



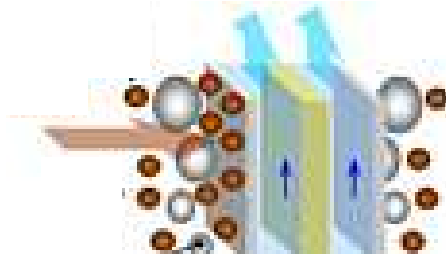
Università degli Studi di
Napoli Federico II



Università degli
Studi di Palermo



Università degli
Studi di Salerno



Corso di Aggiornamento

BioMAc 2013

Bioreattori a Membrane (MBR) per la depurazione delle Acque

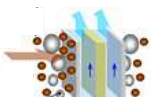
**Progettazione dei sistemi MBR:
configurazione dei reattori, impiantistica di processo e
opere complementari**

Ing. G. Guglielmi, PhD
– ETC Engineering srl – Trento



Palermo, 4-5 Luglio 2013

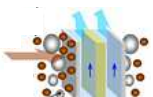
Outline

- **(Breve) inquadramento di ETC Engineering srl**
- **Possibili configurazioni di processo**
 - **Membrane immerse interne al comparto biologico**
 - **Membrane immerse esterne al comparto biologico**
 - **Side-stream MBR**
- **Membrane: qualcosa è cambiato...**
- **Macchine, strumenti e automazione di processo: le scelte ottimali**
- **Strumenti per la progettazione avanzata**
- **Considerazioni conclusive**



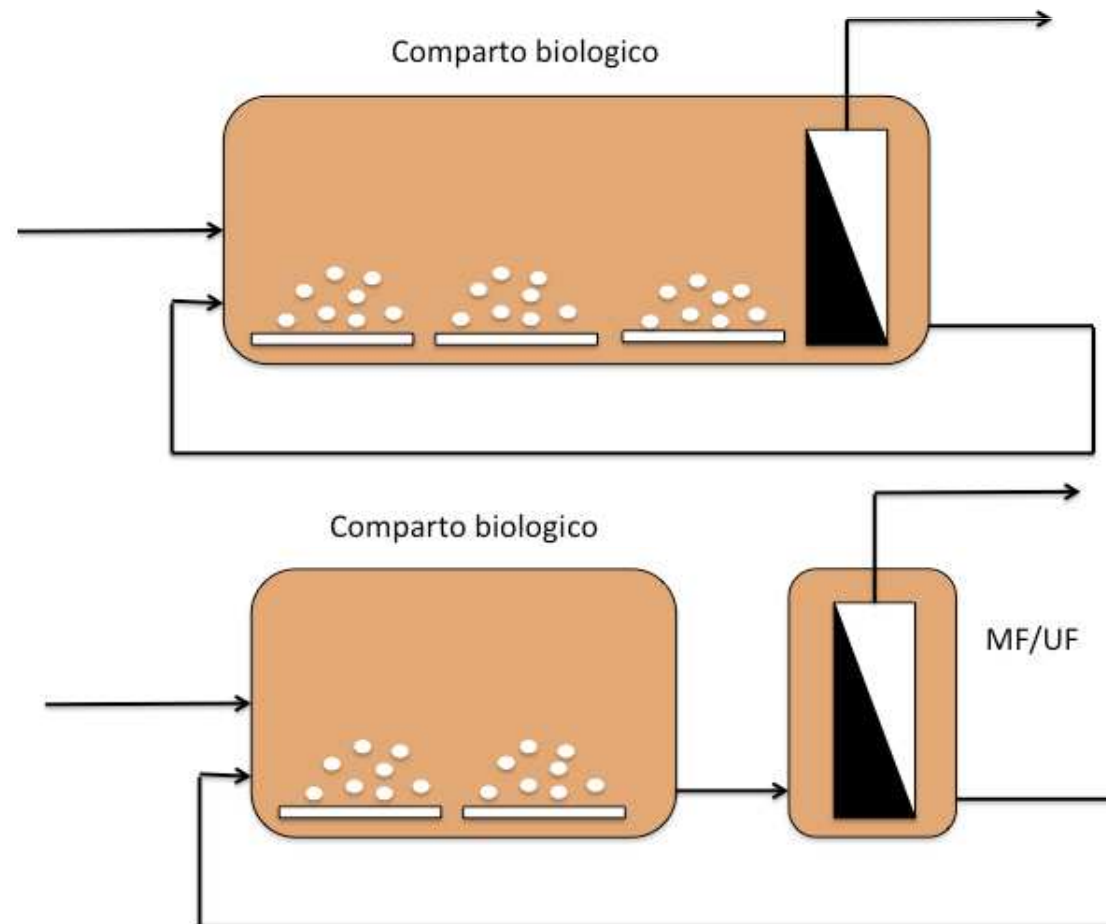
ETC Engineering srl

- Nata nel 2008, come spin-off “de facto” del DICAM di UniTN
- 4 soci + 10 dipendenti
- Opera nel campo dell'ingegneria ambientale sanitaria, idraulica e dell'ottimizzazione dell'uso dell'acqua nei processi produttivi
- Consulenza a servizio di enti pubblici e società private
- Collaborazioni con Università e Istituti di Ricerca
- Partner in  e 
italian water solutions GR UP
- Info su: www.etc-eng.it e giuseppe.guglielmi@etc-eng.it



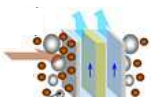
MBR: quali configurazioni

- 3 possibili opzioni impiantistiche, per reflui civili (quasi) sempre 2
- Scelta in base a budget e condizioni al contorno



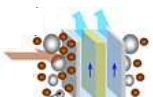
Membrane immerse esterne: vantaggi (1/2)

- **Facilità di manutenzione e pulizia delle membrane**
 - **Maggiore efficienza della pulizia chimica**
 - **Facilità di automazione delle procedure di pulizia**
 - **Manutenzione agevolata in caso di pre-trattamenti poco adeguati**
- **Minore propensione al *fouling***
 - **Condizioni idrodinamiche ed idrauliche ottimizzate**
 - **Si evita il contatto tra influente e membrane**
 - **Ottimizzazione separata del processo biologico e del processo di MF/UF**



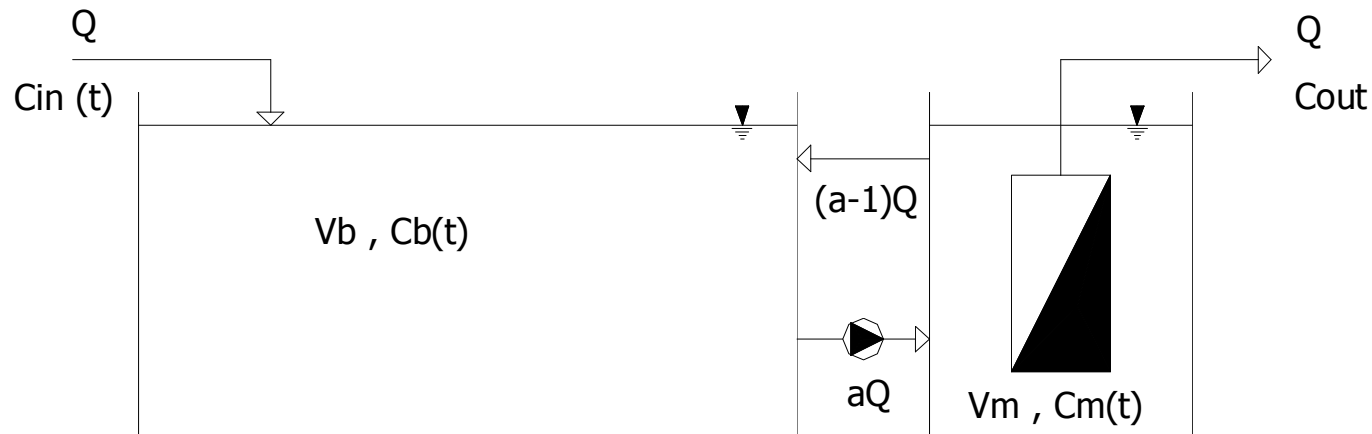
Membrane immerse esterne: vantaggi (2/2)

- **Controllo del *clogging* e *blocking***
 - **Condizioni di maggiore turbolenza sfavoriscono la formazione di “intrecci” di materiale fibroso**
 - **Possibilità di grigliare il flusso in ingresso alla sezione MF/UF**
- **Migliore qualità dell’effluente**
 - **Minore concentrazione di MLSS nel reattore biologico → maggiore volume del comparto e HRT più lunghi**
 - ***Cascading* del volume totale del reattore → minore impatto di eventuali fluttuazioni dei carichi influent**
 - **Minore rischio di corto-circuiti idraulici del processo biologico**
 - **Maggiore controllo sui processi di rimozione di N e P (spesso benefit di rimozione bio-P)**



