



**BioMAc 2016**  
**Bioreattori a Membrane (MBR)**  
 e trattamenti avanzati per la depurazione delle Acque

---

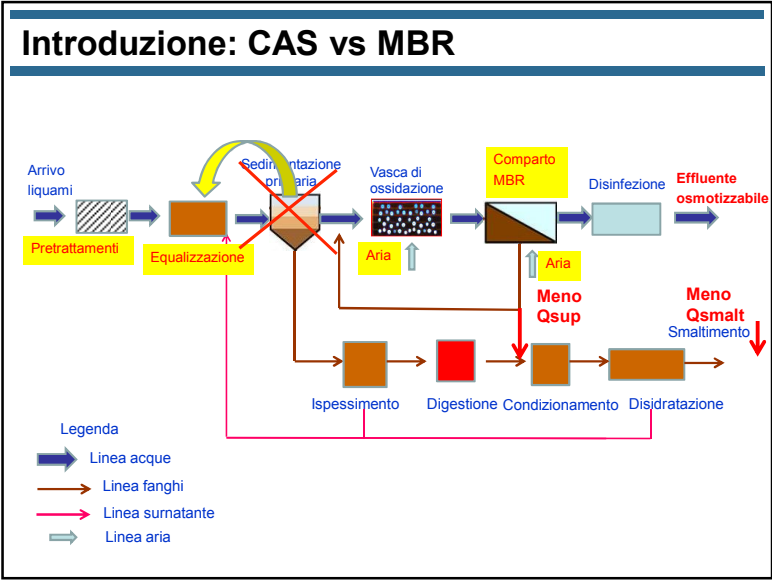
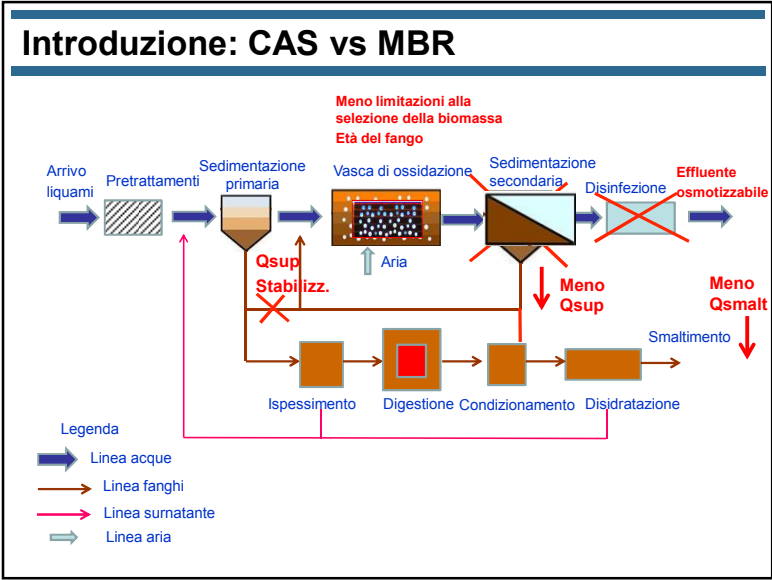
## I costi d'investimento e di esercizio degli impianti MBR

Paolo Roccaro, Federico G. A. Vagliasindi  
 (Università degli Studi di Catania)

Palermo, 27-28 ottobre 2016

### Sommario

- CAS vs MBR
- Costi di trattamento
  - Curve di costo: CAS vs MBR
  - Caso studio: fattibilità tecnico-economica MBR vs CAS (aerazione estesa)
- Inserimento degli MBR in impianti multi-barriera
- Costi - fattibilità – sostenibilità
- Monitoraggio: costi e sistemi real-time



### Costi di trattamento

- Forte variabilità dei costi di costruzione degli impianti di trattamento delle acque reflue connessa a:
  - Dimensione degli impianti;
  - Caratteristiche delle acque reflue;
  - Articolazione in linee parallele (flessibilità di funzionamento a fronte dei fuori esercizio);
  - Modalità realizzative;
  - Fattori locali.

### Costi di trattamento

- **Valutazione dei costi capitali ed operativi:**
  - **Analitica: Computo metrico**
    - Progettazione esecutiva;
    - Difficoltà a reperire i costi di attrezzature ed opere elettromeccaniche per impianti di depurazione (non esistono voci specifiche sui prezzi regionali)
  - **Non analitica: stima di massima per la valutazione dei costi unitari di trattamento (€/m<sup>3</sup>) ricavabili da:**
    - Dati e metodologie proposte in letteratura
    - Database regionali dei costi di costruzione e gestione degli impianti esistenti

### Costi di trattamento

- **I costi capitali vengono espressi in € e includono:**
  - Scavo e preparazione del sito
  - Attrezzature
  - Calcestruzzo
  - Acciaio
  - Manodopera
  - Tubazioni e valvolame
  - Attrezzature e strumentazioni elettriche
  - Edifici.

### Costi di trattamento

- **Tra i costi capitali vanno inoltre considerate le somme a disposizione della stazione appaltante:**
  - IVA
  - Spese tecniche (relazione geologica, progettazione e direzione lavori)
  - Acquisto area ed espropri
  - Servitù
  - Allacciamenti (elettricità e servizio idrico)
  - Imprevisti (<5%).

