



«Prospettive e opportunità di sviluppo nelle tecnologie di depurazione delle acque civili e industriali e trattamento fanghi»

Assolombarda, 7 ottobre 2010

 POLITECNICO DI MILANO



Benchmark, ricerca applicata e ambiti di ottimizzazione nella depurazione - Linea acque e riuso

Francesca Malpei

DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) Sezione Ambientale

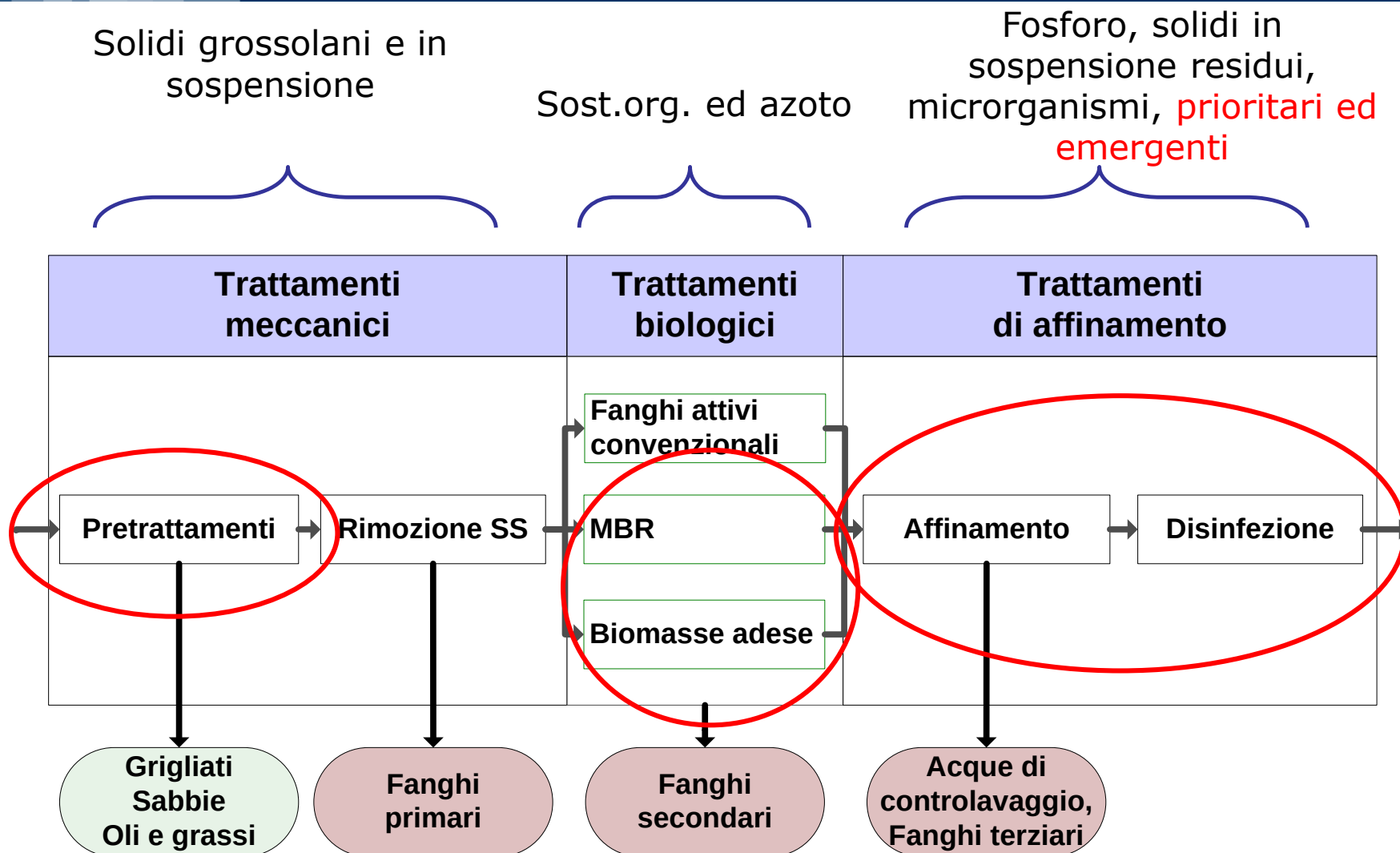
francesca.malpei@polimi.it



1. Benchmark attuale

2. Prospettive e/o necessità di sviluppo tecnologico

- **aumentare i livelli depurativi** ed estenderli a «nuovi» inquinanti;
- **ridurre i consumi energetici**
- **recuperare acqua, energia** ed elementi (P, K, ...) dal ciclo depurativo
- migliorare inserimento ambientale e ridurre impatto odori ed emissioni gas (N_2O , NH_3 , CH_4 , VOC)