Membrane immerse esterne: svantaggi

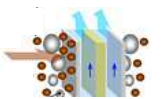
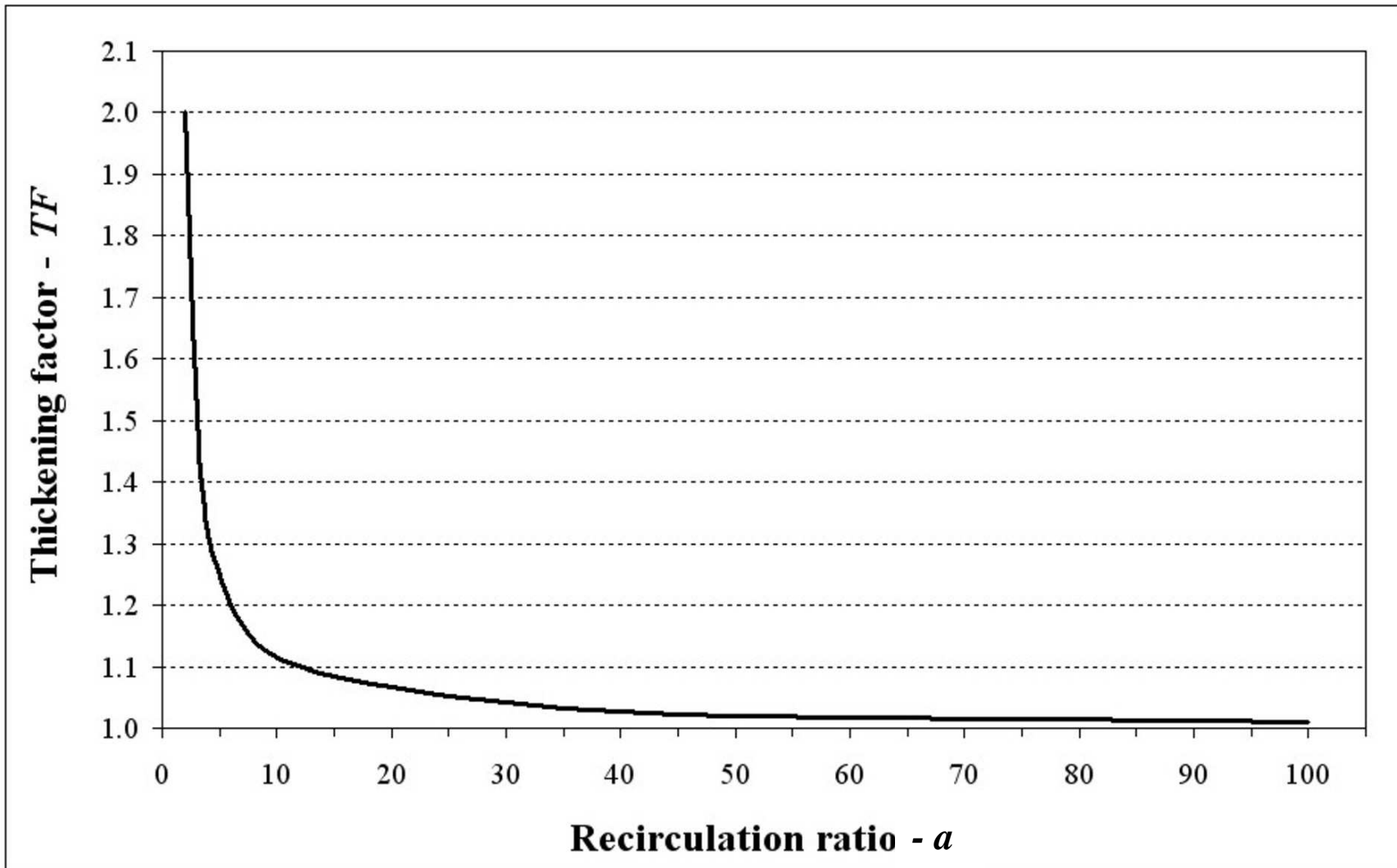
- CAPEX maggiori per opere civili, piping/montaggi e (spesso) elettromeccanica
- Possibili maggiori OPEX per fornitura aria a processi biochimici
- Maggiori OPEX per mantenimento rapporto di ricircolo che consideri sia il fa



$$V_B \cdot \frac{dC_B(t)}{dt} = Q(t) \cdot C_{in}(t) + (a-1) \cdot Q(t) \cdot C_M(t) - a \cdot Q(t) \cdot C_B(t)$$

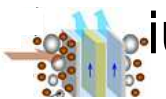
$$V_M \cdot \frac{dC_M(t)}{dt} = a \cdot Q(t) \cdot C_B(t) - (a-1) \cdot Q(t) \cdot C_M(t) - Q(t) \cdot C_{out}(t)$$

Membrane immerse esterne: Thickening factor



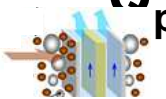
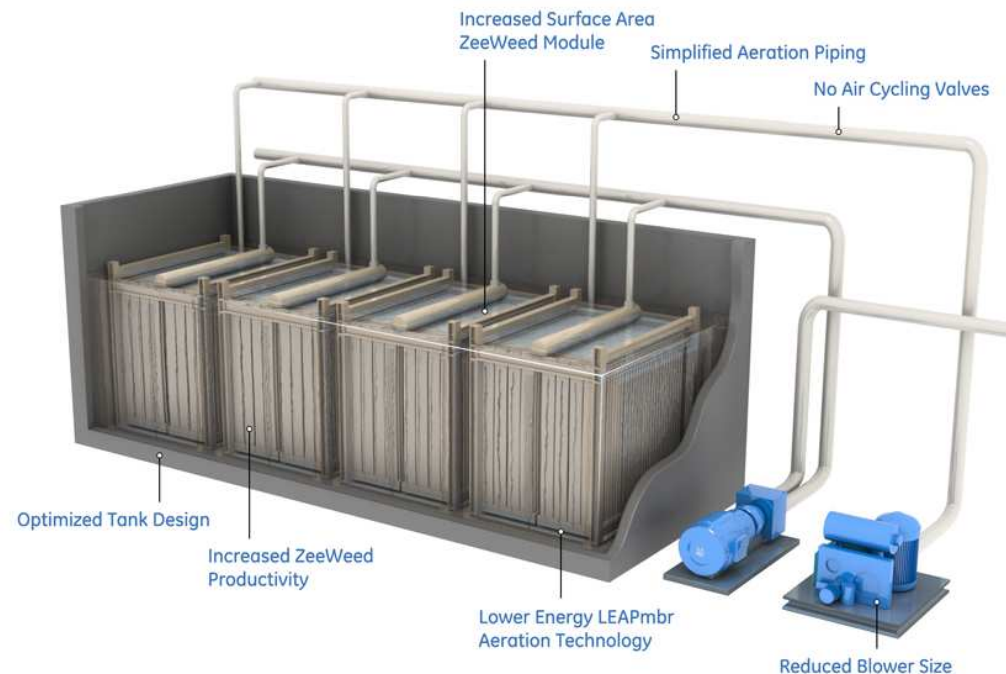
Membrane polimeriche per MBR

- C'era una volta...
- Oggi sempre 2 tipologie prevalenti (FS e HF), molti più player sul mercato
- Vantaggi delle HF
 - Compattezza
 - Maggiore modularità
 - *Easy-to-fit*
- Vantaggi delle FS
 - Meno sensibile a pre-trattamenti poco efficienti
 - Possibilità di intervenire su singola cartuccia
- Non esiste la membrana ideale, esistono applicazioni giuste e meno giuste



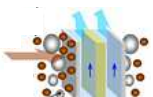
HF: GE Zenon

- GE Zenon (ZW500c, ZW500d) – accordo commerciale con Xylem Group
- PVDF idrofilicizzato
- 0.04 μm
- 31.6 m^2 per modulo
- 10-24-32 moduli/cassetta
- *Relaxation*
- Aerazione ciclica
- LEAP MBR:
ASI Messina prima installazione in Euro
 Q_{24} : 21000 m^3/d
 Q_p : 40000 m^3/d