## Costi di trattamento

- I costi di esercizio vengono espressi in €/anno e includono:
  - Personale operativo e di impianto
  - Spese energetiche
  - Reagenti di processo
  - Smaltimento fanghi
  - Manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere (compresi i materiali di consumo)
  - Vanno inoltre valutati i costi di esercizio a livello centrale comprendenti:
    - Costi per il personale amministrativo e di controllo;
    - Spese generali (materiali d'ufficio, automezzi e mezzi d'opera, spese per materiale di laboratorio)

## Costi di trattamento

$$OACC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} C_o$$

OACC = onere annuo di ammortamento €/anno

i = tasso di interesse

n = numero di anni di vita funzionale dell'opera

$C_o$  = costo capitale dell'opera

## Costi di trattamento

- Il **C**osto **U**nitario **T**otale (**CUT**) viene solitamente espresso in €/m<sup>3</sup> di acqua trattata

$$CUT = \frac{OACC + CTE}{Q_{inf}}$$

- $Q_{inf}$  = portata annua influente all'impianto (m<sup>3</sup>/anno)
- OACC = onere annuo di ammortamento dei costi capitali (€/anno)
- CTE = costi totali di esercizio (€/anno)

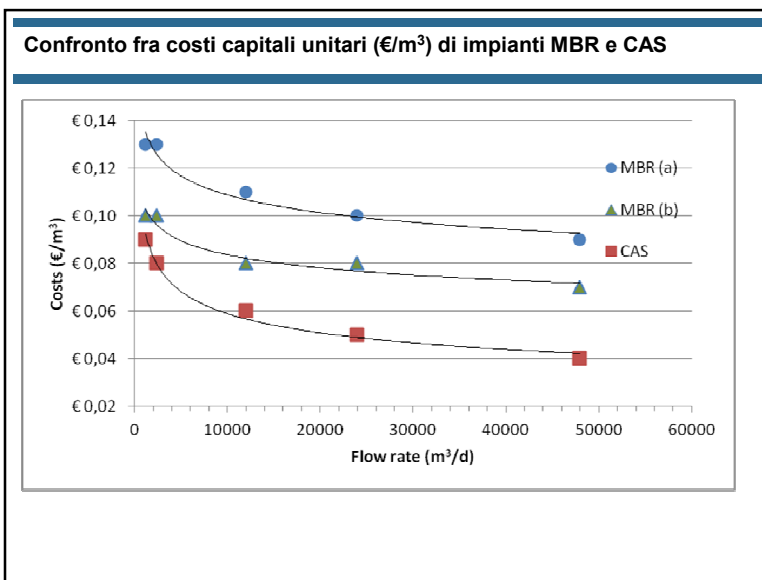
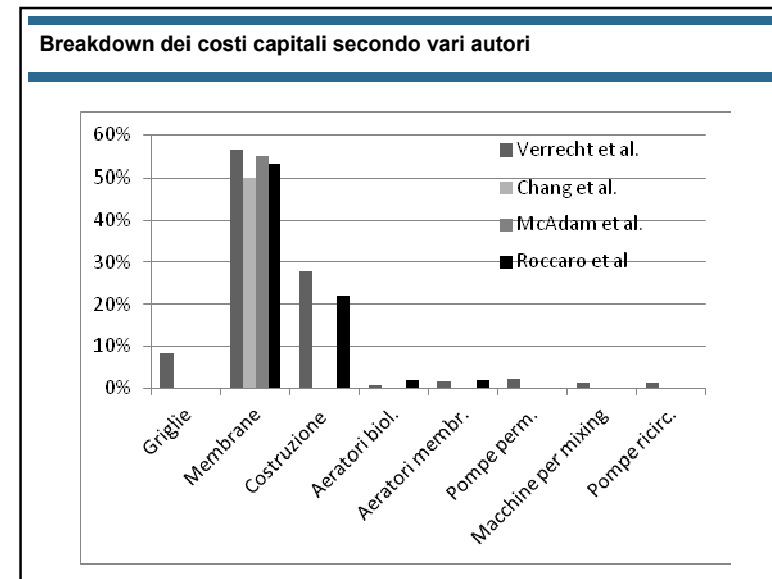
## Costi di trattamento: Schemi e costi a confronto

- SCHEMA 1 (Roccaro, 2010): trattamenti preliminari, sedimentazione primaria, MBR con rimozione biologica di N e P.
- SCHEMA 2 (Verrecht, 2010): trattamenti preliminari, equalizzazione, reattore anossico, MBR (rimozione biologica di N e P).
- SCHEMA 3 (Roccaro, 2010): trattamenti preliminari, sedimentazione primaria, CAS, sedimentazione secondaria.
- SCHEMA 4 (Friedler, 2006): trattamenti preliminari, sedimentazione primaria, CAS, sedimentazione secondaria.

**Costi capitali specifici per impianti di depurazione di diversa tipologia**

Schema	Portata (m <sup>3</sup> /d)	AE	Costi (€/m <sup>3</sup> )	Costi (€/AE anno)	Riferimento bibliografico
Schema 1	48000	200.000	0,09	8	Roccaro, 2010
Schema 2	59580	248.250	0,05	5	Verrecht, 2010
Schema 3	48000	200.000	0,04	3,5	Roccaro, 2010
Schema 4	48000	200.000	0,07	6	Friedler, 2006

