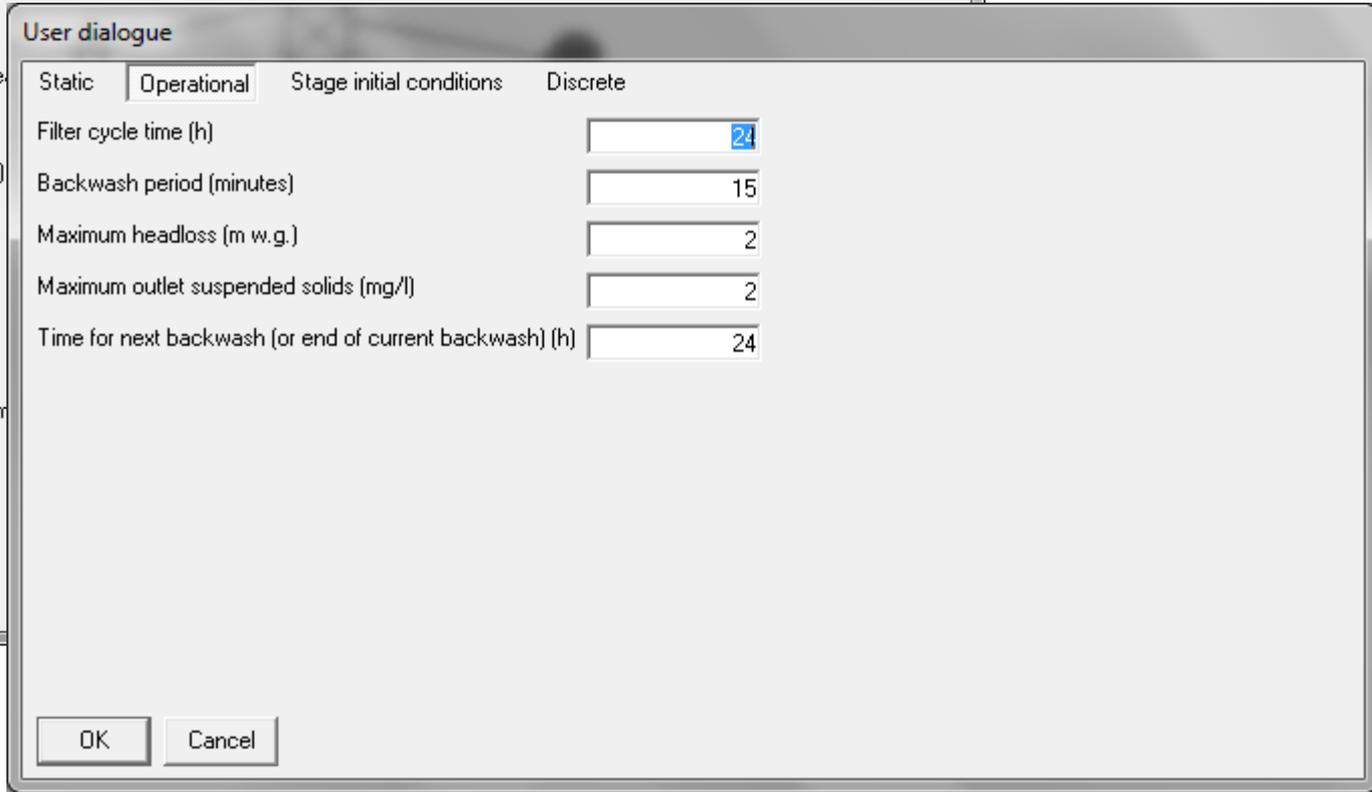
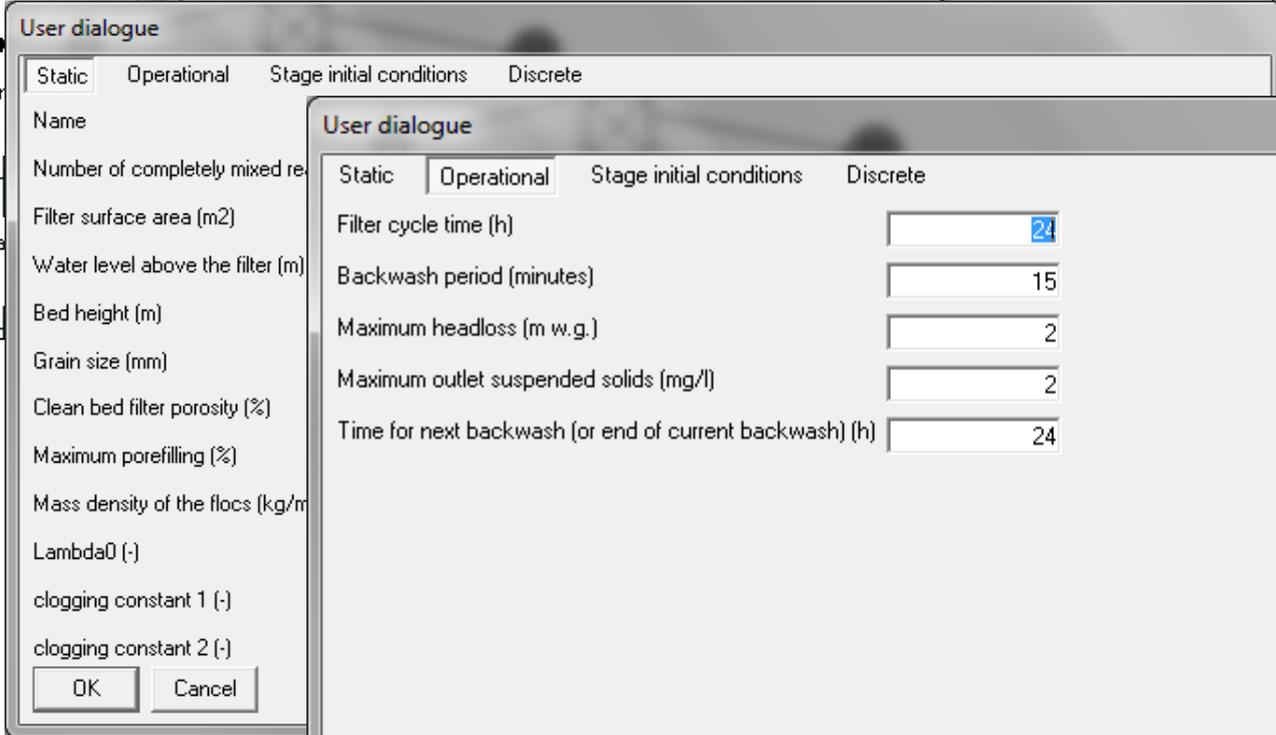
$$\lambda = \lambda_0 \left( 1 + n_1 \sigma - n_2 \frac{\sigma^2}{\varepsilon_t} \right)$$