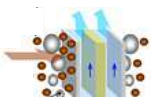
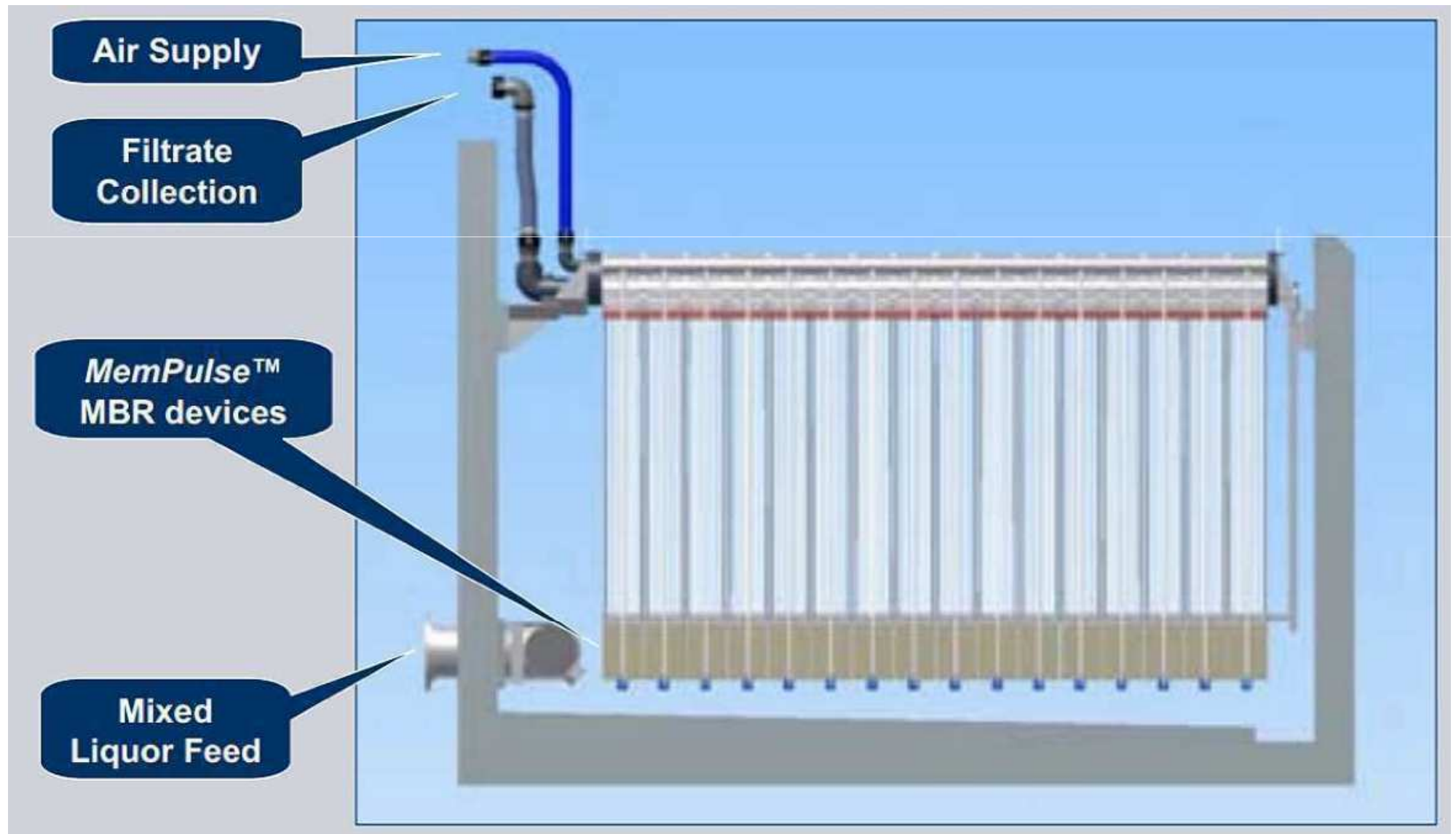


HF: Siemens Memcor

- **Mempulse**
- **PVDF**
- **0.04 μm**
- **Fino a 16 moduli/rack**
- **Fino a 8 rack per cella**
- **38 m²/modulo**
- **Sistema MemPulse per fornitura aria, senza parti meccaniche in movimento**
- **Numero crescente di installazioni in Italia, vincitrice su Rimini, Assago, Recco**

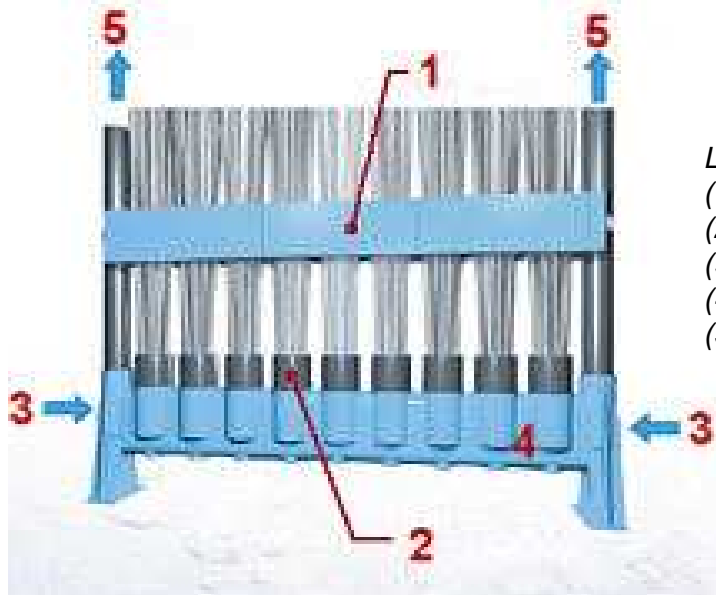


HF: Siemens Memcor

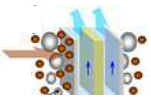


HF: KMS Puron

- PSH 250, 500, 1500 – PSH 300, 600, 1800
- PES e PVDF
- 0.03-0.05 μm
- 79-326 bundle/cassetta

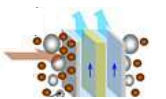


Legend:
(1) fiber support
(2) module element
(3) air supply
(4) module row
(5) filtrate



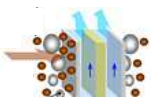
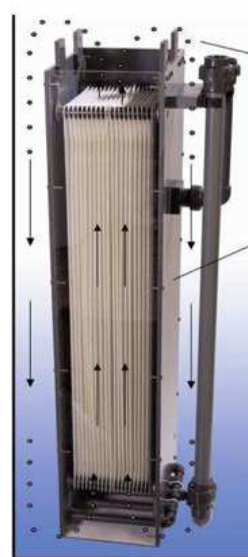
FS: Kubota

- Kubota (ES, EW, RM, RW, SP400)
- PE
- $0.8 \text{ m}^2 \rightarrow 1.25 \text{ m}^2 \rightarrow 1.45 \text{ m}^2$
- $0.4 \text{ }\mu\text{m}$
- Single- e double-deck



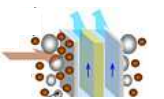
FS: Microdyn Nadir

- Microdyn Nadir “Bio-Cel” – Germany
- PES idrofilicizzato
- 1.0 m² per cartuccia
- 0.04 µm
- 50, 100, 400 cartucce per modulo
- MCP con granuli di carbone attivo



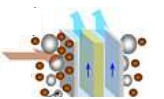
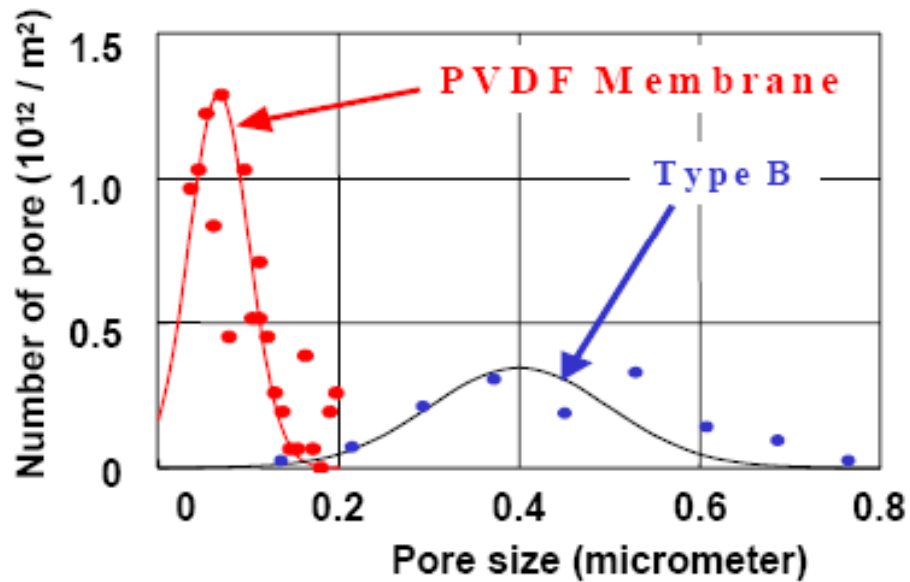
FS: Alfa Laval

- Hollow Sheet MFM 100-300
- PVDF
- 0.2 μm
- 154, 308, 462 m²/modulo
- Single-, double-, triple-deck



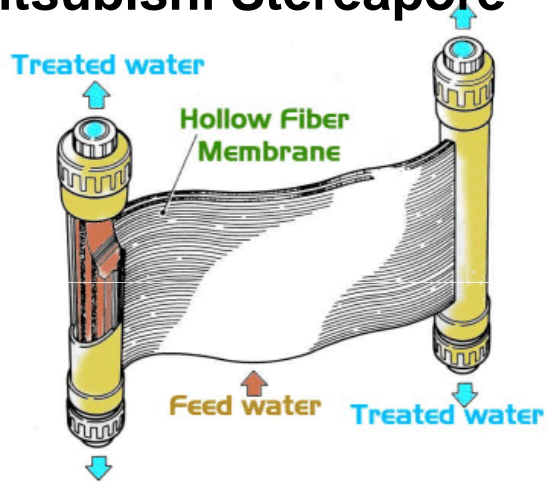
FS: Toray

- Toray “Membray”
- PVDF
- 1.40 m² per cartuccia
- 0.08 μm
- Single- e double-deck