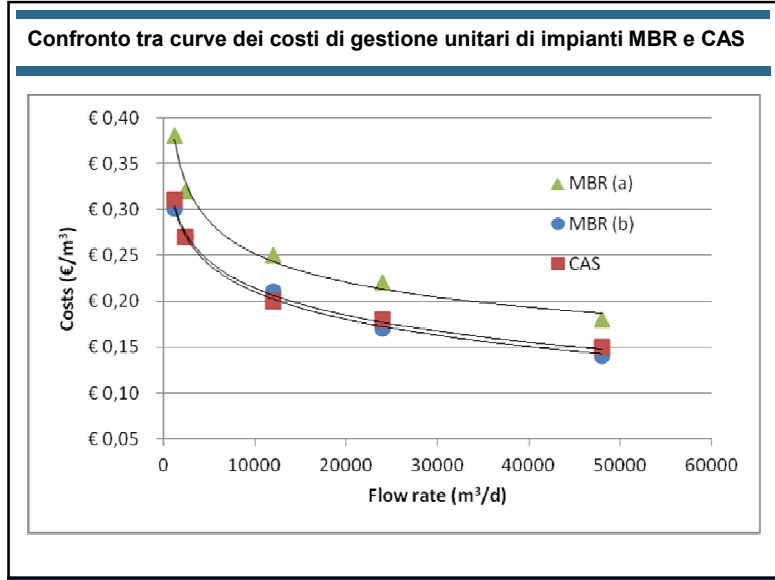
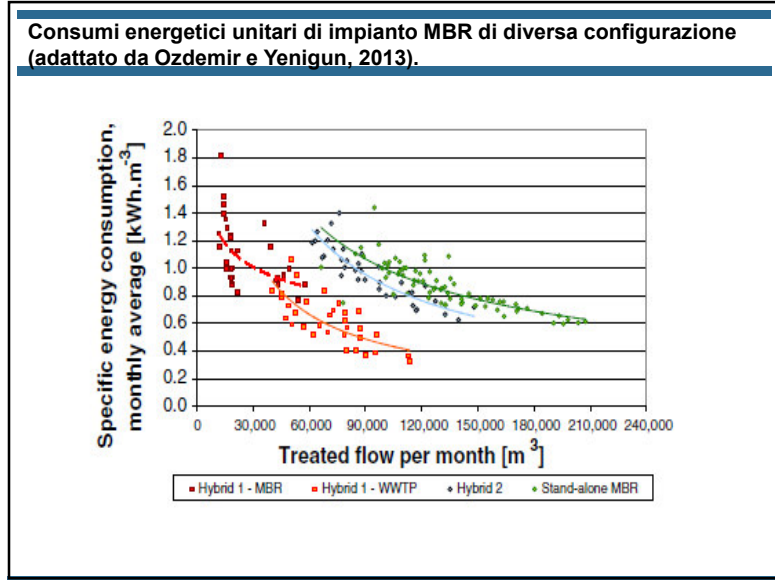
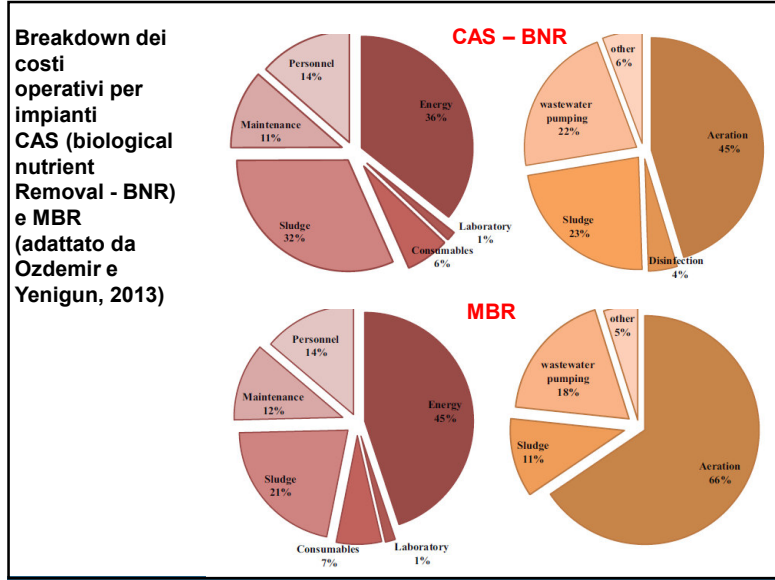
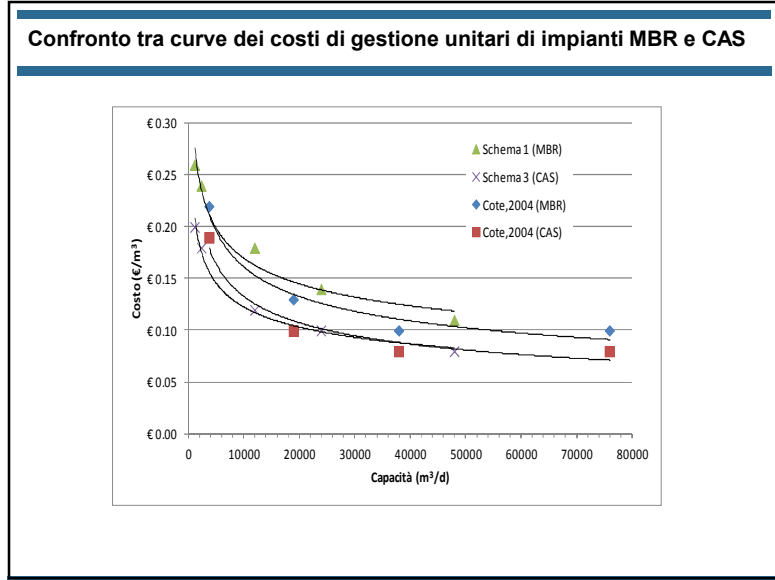
In tutti gli schemi non sono stati considerati i costi relativi a strutture di servizio, sistemazione area, IVA, spese di progettazione ed altre somme a disposizione e costi di acquisto dell'area.



**Costi di gestione unitari per impianti MBR**

Schema d'impianto	Portata (m <sup>3</sup> /d)	Costi (€/m <sup>3</sup> )	Riferimento bibliografico
Schema 1	48000	0,16	Roccaro, 2010
Schema 2	20851	0,12	Verrecht, 2010
Schema 5*	Scala lab.	0,40	Gil, 2010
Schema 6**	18120	0,29	Krzeminski, 2012
Schema 6**	38000	0,10	Côtè, 2004

\*Schema 5: sedimentazione primaria, denitrificazione, MBR;  
 \*\*Schema 6: trattamenti preliminari, MBR.



**Caso studio: Metodologia per il calcolo di costi di trattamento**

- Dimensionato delle singole unità di trattamento presenti negli schemi di trattamento proposti
- Valutazione dei costi

**Caso studio: Metodologia per il calcolo di costi di trattamento**

- Il costo delle opere civili è stato calcolato, dopo un dimensionamento di massima delle unità di trattamento e delle opere civili (calcestruzzo e acciaio), tramite il computo metrico relativo alle seguenti voci:
  - scavo opera
  - cemento
  - acciaio
  - casseforme
- Per il calcolo dei costi si è fatto riferimento al prezzario regionale per il Lavori Pubblici nella Regione Siciliana.