Solidi sospesi in uscita

# Simulazioni con SimEAU



Simulazione possibile per un singolo filtro



# Parametri

$\sigma$ (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> )	0.064
$\lambda_0$	0.95
$n_1$	121.3
$n_2$	0



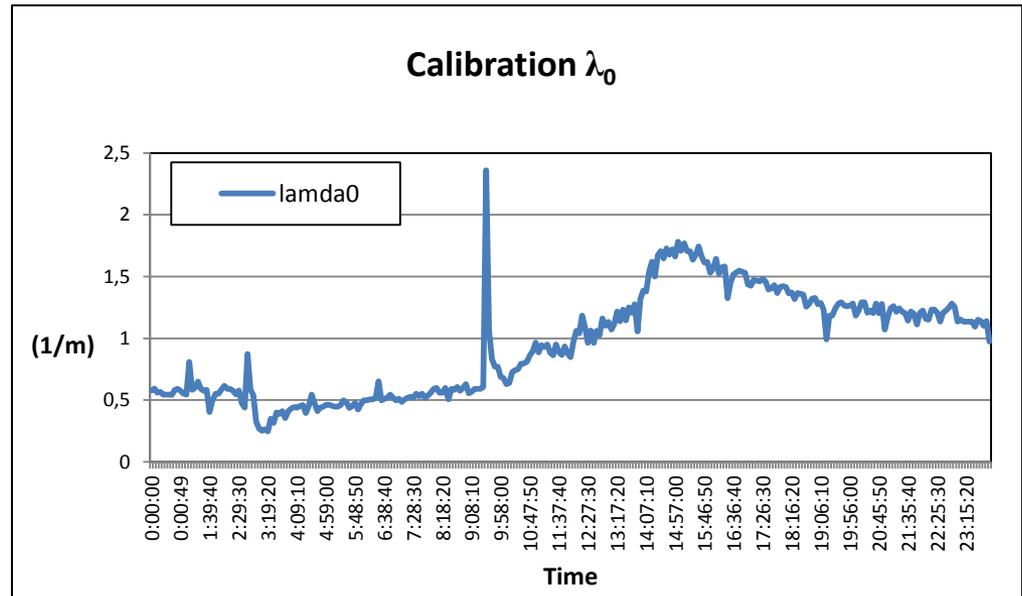
$$\sigma = \varepsilon_0 \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{H/H_0}}$$