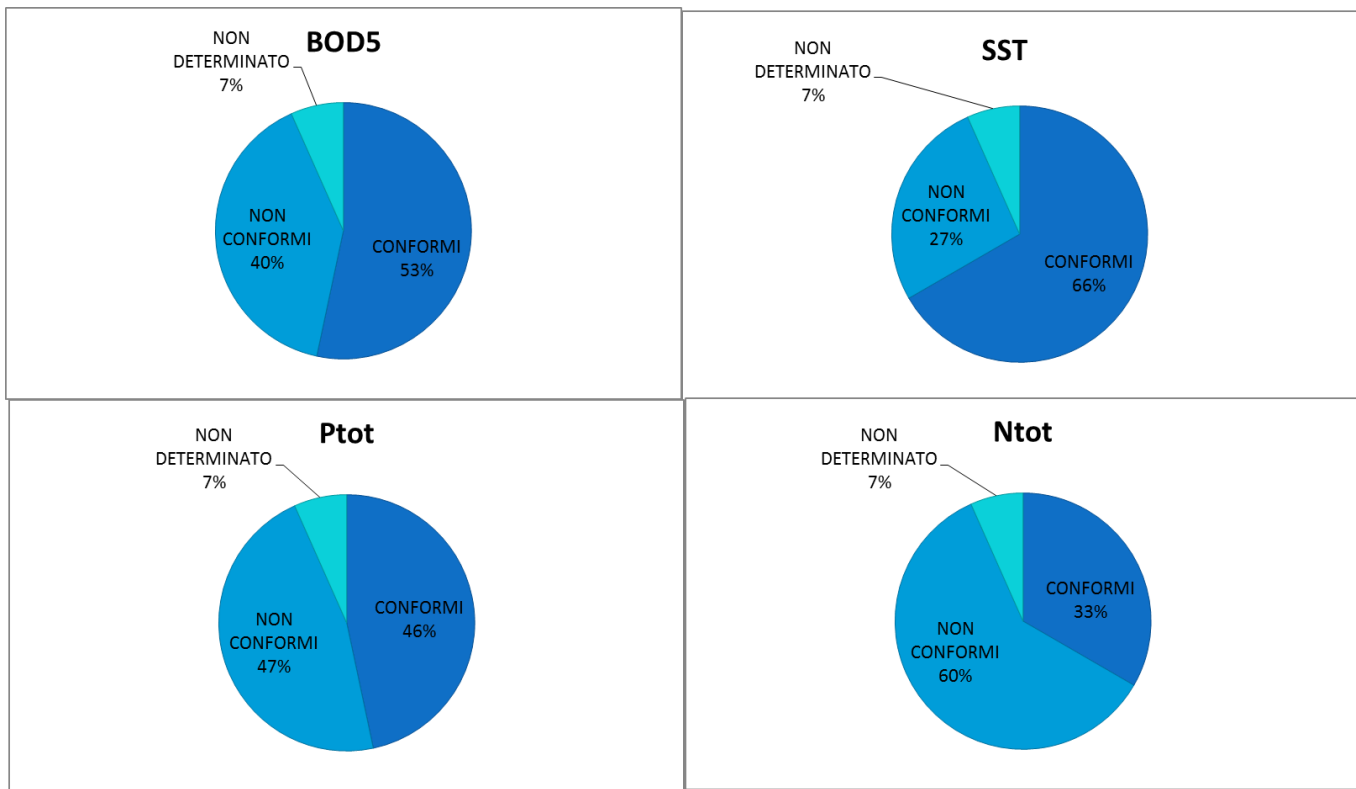


- **Per rispettare nuovi limiti su macroinquinanti**
(Lombardia: nuovi limiti BOD, COD, SST, N e P, entro 31/12/2016)
- Per riuso delle acque o protezione corpi idrici, con modesta capacità diluizione
- Per ridurre i carichi di microinquinanti e sostanze prioritarie, a seguito di evoluzione normativa o condizioni locali



Conformità ai limiti 2016

Statistica (n. impianti) su impianti lombardi $P \geq 100.000$
bacini Lambro-Seveso-Olona (2010-2011)