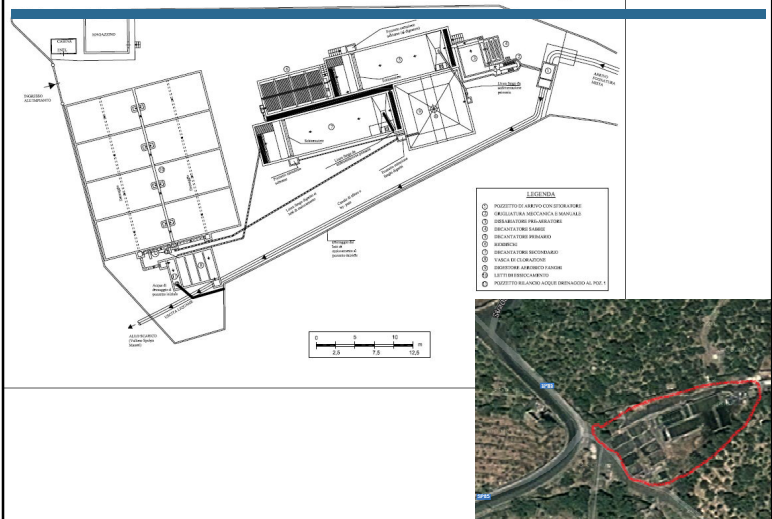
**Caso studio: Metodologia per il calcolo di costi di trattamento**

- I costi delle singole apparecchiature elettromeccaniche sono stati reperiti attraverso opportune indagini di mercato, contattando aziende che operano in questo settore:
  - SIEMENS
  - XYLEM
  - ECOMAC srl.
  - OFFICINE MECCANICHE SAVI
  - PIERALISI
  - INDUSTRIE CHIMICHE CAFFARO
  - Etc.

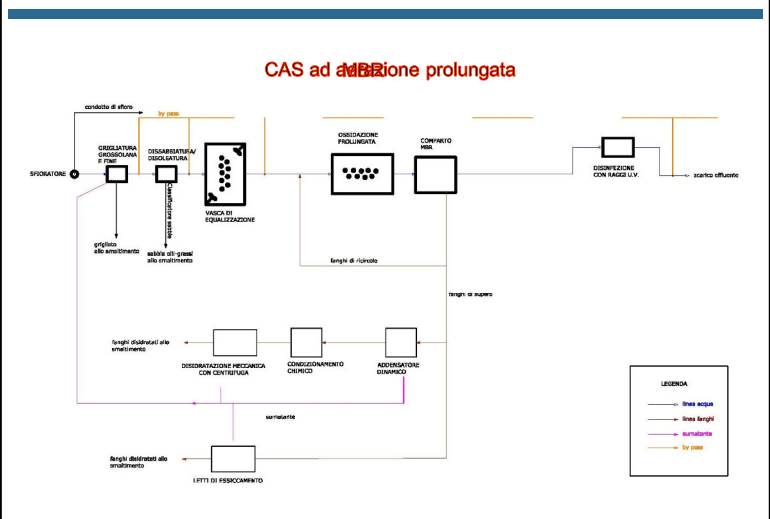
**Caso studio: Metodologia per il calcolo di costi di trattamento**

- I costi di esercizio sono stati stimati, sulla base dei dati di letteratura (Bonomo, 1992) adattati e aggiornati, considerando le seguenti voci:
  - personale operativo di impianto
  - energia
  - reattivi di processo
  - smaltimento fanghi
  - manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere (compresi materiali di consumo)

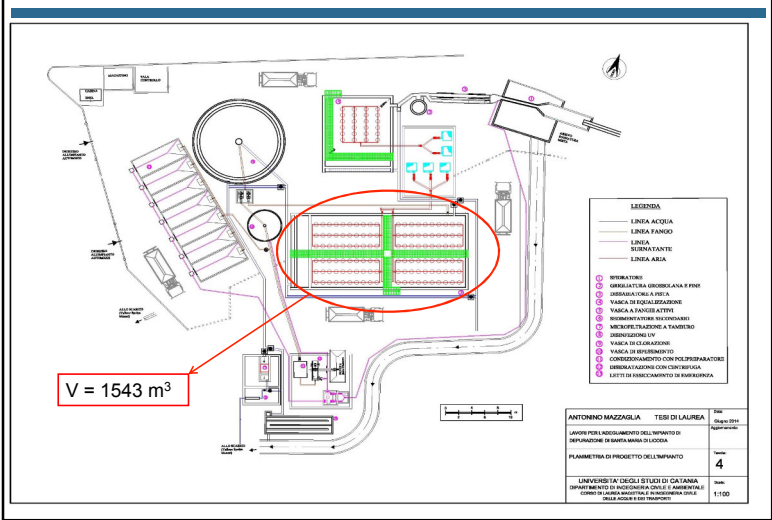
Caso studio: Risultati



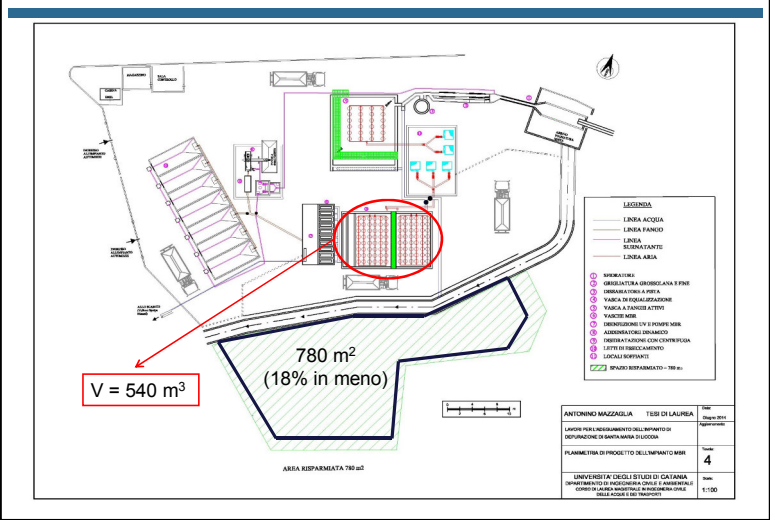
Caso studio: Risultati



Caso studio: Risultati



Caso studio: Risultati



**Caso studio: Risultati**

Si vuole effettuare un confronto tra la soluzione CAS e quella MBR analizzando i costi relativi alle opere edili, elettromeccaniche e di esproprio.