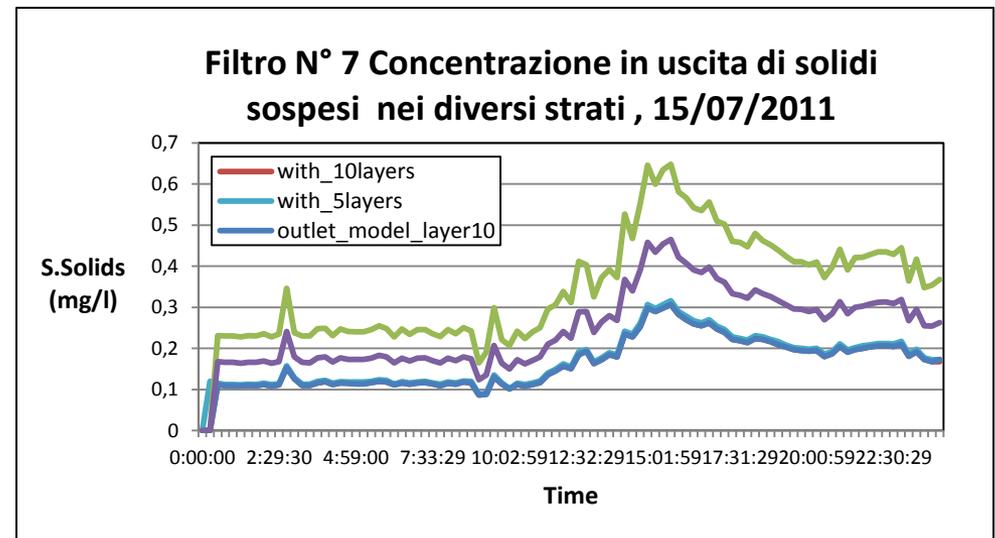
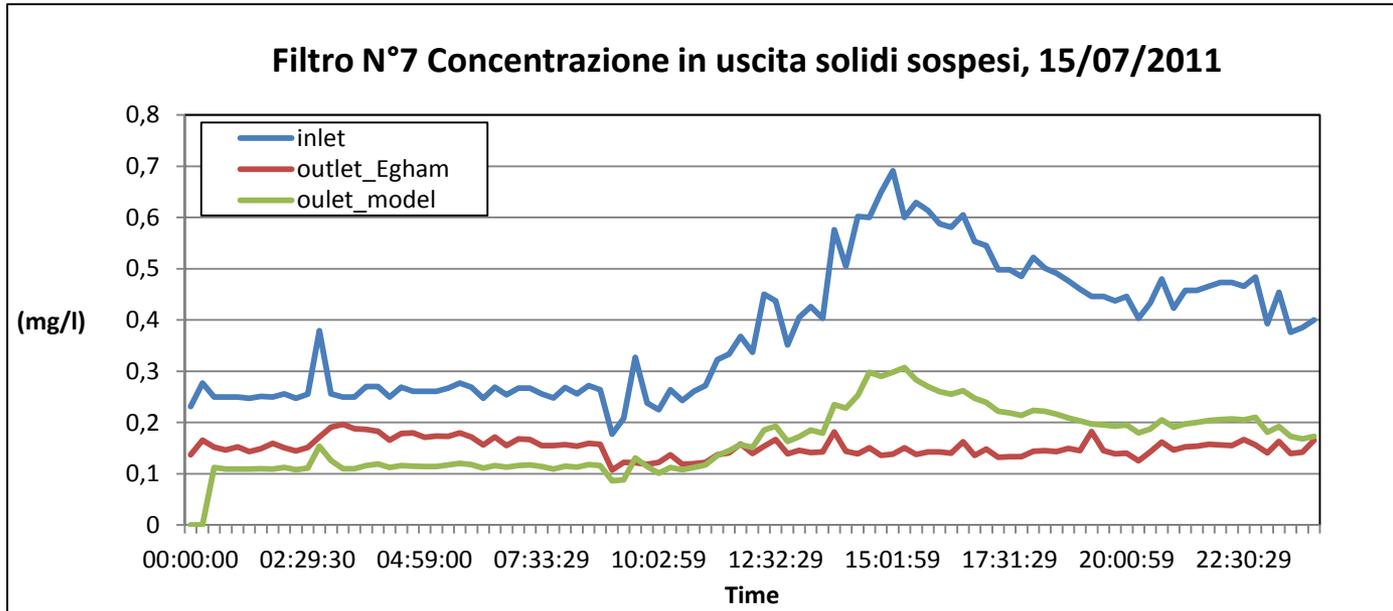
$\lambda_0$  Calibrazione