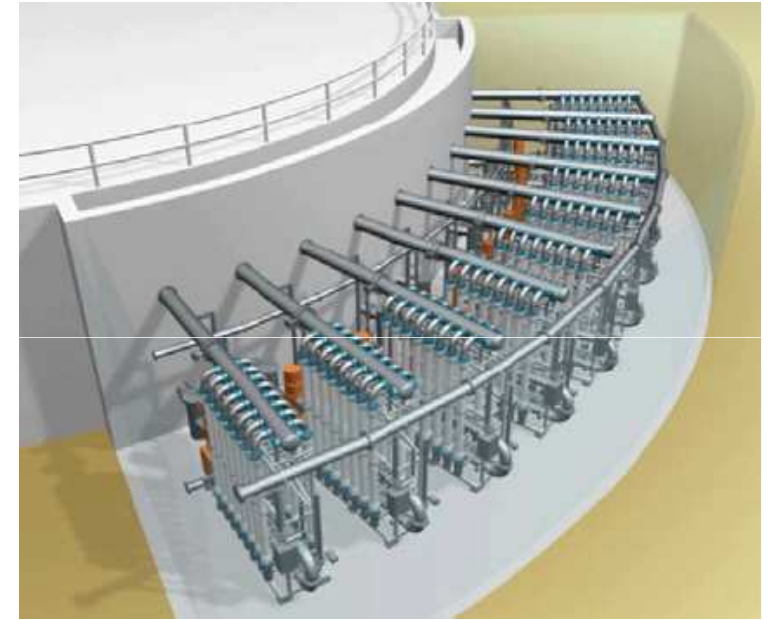


FS, HF e MT: altre opzioni

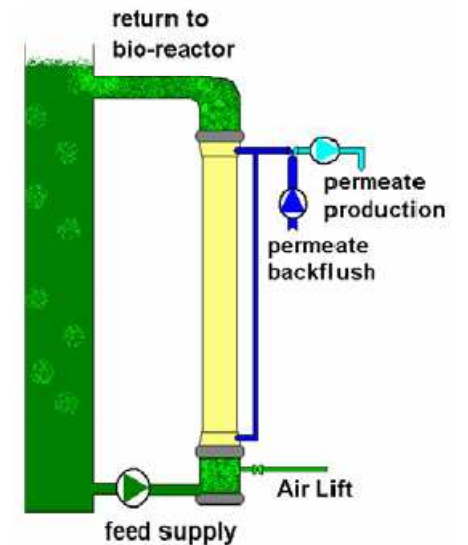
Mitsubishi Stereapore



Hyflux PoroCep



X-Flow

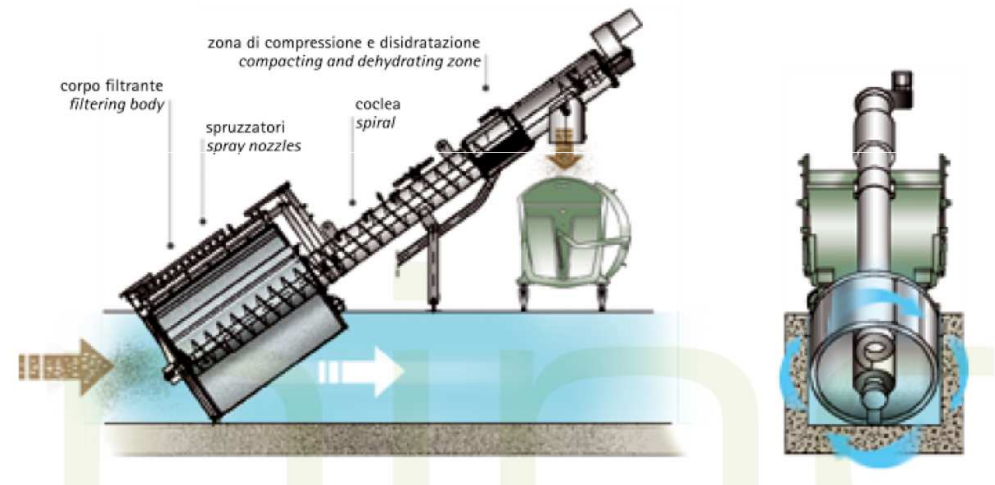


Huber SE



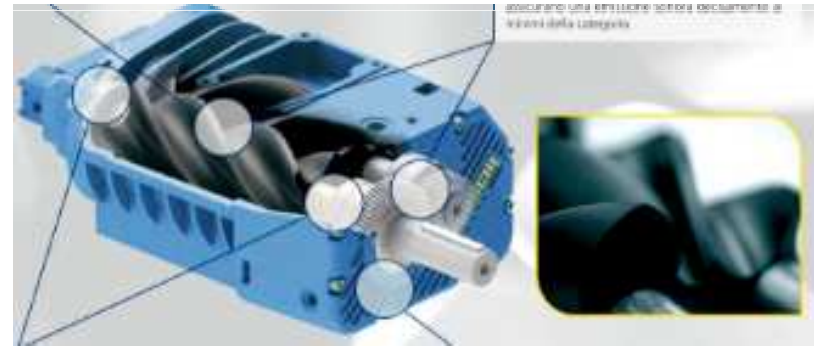
Pre-trattamenti

- Grigliatura grossolana (3 cm) a tutela di grigliatura fine
- Grigliatura fine 0.5-2 mm
- Preferibilmente luci circolari anziché *wedge-wire*
- Installazioni a canale o in cassone
- Prodotti specifici per MBR
- Eventuale grigliatura su ricircolo
- DAF in caso di grassi/oli
- “*Human touch*”: formazione del personale



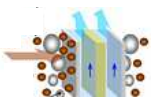
Ottimizzazione energetica – Soffianti (1/2)

- A vite
 - Compressione del gas per effetto dell'intrappolamento nei volumi sempre più piccoli che si formano tra le spire dei due rotori a vite ed il cilindro. Pressione richiesta è raggiunta appena prima dello scarico lato mandata
 - Macchine “*oil free*”
 - Portata da 200 a 3000 m³/h
- A lobi ritorti
 - Derivano da combinazione tra macchine a lobi e macchine a vite
 - Portata tra 100 e 4000 m³/h
 - Efficienza energetica e costi intermedi tra lobi e vite



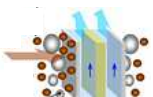
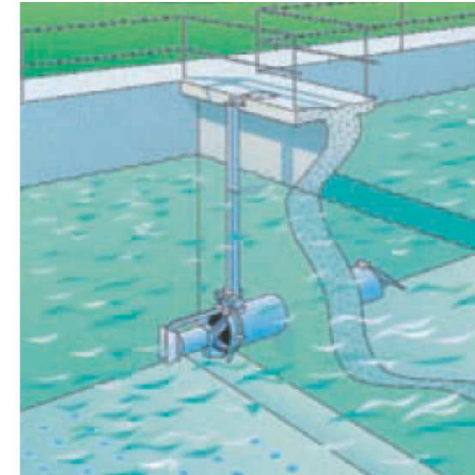
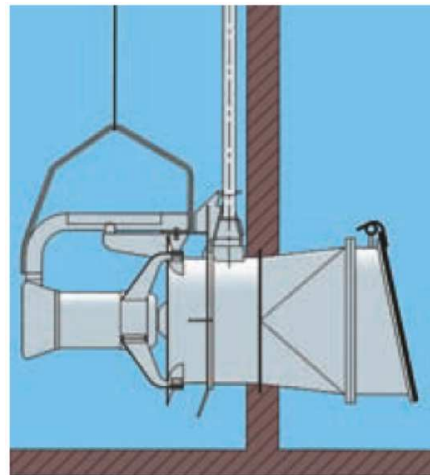
Ottimizzazione energetica – Soffianti (2/2)

- Turbo-compressori
 - Tecnologia di derivazione aeronautica
 - Cuscinetti ad aria, con motori a magneti permanenti
 - Elevata silenziosità
 - Compattezza e facilità di installazione
 - Da 4000 a 15000 m³/h
 - Maggiori info su: <http://www.youtube.com/watch?v=AvqDHxqQp9Y> e <http://www.aerzen.it/Novita/Media-arkisto/Aerzen-Turbo-Generation-5>
- La scelta dello schema di processo (*inside vs outside*) e della membrana può condizionare la scelta della macchina → a bassi valori di ΔP conviene spesso una macchina a lobi tradizionale
- Nel dimensionamento di Q_{aria} per biologia tenere conto di MLSS su alpha



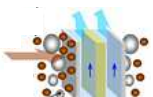
Ottimizzazione energetica – Ricircolo mixed liquor


- È opportuno ottimizzare il profilo idraulico per pompare a $x Q$ anziché $(a+1) x Q$
- Pompe a elica, bassa prevalenza/alta portata
- Sconsigliate pompe centrifughe sommergibili
- Installazioni a parete o intubate
- Regolazione sotto inverter per ottimizzare la portata in funzione della rimozione di N e del mantenimento della concentrazione di MLSS nella sezione MF/UF