VOCI COMPUTO	IMPORTO IMPIANTO CAS (€)	IMPORTO IMPIANTO MBR (€)	DIFFERENZA (€)	DIFFERENZA PERCENTUALE (%)	VOCI	QUANTITA'	COSTO SPECIFICO	COSTO TOTALE (€)
Scavo di sbiancamento	20665	4129	6536	32	Membrane	4426 m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup>	265560
Ritiro	489	972	-483	-50	Opere elettromeccaniche*	-	-	14000
Conglomerato cementizio fondazioni	38099	29540	8559	22	Opere civili	-	-	122238
Conglomerato cementizio elevazioni	68563	48600	19963	29	TOT	-	-	291806
Asfalto	143235	81065	62170	43				
Cassoniere	47964	32542	15422	32				
Impianto di materiale a densità (solo demolizione impianto attuale)	7648	7648	0	0	Elemento	Numero	Costo unitario (€)	Costo totale
Demolizioni (solo demolizione impianto attuale)	1342	1342	0	0	Ponte raschiatore	1	38000	38000
Foratura profilati ferro (travi HE) per passerelle	13005	9069	3936	47	Pompa ricircolo fango*	2	6000	12000
Impermeabilizzazione	21550	14408	7142	33	Microfiltrazione	1	69700	69700
Spianata di malta in preparazione all'impermeabilizzazione	10708	7524	3184	30	Disinfezione acido peracetico (pompa dosatrice e serbatoio)	1	1730	1730
Tubazioni PEAD corrugato (tot.)	11828	6005	5823	42	Espositore a gravità**	1	14430	14430
Saracinesche	14350	5450	8900	62	Centrifuga	***	***	20000
TOT	398442	259100	139342	35	TOT	-	-	151860

Tipo di impianto	Area da espropriare (m <sup>2</sup> )	Percentuale di esproprio sull'area totale (%)	Prezzo di esproprio (€/m <sup>2</sup> )	Oneri di esproprio (€)
Aerazione prolungata	1543	42,5	4	6172
MBR	909	25,0	4	3663

**Caso studio: Risultati**

$$\Delta C = C_{edili} + C_{apparecchiature} + C_{esproprio} - C_{membrane} = 140000 + 152000 + 2500 - 292000 = 2500 \text{ €}$$

	Costi capitali unitari (€/m <sup>3</sup> )	Costi di gestione unitari (€/m <sup>3</sup> )	Costi totali unitari (€/m <sup>3</sup> )
CAS	0,17	0,37	0,54
MBR	0,20	0,32	0,52

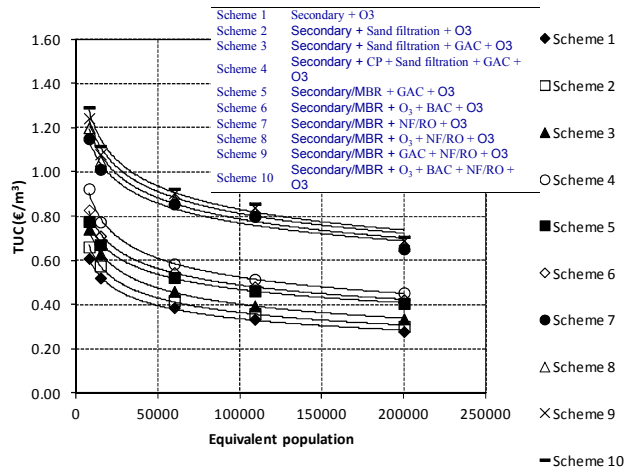
**Inserimento degli MBR in impianti multi-barriera (Roccaro et al., 2013)**

**Approccio multibarriera**

Scheme	Treatment processes	Removal efficiency % range		
		UV	O <sub>3</sub>	AOPs
Scheme 1	Preliminary + Primary + AS + Settling + UV/OX	18-94	48-99	56-99
Scheme 2	Preliminary + Primary + AS + Settling + Sand filtration + UV/OX	18-94	48-99	56-99
Scheme 3	Preliminary + Primary + AS + Settling + Sand filtration + GAC + UV/OX	24-99	60-99	65-99
Scheme 4	Preliminary + Primary + AS + Settling + CP + Sand filtration + GAC + UV/OX	29-99	62-99	66-99
Scheme 5	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + GAC + UV/OX	24-99	60-99	65-99
Scheme 6	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + O <sub>3</sub> + BAC + UV/OX	84-99	87-99	87-99
Scheme 7	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + NF/RO + UV/OX	69-99	75-99	75-99
Scheme 8	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + O <sub>3</sub> + NF/RO + UV/OX	75-99	75-99	75-99
Scheme 9	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + GAC + NF/RO + UV/OX	69-99	80-99	80-99
Scheme 10	Preliminary + Primary + <b>MBR</b> + O <sub>3</sub> + BAC + NF/RO + UV/OX	90-99	92-99	92-99

AS: activated sludge, MBR: membrane bio-reactor, GAC: granular activated carbon, BAC: biological activated carbon, CP: chemical precipitation, NF: nanofiltration, RO: reverse osmosis, OX: oxidation processes (O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

**Inserimento degli MBR in impianti multi-barriera: Costi di trattamento (Roccaro et al., 2013)**





### Trattamento delle acque reflue: Costi – Fattibilità - Sostenibilità

- Necessità di investire su
  - trattamenti avanzati delle acque reflue
  - controllo in tempo reale della qualità degli scarichi

### Inquinamento dei corpi idrici



Tabella 3.1.2 – Classificazione dello stato ecologico ed ambientale

STAZIONE	Luglio 2005-Giugno2006					STATO CHIMICO	
	IBE		L.I.M.		SECA		SACA
	MEDIA	C.Q.	VALORE	C.Q.	C.Q.		C.Q.
99	n.d		170	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	< valore soglia
100	8/7	BUONO	200	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	< valore soglia
101	7	SUFFICIENTE	220	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	< valore soglia
102	7	SUFFICIENTE	300	BUONO	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	
103	n.d		145	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SCADENTE	
104	4		180	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SCADENTE	
105	6	SUFFICIENTE	200	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SCADENTE	
106	4	SCADENTE	110	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	
107	n.d		120	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	
108	6	SUFFICIENTE	70	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	
		CLASSE I ELEVATO	CLASSE II BUONO	CLASSE III SUFFICIENTE	CLASSE IV SCADENTE	CLASSE V PESSIMO	