$$\lambda_0 = -\frac{1}{L_{filter}} \ln\left(\frac{C_{out}}{C_0}\right)$$

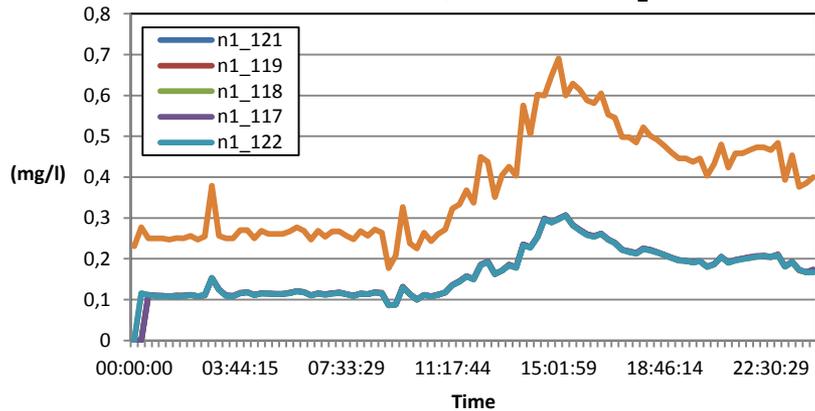


# Resultati delle simulazioni con SimEAU

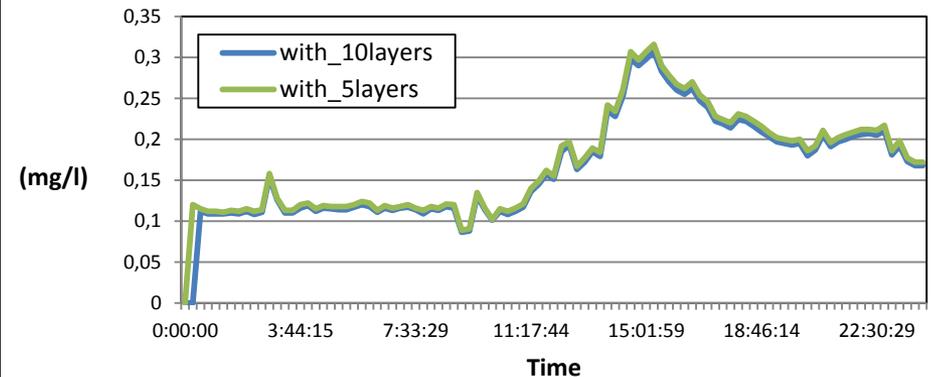


# Risultati Simulazioni con SimEAU

Concentrazione in uscita solidi sospesi ,  
variazione con parametro  $n_1$



Filtro N°7 Solidi sospesi in uscita , 15/07/2011



# Inter-Ozonizzazione

Il modello è mirato allo studio del decadimento di Ozono.

## Assunzioni del modello:

- Plug flow per la vasca di contatto
- Cinetica del primo ordine per descrivere il decadimento di ozono