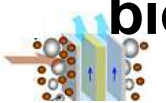
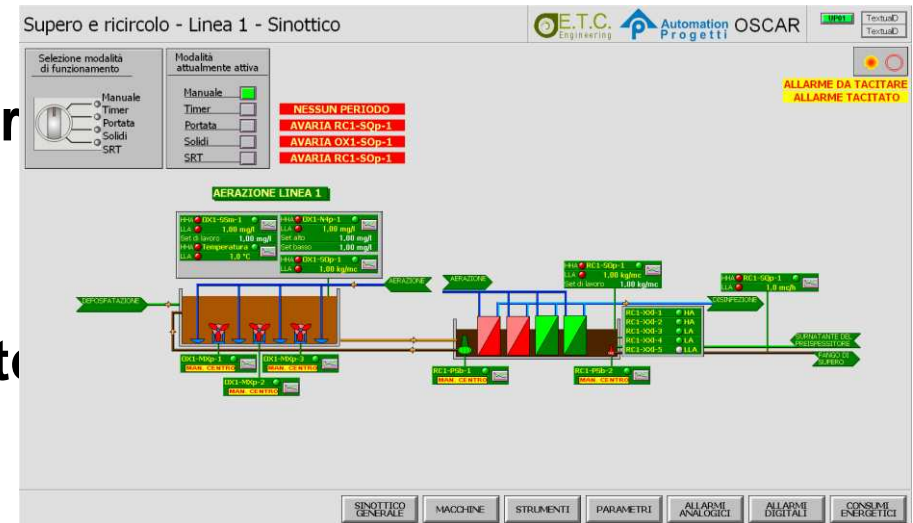


Estrazione del permeato

- Quando possibile, evitare il sifone inverso
- Meglio pompe auto-adescenti + sistemi ad anello liquido per mantenimento innesco
- Alternativa: pompe reversibili con espulsione periodica di aria
- Indispensabile installazione inverter con controllo su portata estratta
- A volte si utilizza estrazione a gravità: è davvero utile?



- Un MBR ben progettato e gestito può consumare fino a 0.4-0.6 kWh/m³ (0.7-1 kWh/kgCOD_{rim})
- Ottimizzazione energetica del comparto biologico
- Processo ad aerazione ciclica  a controllo su parametri diretti (NH₄, NO₃) e indiretti (pH, ORP, O₂)
- Regolazione aerazione su set-point dinamico di O₂
- Algoritmi di *fault-detection* per validazione in *real-time* dei dati dal campo
- Piattaforme HW/SW standard e non proprietarie
- Rendimenti rimozione N fino al 95%
- Riduzione EE fino al 60% sul comparto biologico



- Applicativi specifici per
 - Rimozione azoto
 - Riduzione energia elettrica
 - Automazione fanghi di supero
 - Automazione dosaggio *chemicals* per post-denitrificazione o defosfatazione
 - Riduzione fanghi mediante disaccoppiamento metabolico (OSA)
 - Bioreattori a membrana, con applicazione a processi di MF/UF con integrazione algoritmi di *fouling prevention*
- 17 referenze tra avviate e in realizzazione
- Risultati collaudo su impianti [Provincia Autonoma di Trento](#)

Ottimizzazione energetica – Dotazioni strumentali

- Parametri idraulici

- Portata di permeato

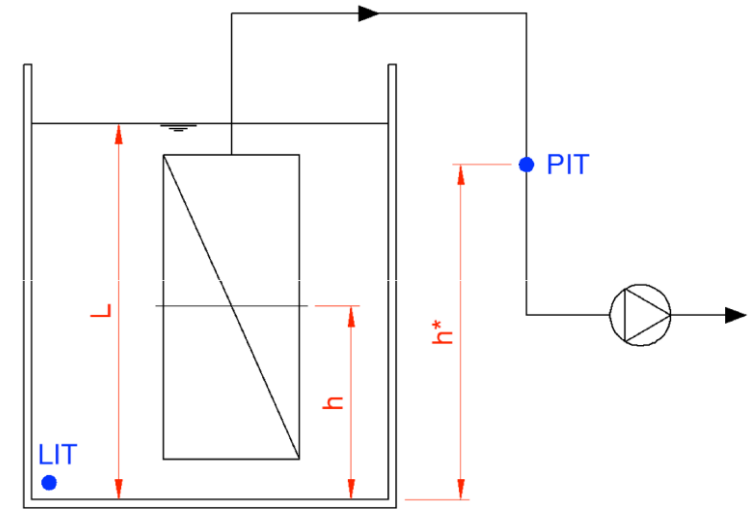
- Livello in vasca

- TMP (!)

$$Q=0 \rightarrow \text{TMP} = P_{\text{alim}} - P_{\text{perm}} = 0 \rightarrow$$

$$P_{\text{alim}} = P_{\text{perm}} \rightarrow L_0 - h = P_0 + h^* - h \rightarrow h^* = L_0 - P_0$$

$$Q>0 \rightarrow \text{TMP} = P_{\text{alim}} - P_{\text{perm}} = L - h - P - h^* + h = L - P - h^*$$



- Parametri biochimici

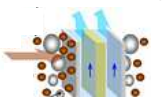
- NH₄/NO₃ ISE

- NO₃ spettrometrico

- MLSS in comparto biologico e MF/UF

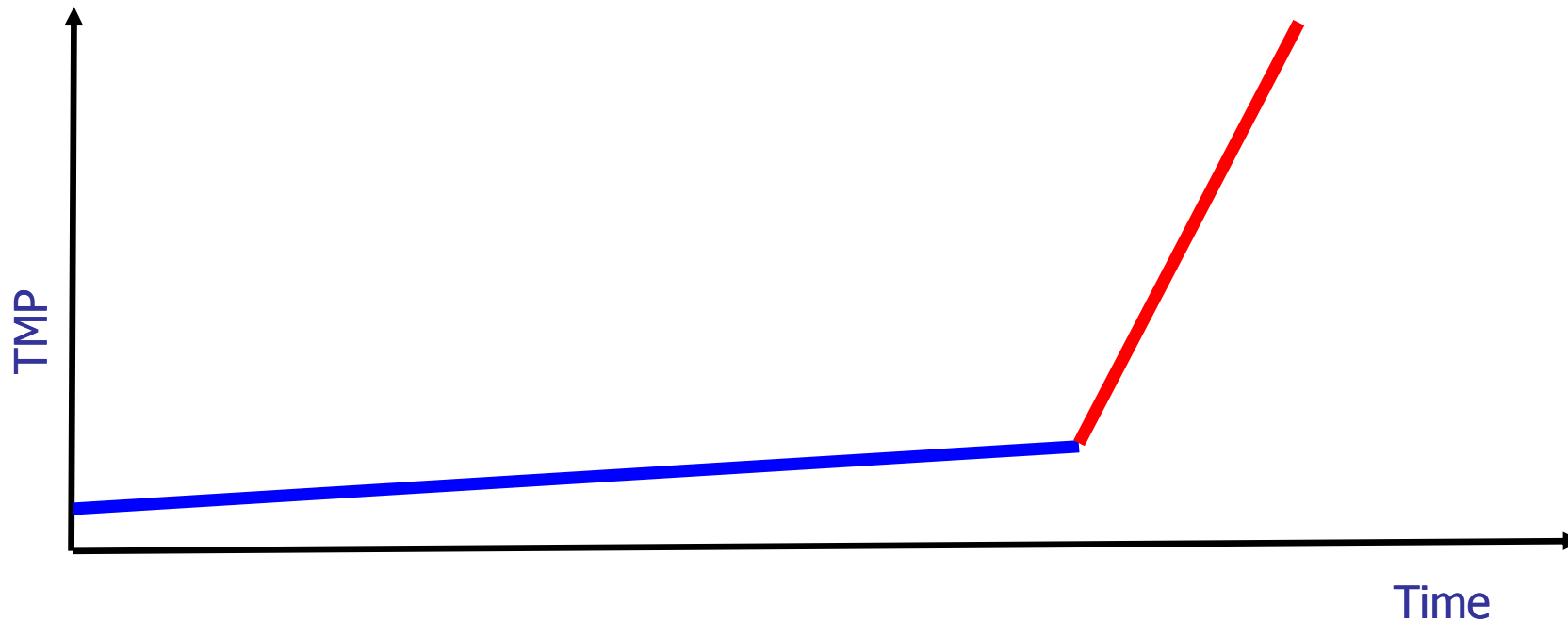
- Parametri tradizionali (O₂, pH, ORP)