### Inquinamento dei corpi idrici



LA SICILIA 29.03.2013

#### Spiaggia San Marco, scatta il divieto di balneazione



Anche quest'anno, sulla spiaggia di San Marco, si prospetta un'estate "bollente", non per le alte temperature tipiche della bella stagione, ma a causa dell'ormai irrisolvibile problema dell'inquinamento marino. Il sindaco di Calatabiano, Giuseppe Inrelesano, sulla scorta del recente decreto dell'assessorato regionale per la salute e dell'assessorato regionale per il territorio e l'ambiente, che individua i tratti di costa non adibiti alla balneazione, ha emesso un'ordinanza con la quale conferma, con decorrenza immediata e per tutta la stagione estiva 2013, il divieto di balneazione nei tratti di mare a sud del fiume Alcantara (630 metri) e nei pressi del torrente Minissale (25 m a nord e 50 m a sud). Una notizia che non

farà certo piacere ai tanti turisti e bagnanti locali abituate del litorale calatabianese, così come ai gestori delle strutture balneari, che, dopo aver pagato un caro prezzo la scorsa estate in termini di afflusso e guadagni, rischiano, ancora una volta, di dover fare i conti con un'altra stagione povera. Una situazione che danneggia anche l'immagine della stessa località marittima e che, avverte il Comune, lo scorso anno, ad affidare l'incarico a un legale affinché si riaprissero i termini per i finanziamenti europei utili a potenziare il depuratore consortile di Gardini, causa principale del forte inquinamento che viene rilevato dai dati di «Gioletta verde» di Legambiente.

SALVATORE TROVATO

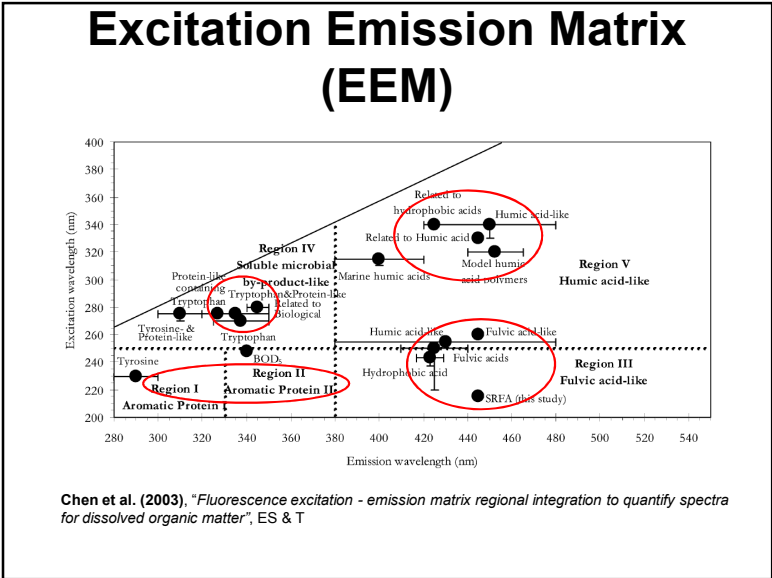
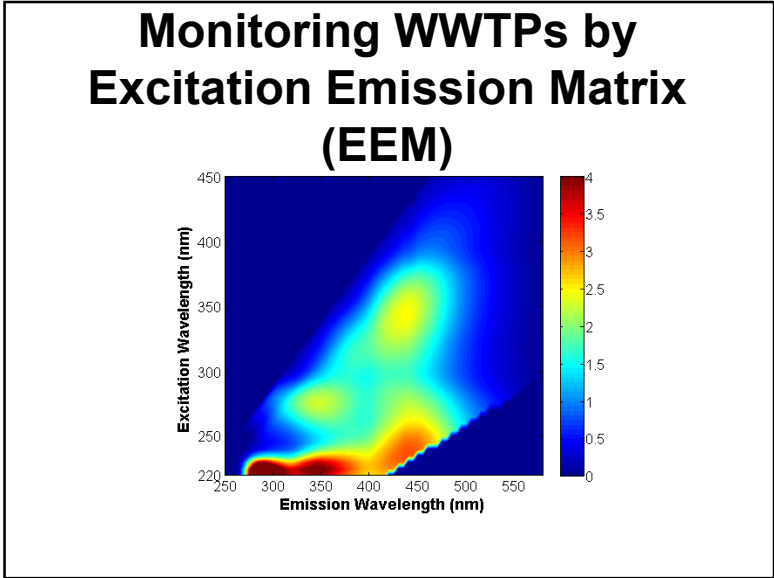
### Trattamento delle acque reflue: Costi – Fattibilità - Sostenibilità

#### Sostenibilità

- Danno per l'ambiente
- Danno per la salute
- Danno per il turismo, PIL
- Sanzioni severe dall'UE
- Mancato recupero di risorse: acqua, nutrienti, energia
- Spreco di acque pregiate e uso di fertilizzanti industriali
- Etc.

### Trattamento delle acque reflue: Costi – Fattibilità - Sostenibilità

- Controllo / monitoraggio / costi
  - Analisi in laboratorio: **tempi e costi**
  - Pochi strumenti disponibili per la misura on-line e real-time (pH, potenziale redox, cloro, conduttività, torbidità, ossigeno, nitrati, ammoniaca)
  - Maggiori difficoltà per la misura in real-time di DOC, COD, composti organici in tracce, composti responsabili del fouling, etc.
  - Nuove tecnologie basate su misure spettroscopiche**



### WWTP schemes

WWTP	Size (p.e.*)	Treatment train
1	5300	preliminary, secondary (activated sludge, extended aeration)
2	34150	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrifying), chlorination
3	30000	preliminary, primary, secondary (rotating biological contactors), chlorination
4	6500	preliminary, primary, secondary (rotating biological contactors), chlorination
5	55000	preliminary, primary, secondary (activated sludge, non nitrifying), chlorination
6	55000	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrifying), chlorination
7	25000	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrification, denitrification, combined phosphorous removal by ferric chloride), sand filtration, UV disinfection
8	432500	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrification, denitrification), sand filtration, UV disinfection
9	75000	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrification, denitrification), chlorination
10	40000	preliminary, primary, secondary (activated sludge, nitrification, denitrification), chlorination