$$[O_3]_{out} = [O_3]_{in} * e^{-k/Q}$$

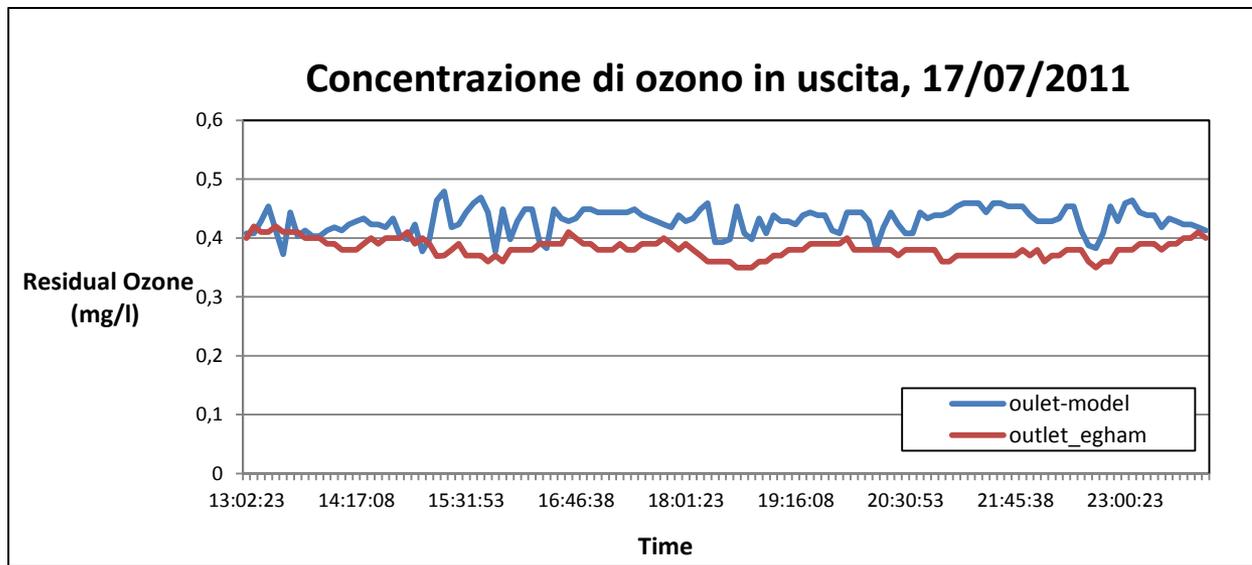
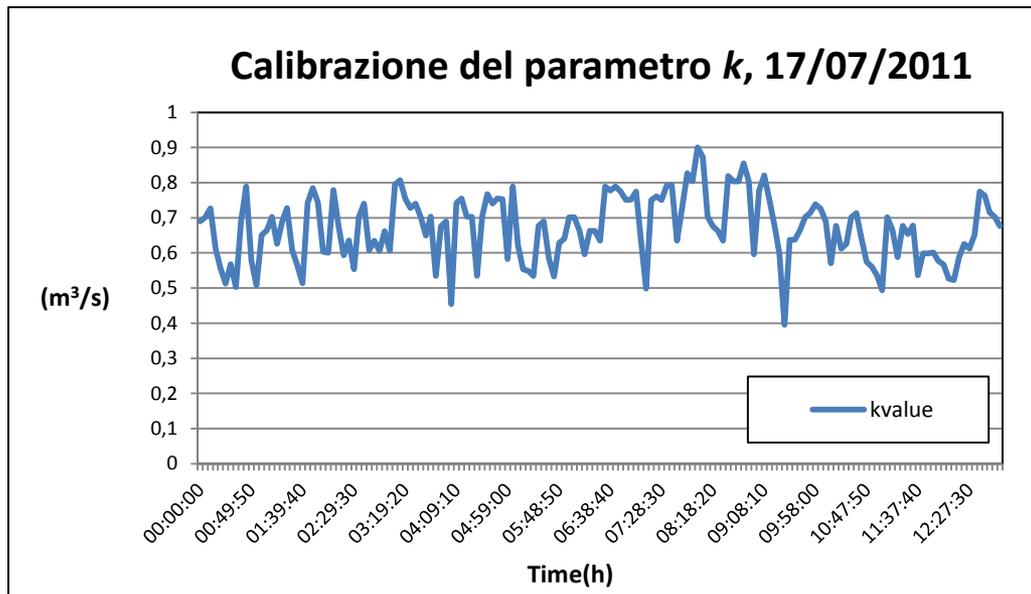


Calibrazione



$$k = -Q * \ln\left(\frac{[O_3]_{out}}{[O_3]_{in}}\right)$$

# Inter-Ozonizzazione: Risultati



$$k = -Q * \ln\left(\frac{[O_3]_{out}}{[O_3]_{in}}\right)$$

Calibrazione

K(m<sup>3</sup>/s)

0.67

Q(m<sup>3</sup>/s)

0.995

# Modello matematico per l'adsorbimento con Filtri di Carbone Attivo : “Granular Activated Carbon (GAC) Filters”

Il modello matematico è stato sviluppato per riprodurre la curva di **breakthrough** che riporta la concentrazione di TOC in uscita nel tempo.

## Assunzioni del modello:

1. Concentrazione di TOC assimilata al composto clorurato Tricloroetilene
2. Flusso convettivo costante
3. L'adsorbato non è degradabile
4. Materiale adsorbente omogeneo, uniformemente distribuito e di dimensioni sferiche
5. Equilibrio di adsorbimento tra l'adsorbato sulla superficie della particella adsorbente e il soluto nel liquido inter-particella adsorbente

# Equazioni del modello

- Bilancio di materia nella fase liquida:

$$\varepsilon \frac{\delta C}{\delta t} + \rho_b \frac{\delta \omega}{\delta t} + u \frac{\delta C}{\delta x} - \varepsilon D_x \frac{\delta^2 C}{\delta x^2} = 0$$

- Bilancio di materia nella fase solida:

$$\rho_b * \frac{\delta \omega}{\delta t} = k_f * a * (C - C^*)$$

- Isoterma di Langmuir:

$$\omega = \frac{\omega_{\max} K * C}{1 + K * C}$$

Programmazione  
Matlab

Concentrazione  
Effluente

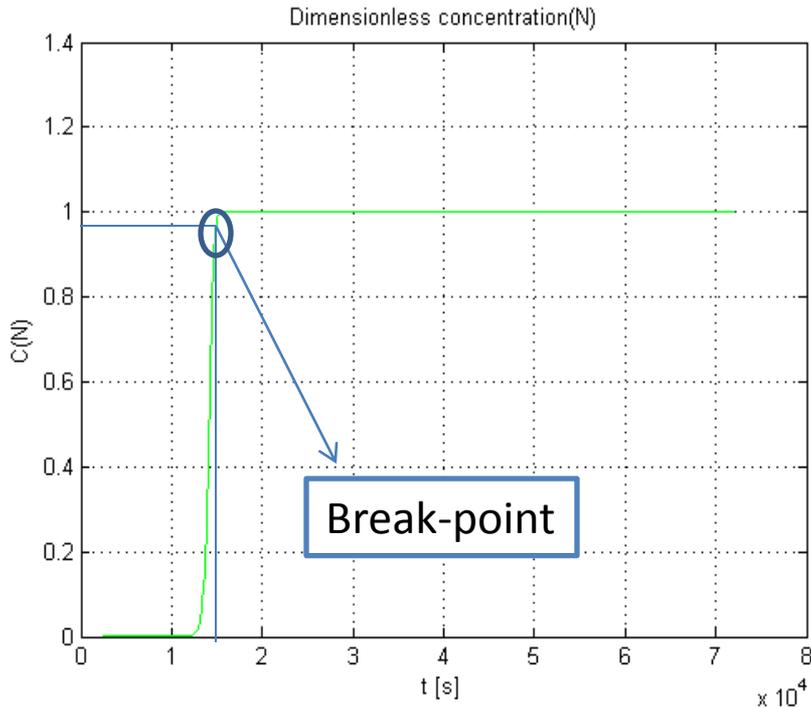
Relazioni adimensionali

$$\frac{1}{k_f * a} = \frac{1}{k_{ext} * a_{ext}} + \frac{1}{k_{int} * a_{int}}$$

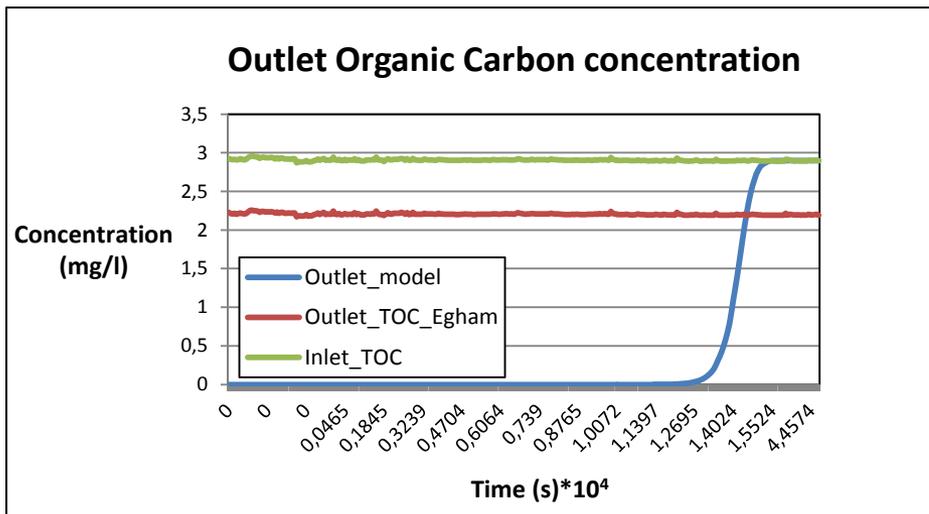
$$Sh = 1.85 \left( \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right)^{0.33} Re^{0.33} Sc^{0.33}$$