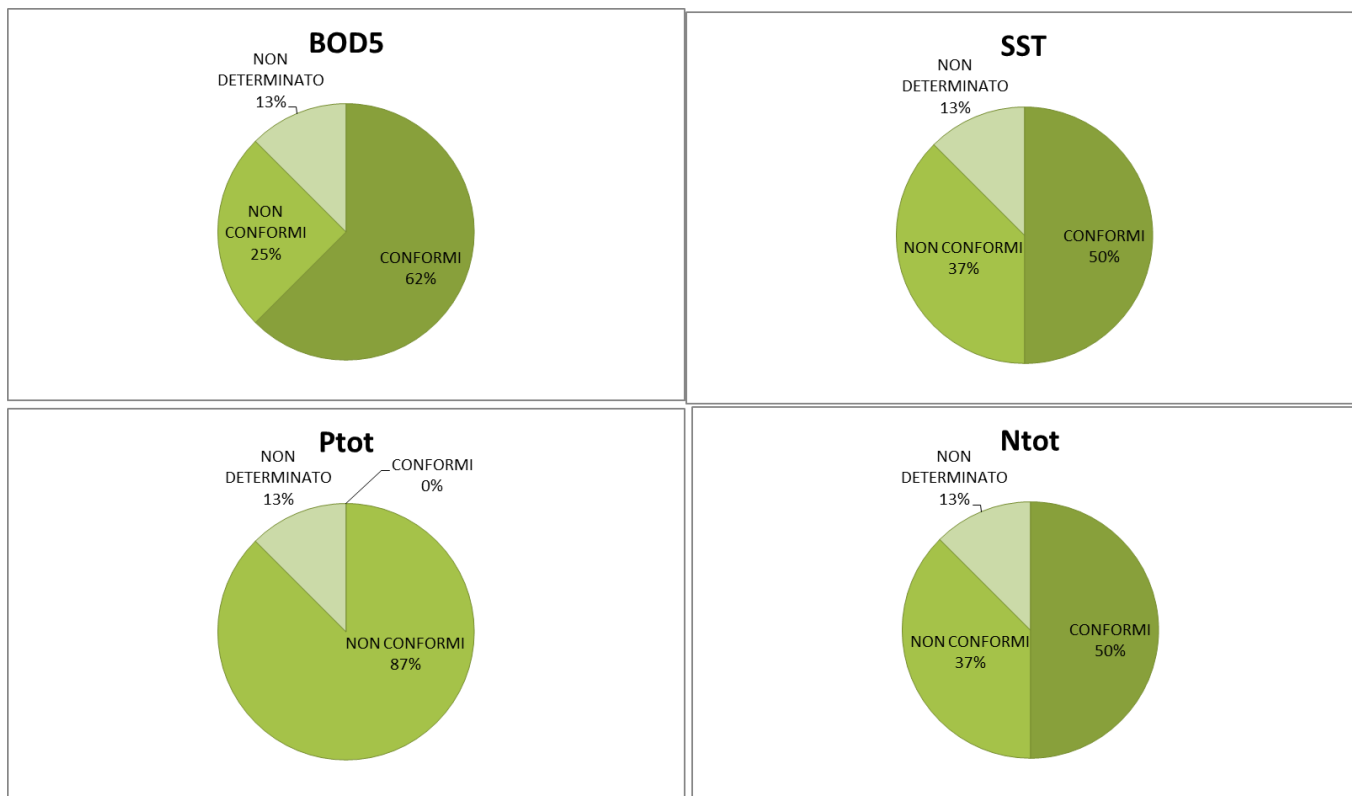


Elaborazione dati Progetto Fiumi, dott.ssa A. Azzellino



Conformità ai limiti 2016

Statistica (n.impianti) su impianti lombardi $50.000 \leq P < 100.000$
bacini Lambro-Seveso-Olona