- TSS in permeato

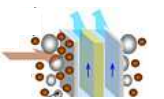
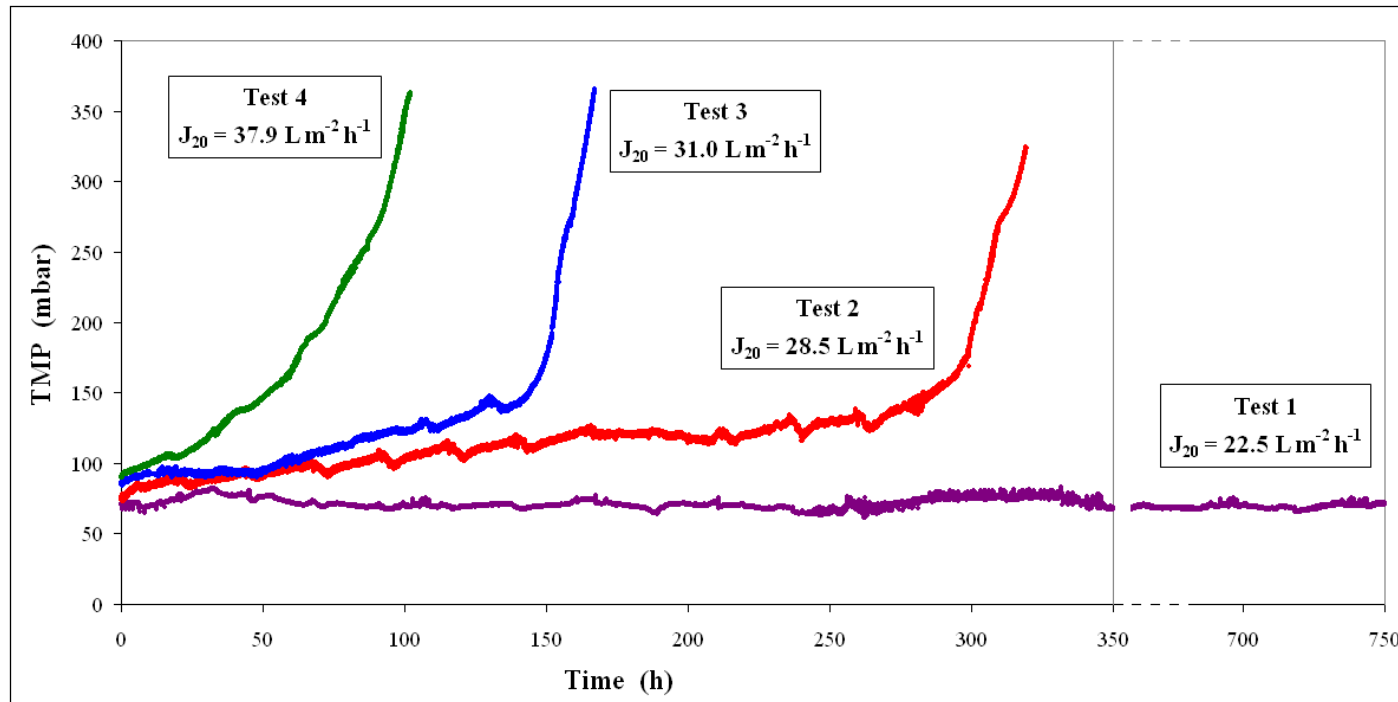
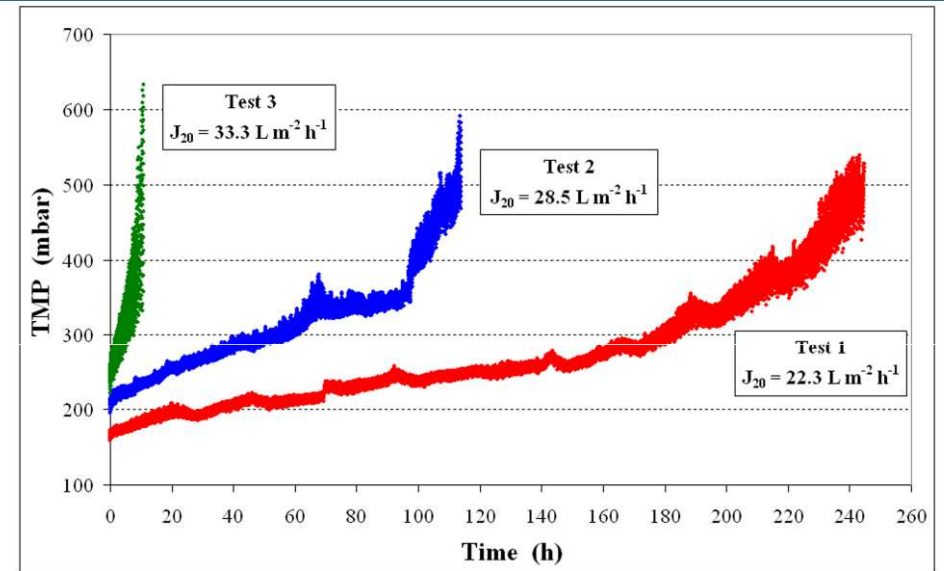
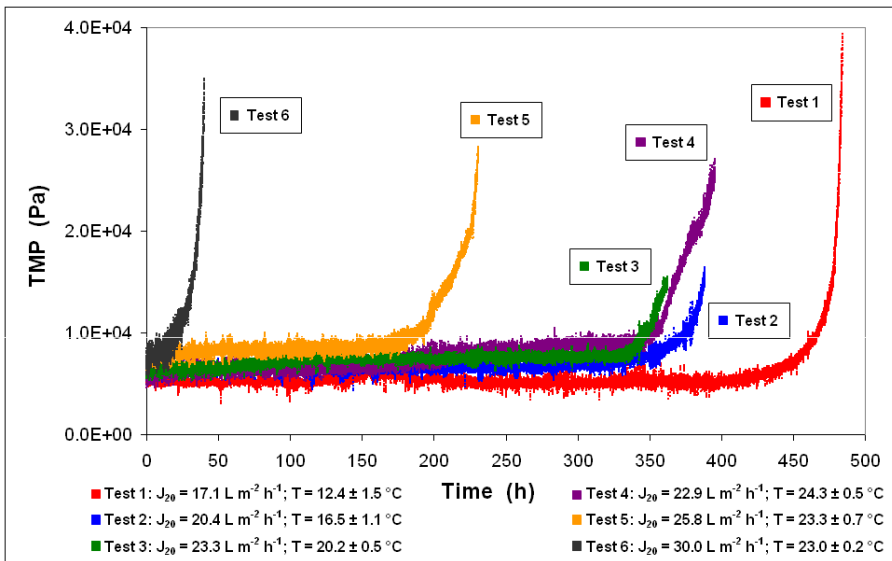


Strumenti di progettazione – Aspetti concettuali

- In rimozione N e bio-P è necessario comparto di de-ossigenazione
- CAPEX per membrane incide fino all'80% dei CAPEX delle OEM → il dimensionamento corretto di A_{membrana} è fondamentale
- Applicazione del concetto di flusso critico e sostenibile, riferito alla Q_{pb} (o Q_{pn})

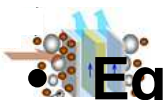


Strumenti di progettazione – Aspetti concettuali



Strumenti di progettazione – Calcolo (1/2)