$$Re = \frac{d_p * u * \rho}{\mu} \quad Sh = \frac{K_{est} * d_p}{D}$$

# Risultati

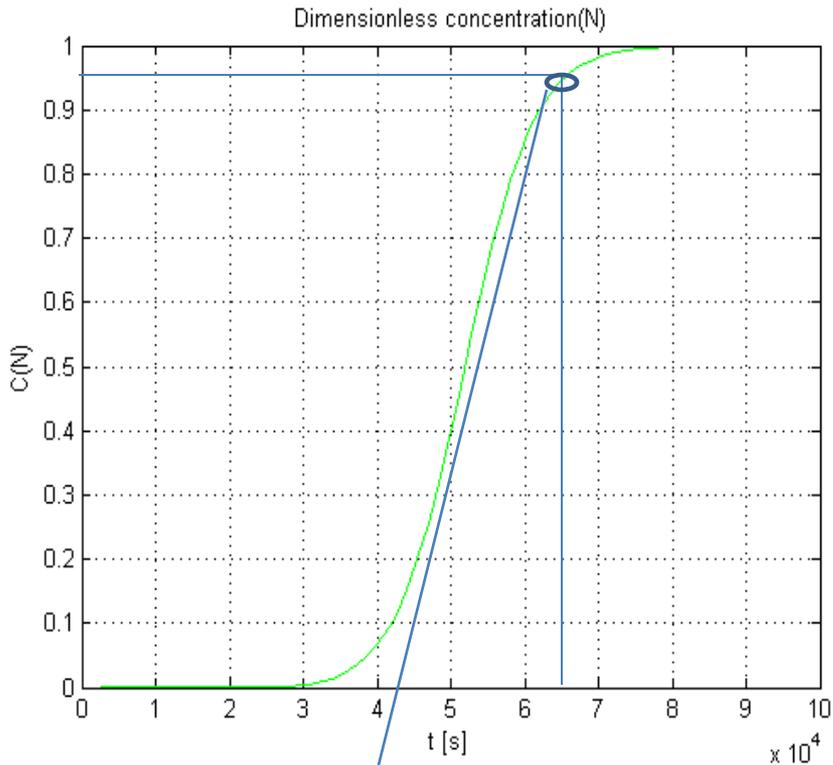


Tricloroetilene	
Langmuir constant $\omega$ (mol/g)	0.002726
Langmuir constant K(m <sup>3</sup> /mol)	33.787
Coefficient transport $K_f \cdot a$ (1/s)	3.31
Assial dispersion D(m <sup>2</sup> /s)	0.00000000104
Inlet concentration $C_0$ (mol/m <sup>3</sup> )	0.12



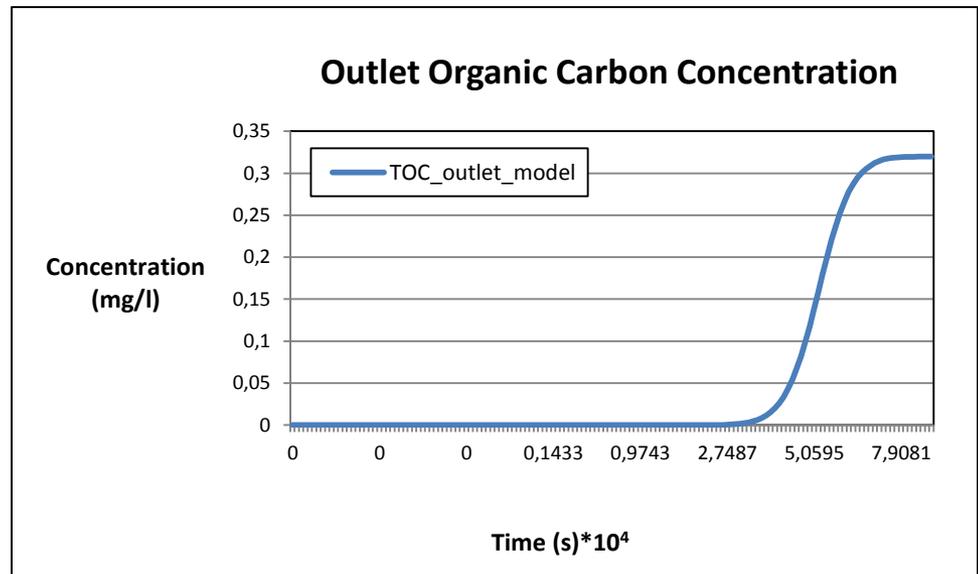
Caratteristiche GAC filter	
Portata Q(m <sup>3</sup> /h)	354
Superficie filtrante A (m <sup>2</sup> )	40
Altezza letto L(m)	4
Dimensioni materiale adsorbente (mm)	1.1
Densità del GAC (kg/m <sup>3</sup> )	450

# Effetto della concentrazione in ingresso



Break-Point

Tricloroetilene	
Langmuir constant $\omega(\text{mol/g})$	0.002726
Langmuir constant $K(\text{m}^3/\text{mol})$	33.787
Coefficient transport $K_f \cdot a(1/\text{s})$	3.31
Assial dispersion $D(\text{m}^2/\text{s})$	0.00000000104
Inlet concentration $C_0(\text{mol}/\text{m}^3)$	0.011



# Disinfezione

Il modello è stato mirato allo studio del decadimento di cloro.

## Assunzioni del Modello

- Plug flow nella vasca di contatto
- Cinetica del primo ordine per descrivere il decadimento di cloro



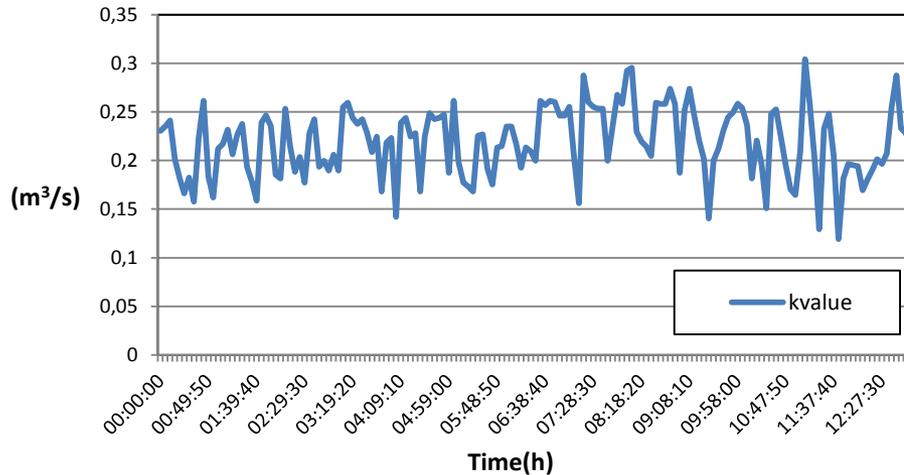
$$[Cl_2]_{out} = [Cl_2]_{in} * e^{-k/Q}$$