\*p.e., population equivalent

## Target CECs

Pharmaceuticals	Personal care products	Pesticides
Atenolol	Benzophenone	Atrazine
Benzotriazole	Triclocarban	Simazine
Carbamazepine	Triclosan	X-ray contrast agents
DEET	Sweeteners	Iohexol
Diclofenac	Acesulfame	Iopamidol
Diltiazem	Sucralose	Iopromide
Diphenhydramine	Stimulants	Flame retardants
Gemfibrozil	Caffeine	TCEP
Ibuprofen	DECA	TCCP
Meprobamate		Surfactants
Naproxen		

## Analysis

CECs at environmental level - ppt (Anumol et al., 2013)

TOC/DOC

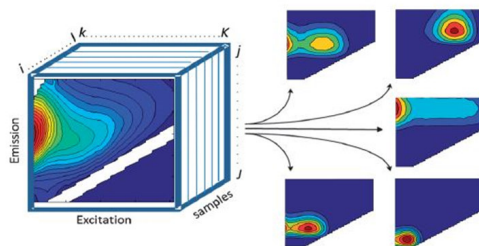
UV/Fluorescence

Others (main conventional water quality parameters)

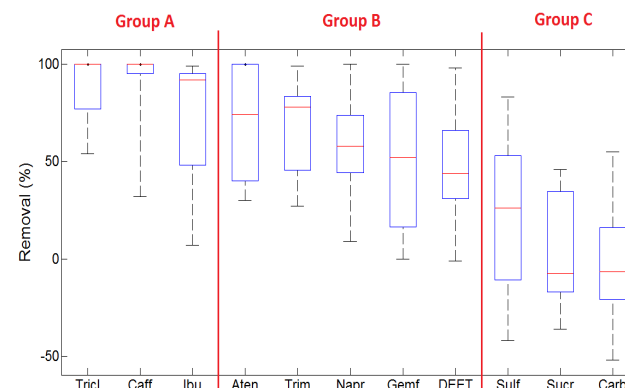


## PARAFAC

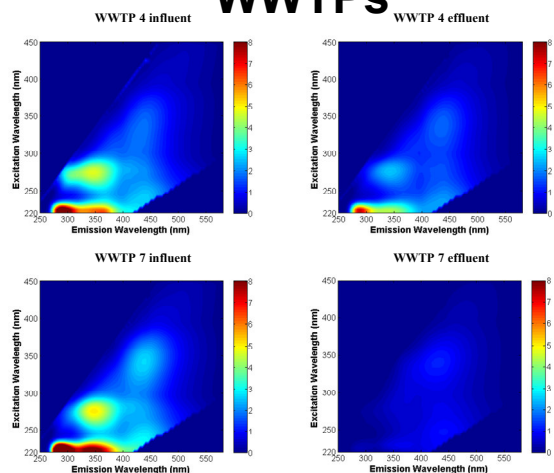
Il PARAFAC (PARallel analysis FACtor) è un modello implementato sulla piattaforma MATLAB che è in grado, a partire da una struttura di dati tridimensionale, di decomporre le matrici EEM in un numero variabile di componenti sottostanti che hanno significato chimico indipendente.



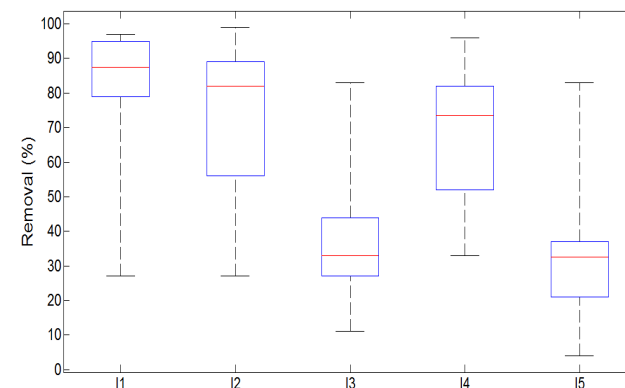
## CECs removals observed in the investigated WWTPs



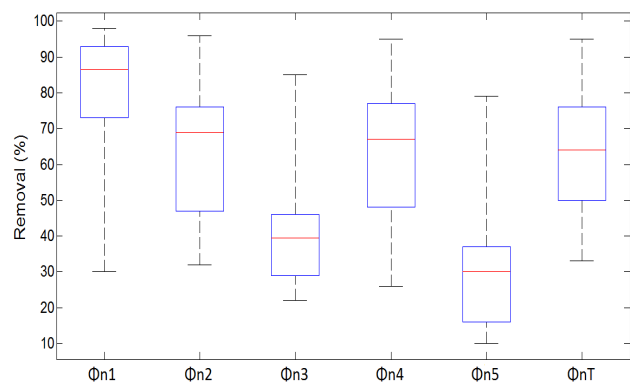
## Fluorescence removal in WWTPs



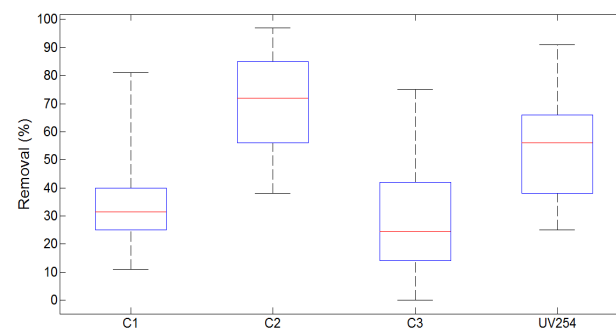
## Indexes removals observed in the investigated WWTPs: peak-picking method