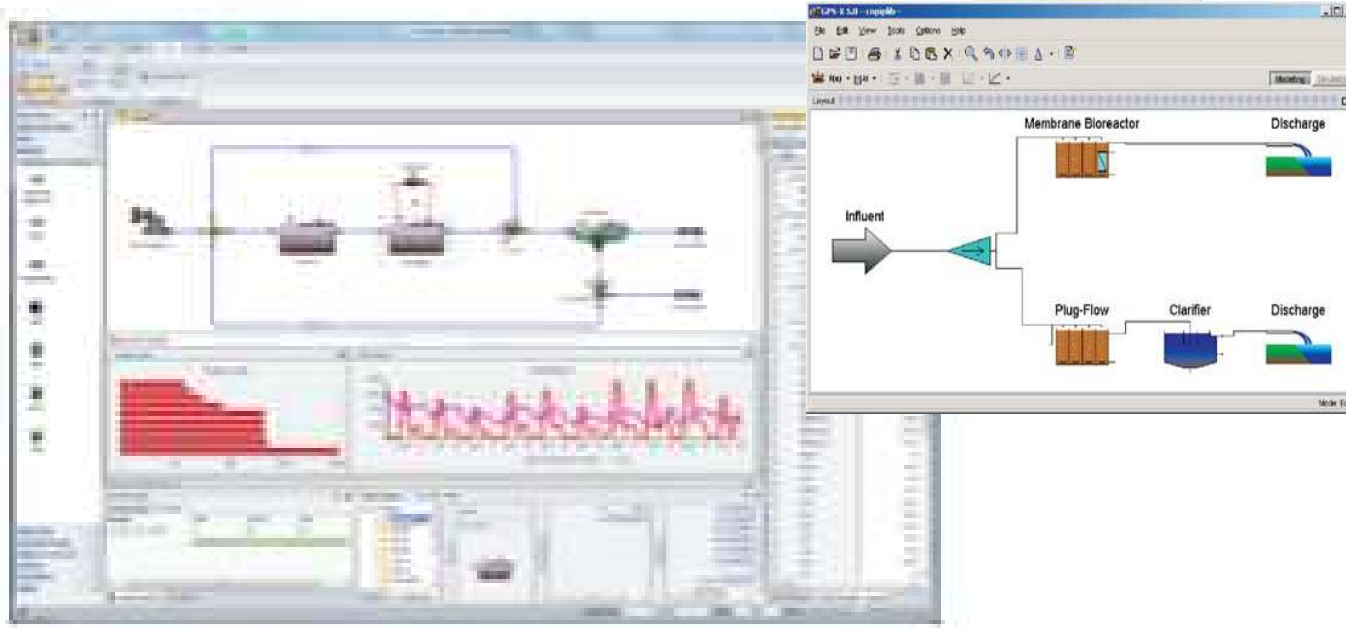
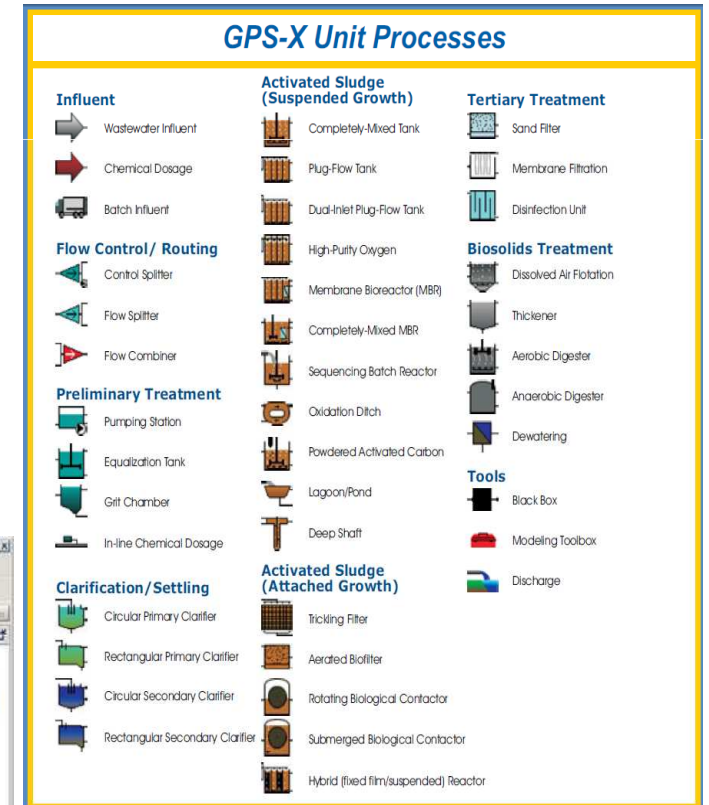
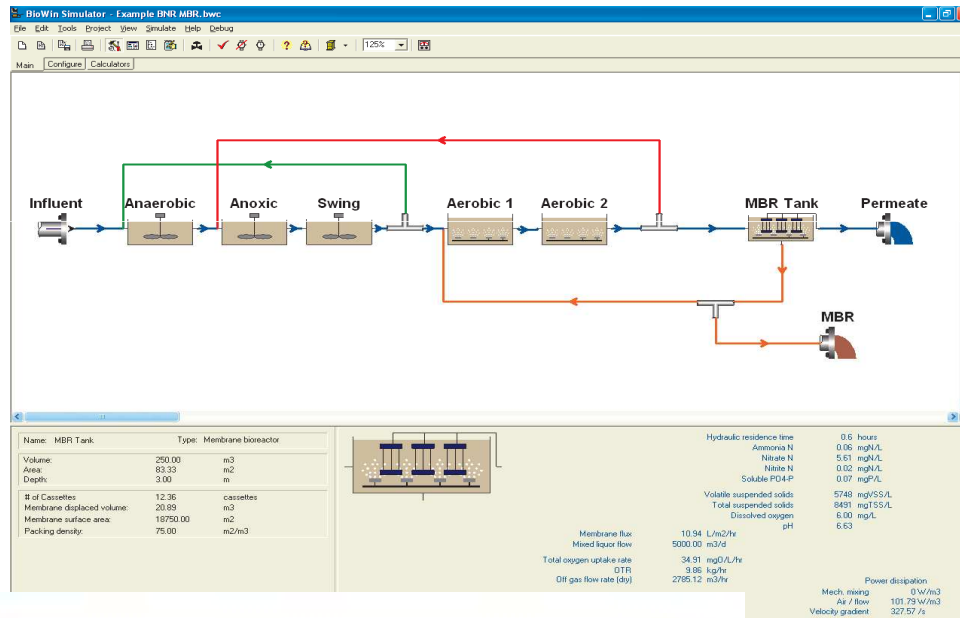
- Metodologia: steady-state + simulazioni dinamiche
- IWA-ASM: OK, ma con alcune specificità
 - i concetti di base degli ASM sono validi anche per gli MBR
 - introduzione del concetto di EPS/SMP formazione/degradazione
 - frazionamento del COD: cos'è X_I è davvero inerte negli MBR?
- Impatto sui parametri cinetici di eterotrofi e autotrofi per
 - struttura bio-aggregata che modifica diffusione e trasferimento dei substrati (crescita dispersa, disgregazione dei fiocchi, lunghi SRT, EPS)
 - aspetti microbiologici e metabolici della biomassa (minor presenza di fiocco formatori, batteri a crescita lenta, protozoi)
- Rischio sovra-parametrizzazione



• Equazioni per *fouling* in MBR sfida ancora aperta

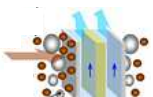
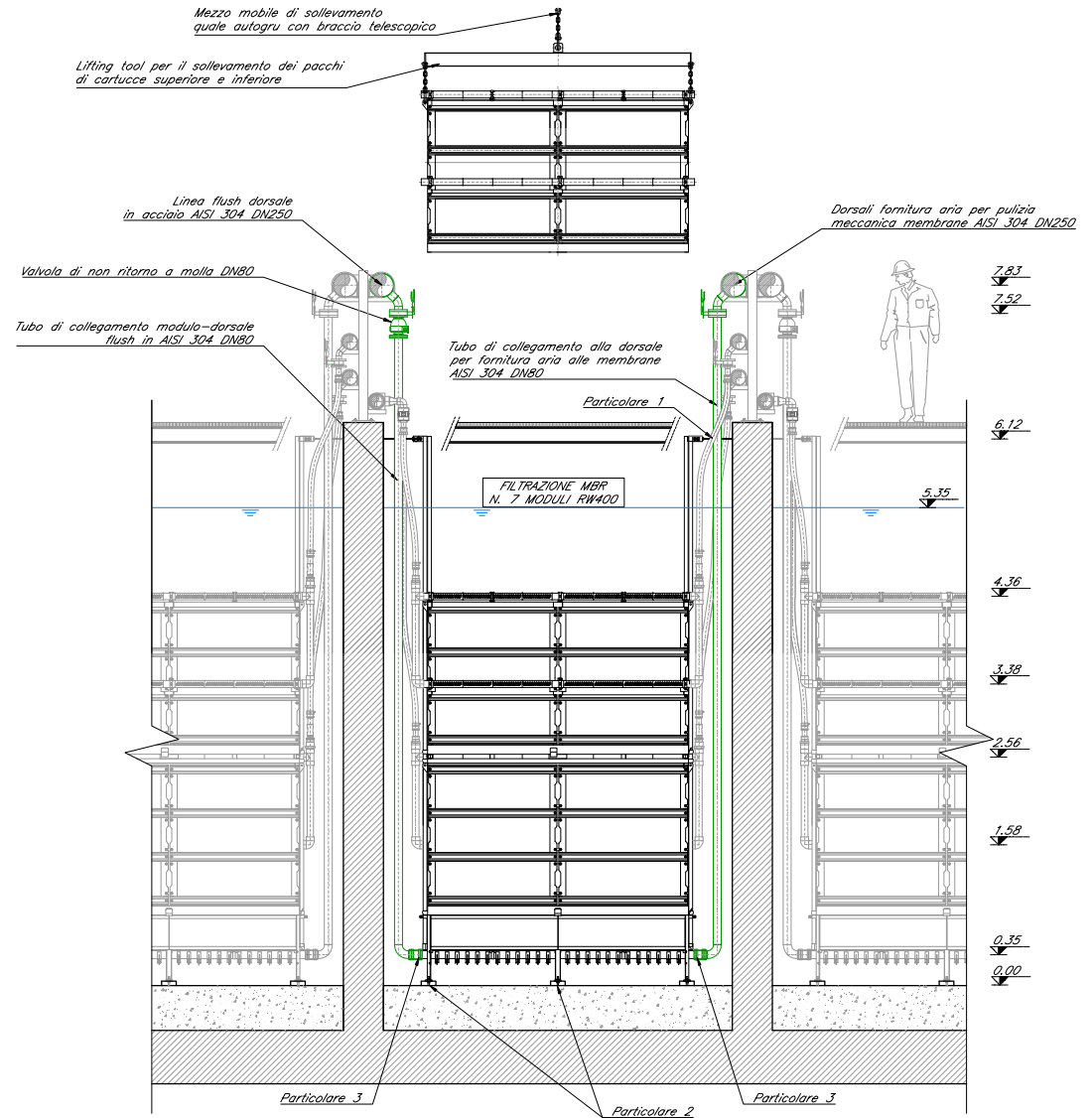
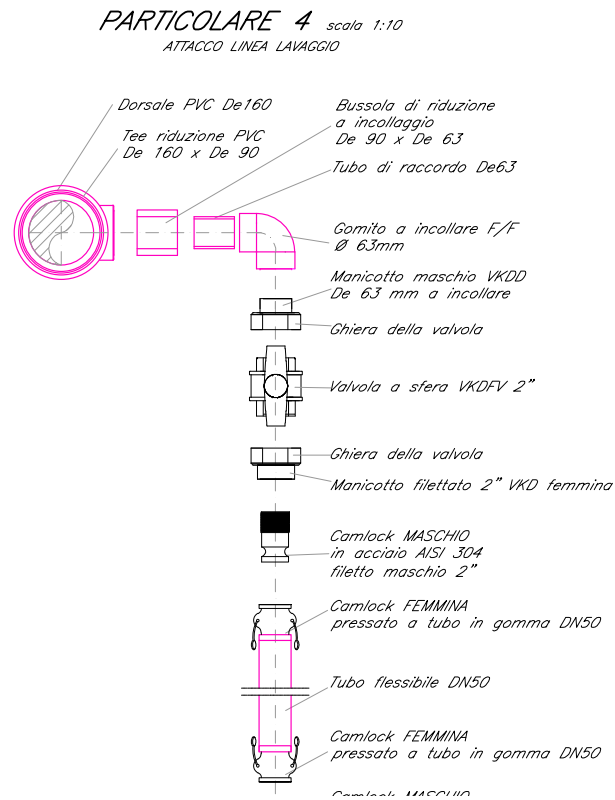
Strumenti di progettazione – Calcolo (2/2)