Calibrazione

$$k = -Q * \ln\left(\frac{[Cl_2]_{out}}{[Cl_2]_{in}}\right)$$

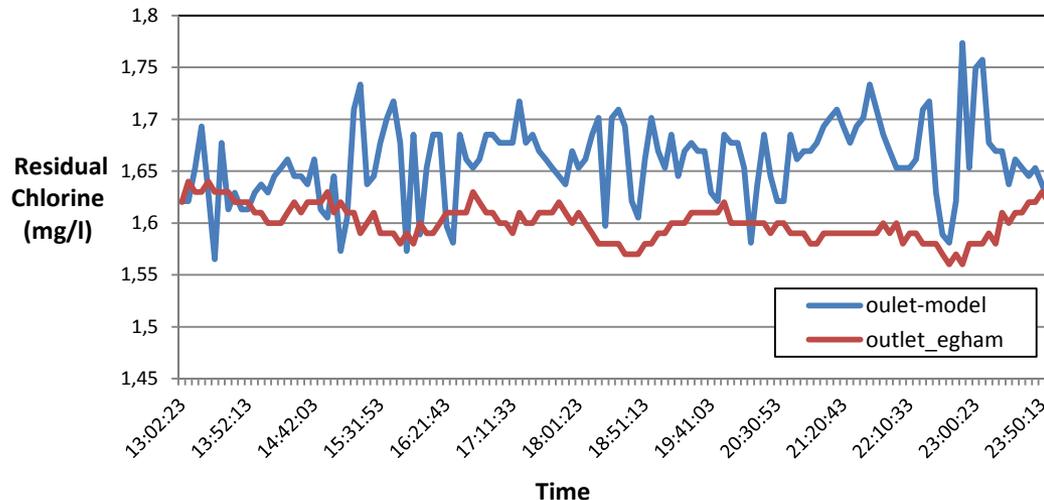
# Disinfezione con cloro: Risultati

Calibrazione del parametro  $k$ , 17/07/2011



$$k = -Q * \ln\left(\frac{[Cl_2]_{out}}{[Cl_2]_{in}}\right)$$

Cloro residuo, 17/07/2011



Calibrazione

$K(\text{m}^3/\text{s})$  0.221

$Q(\text{m}^3/\text{s})$  0.995

# Conclusioni (1)

- Evidenziata una scarsa flessibilità di SimEAU nel simulare l'impianto "Egham Water Treatment Works" per l'assenza di alcune unità di trattamento (sedimentazione, adsorbimento, disinfezione) e per la discordanza tra i modelli del simulatore e la reale configurazione dell'impianto (coagulazione-flocculazione, ozonizzazione)
- L'implementazione di modelli matematici è stata necessaria per un'accurata rappresentazione dell'impianto, per la simulazione delle sue performance e per un appropriato confronto con i dati sperimentali.

# Conclusioni (2)

- Il modello di coagulazione (Edwards' Model) ha predetto propriamente la concentrazione in uscita di DOC ed è influenzato dall'esatto valore della  $UVA_{254}$ . L'incremento della dose di coagulante e l'abbassamento del pH hanno determinato un miglioramento nell'efficienza di rimozione.
- La modellizzazione del Floc Blanket Clarifier secondo un CSTR e la calibrazione con regressione lineare hanno rappresentato accuratamente il trend dei dati sperimentali di solidi sospesi in uscita.
- L'assunzione di flusso costante nella simulazione della Filtrazione con SimEAU ha evidenziato una costante efficienza di rimozione dei solidi sospesi rispetto all'efficienza variabile registrata all'impianto. Il parametro di filtrazione  $n_1$  non ha effetti sulla concentrazione in uscita di solidi sospesi.

# Conclusioni (3)

- Il modello matematico dell'adsorbimento in Matlab ha riprodotto la curva di breakthrough con l'assimilazione di TOC con Tricloroetilene. E' stato evidenziato l'effetto della concentrazione in ingresso sul tempo di saturazione del filtro.
- I modelli con cinetica del primo ordine si sono rivelati appropriati nello studio del decadimento dell'ozono e del cloro residuo.

**Grazie per l'Attenzione!**