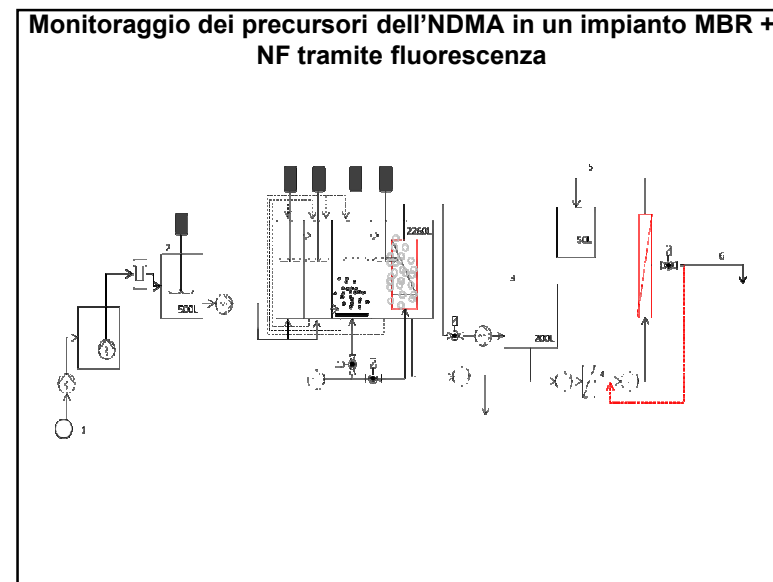
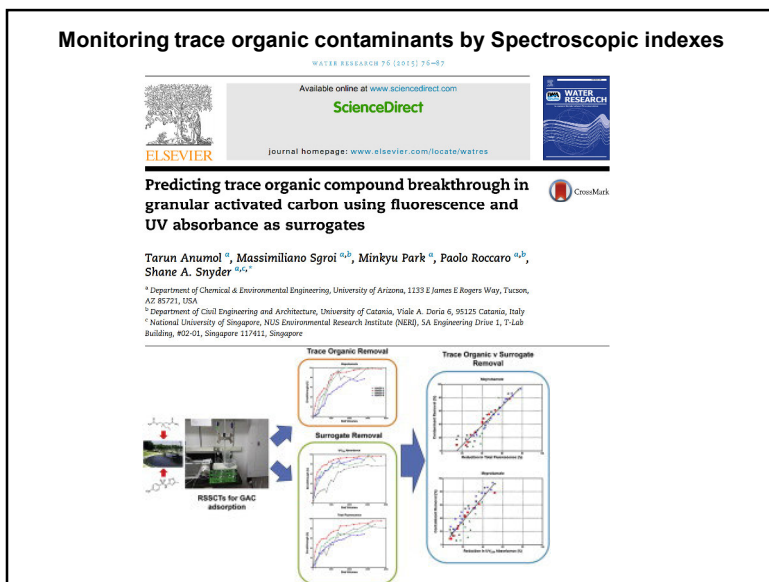
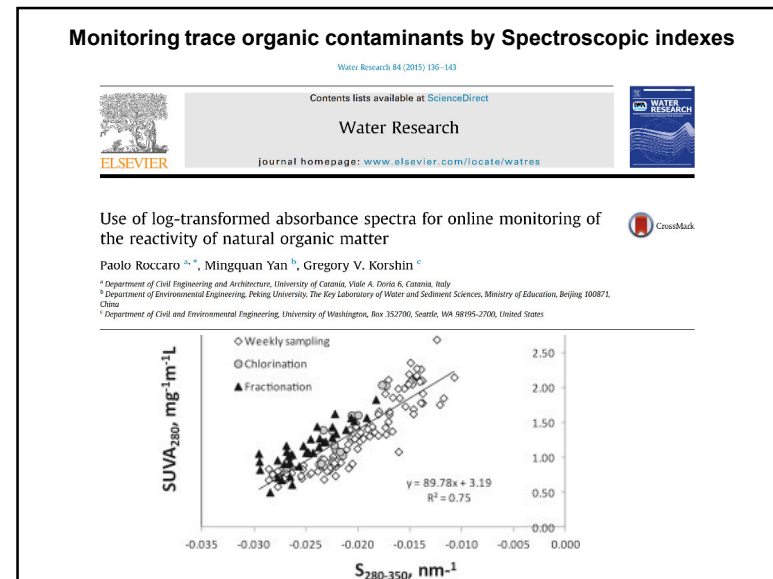
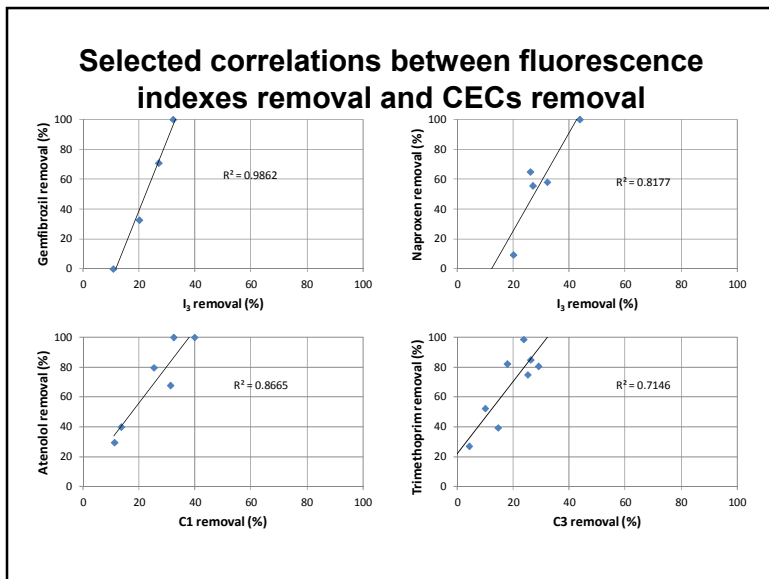


## Indexes removals observed in the investigated WWTPs: fluorescence regional interation



## Indexes removals observed in the investigated WWTPs: PARAFAC components and UVA<sub>254</sub>





### Take home message

- Confronto tra costi non agevole a causa dei molti fattori
  - schema d'impianto, tipologia di intervento (costruzione ex novo o adeguamento), spese per la progettazione, acquisto terreno, smaltimento del fango, etc.
- Costi MBR confrontabili con CAS in casi particolari
  - Necessità di trattamento a avanzato
  - Costo e disponibilità aree
  - MBR - incremento di costo capitale (membrane) e di gestione (energia) ma minore produzione di fanghi
- Monitoraggio real-time (indici spettroscopici)
  - controllo continuo, early warning, ottimizzazione processi
  - riduzione dei costi di monitoraggio (analisi convenzionali)