- Esempi di piattaforme commerciali: DHI WEST, Hydromantis GPS-X, BioWin



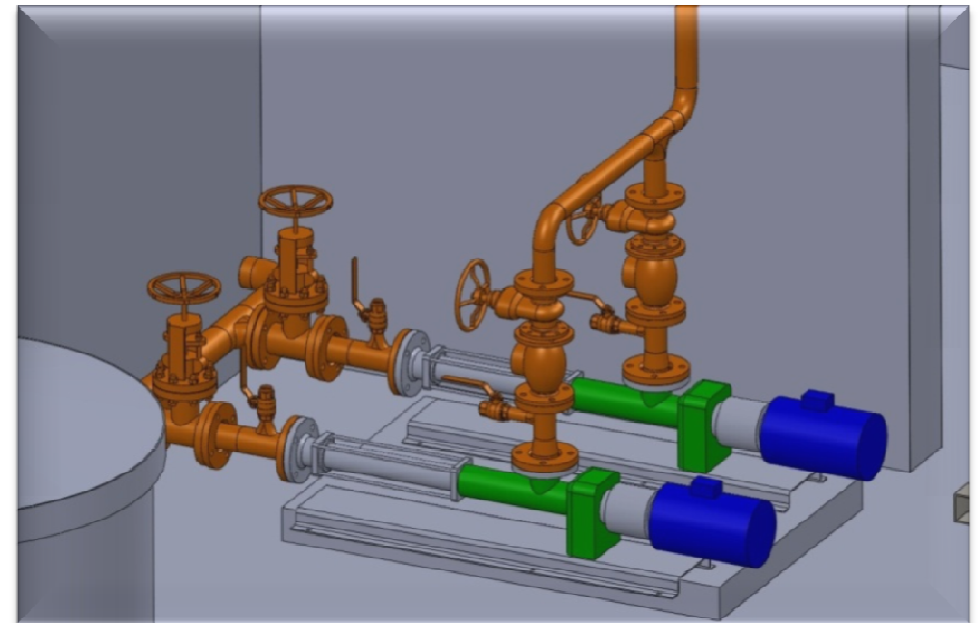
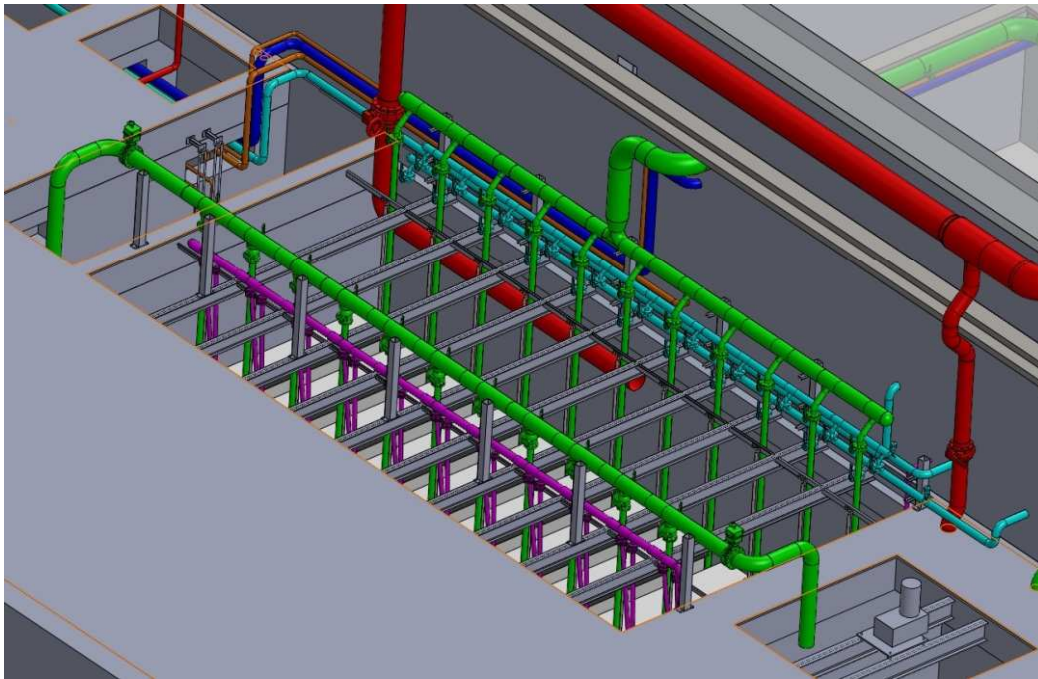
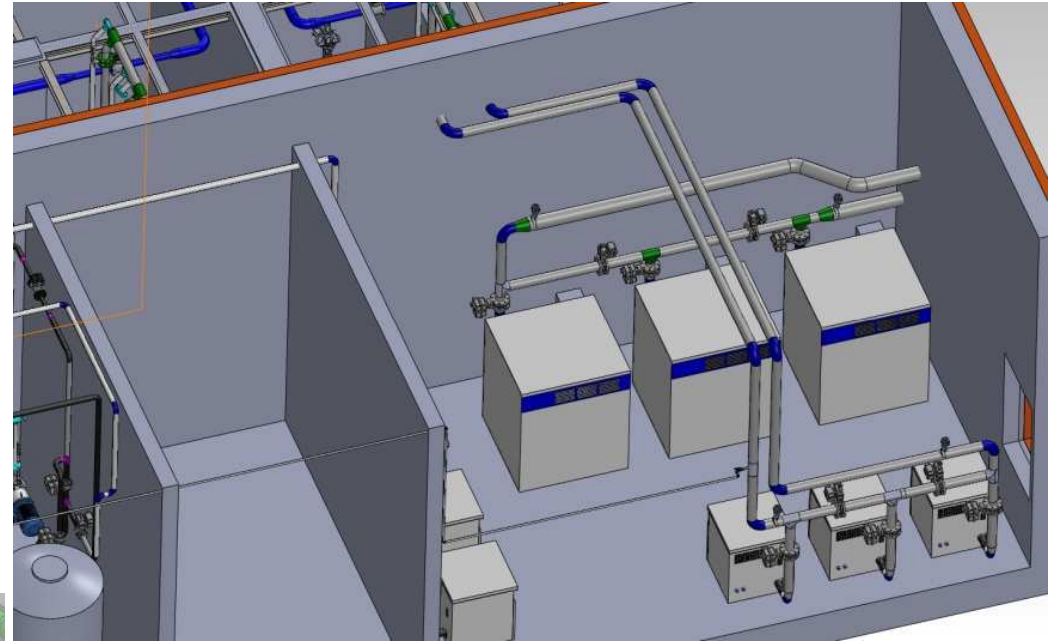
Strumenti di progettazione – Disegno (1/2)

- Maggiore complessità del *piping*
- Sketch per OEM specifiche
- Su nuove installazioni spesso è preferibile la soluzione **monoblocco**



Strumenti di progettazione – Disegno (2/2)

- Maggiore complessità del *piping*
- Progettazione 2D + 3D
- Supporto nella redazione del computo metrico estimativo
- Esempio: SolidWorks



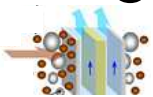
Accessori

- Carroponti o sistemi di estrazione moduli + aree per posizionamento
- Eventualmente elevatori e montacarichi
- Dimensionamento su peso “bagnato”
- Botole per ispezione ed estrazione moduli
- Copertura delle vasche



Conclusioni

- Il mercato offre oggi molte più possibilità per lo sviluppo di soluzioni “personalizzate”
- Le membrane sono preziose: proteggiamole!
- La maggiore complessità elettromeccanica e processistica impone l'adozione di una metodologia più rigorosa dal punto di vista
 - del processo biochimico
 - del processo idraulico
 - dell'automazione e supervisione
 - del *layout* impiantistico
- Strumenti di progettazione avanzati indispensabili per una progettazione “robusta”
- Chi inquina paga; e chi disinquina più di quanto imposto dalla legge?



Grazie per l'attenzione



Ing. Giuseppe Guglielmi, PhD

ETC Engineering srl

giuseppe.guglielmi@etc-eng.it

M. +39 347 32 24 844

T. +39 (0)461 825 966