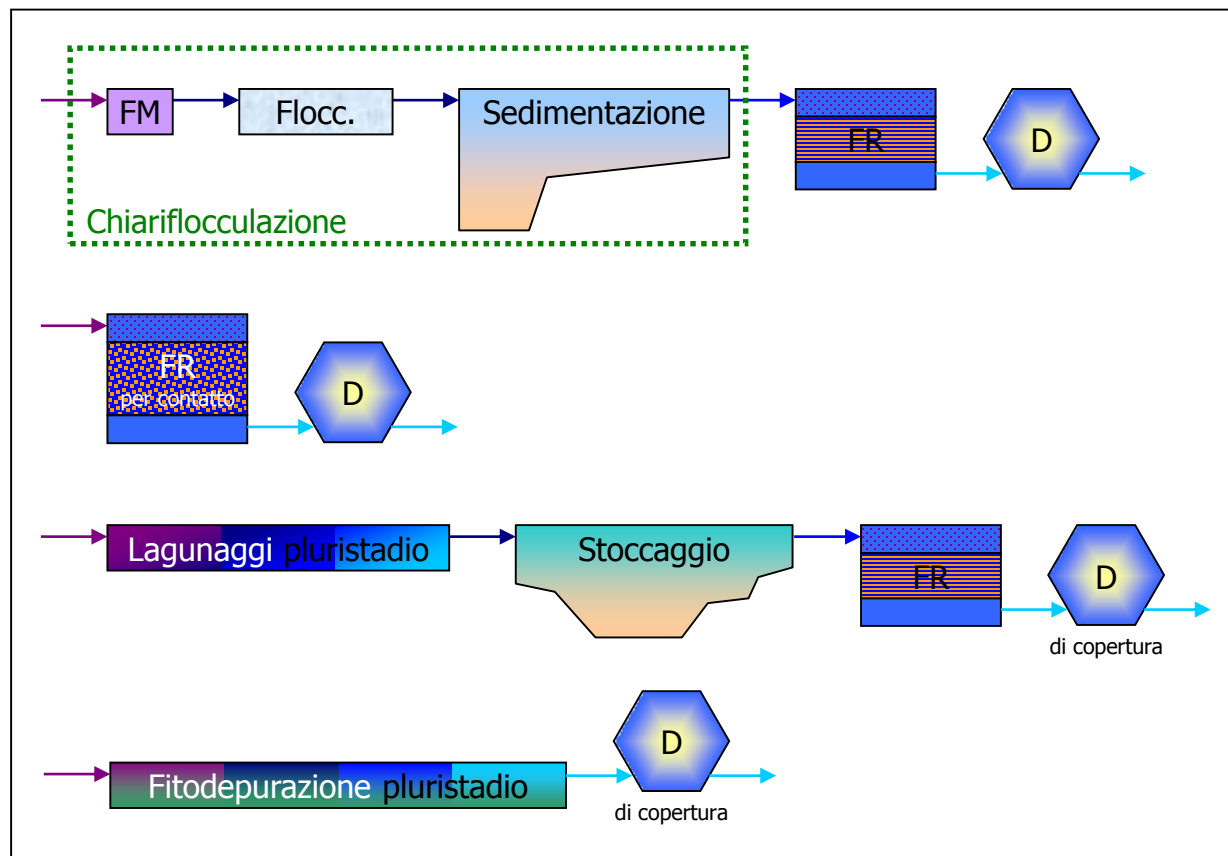
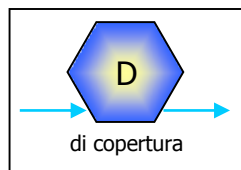
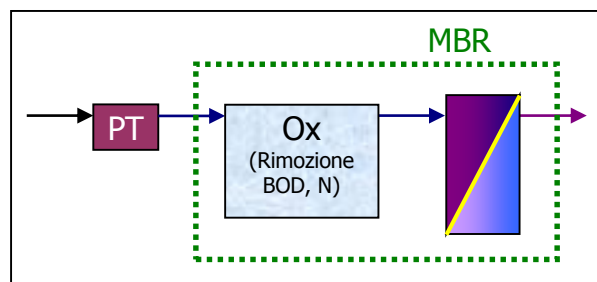
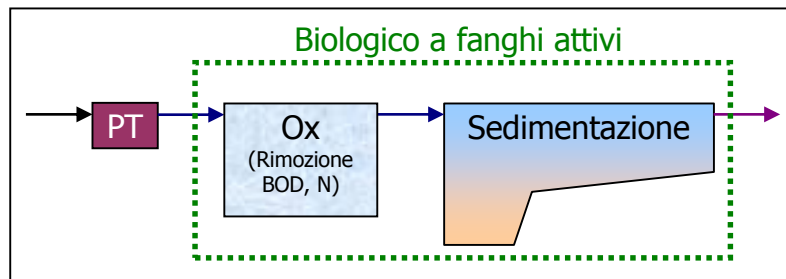


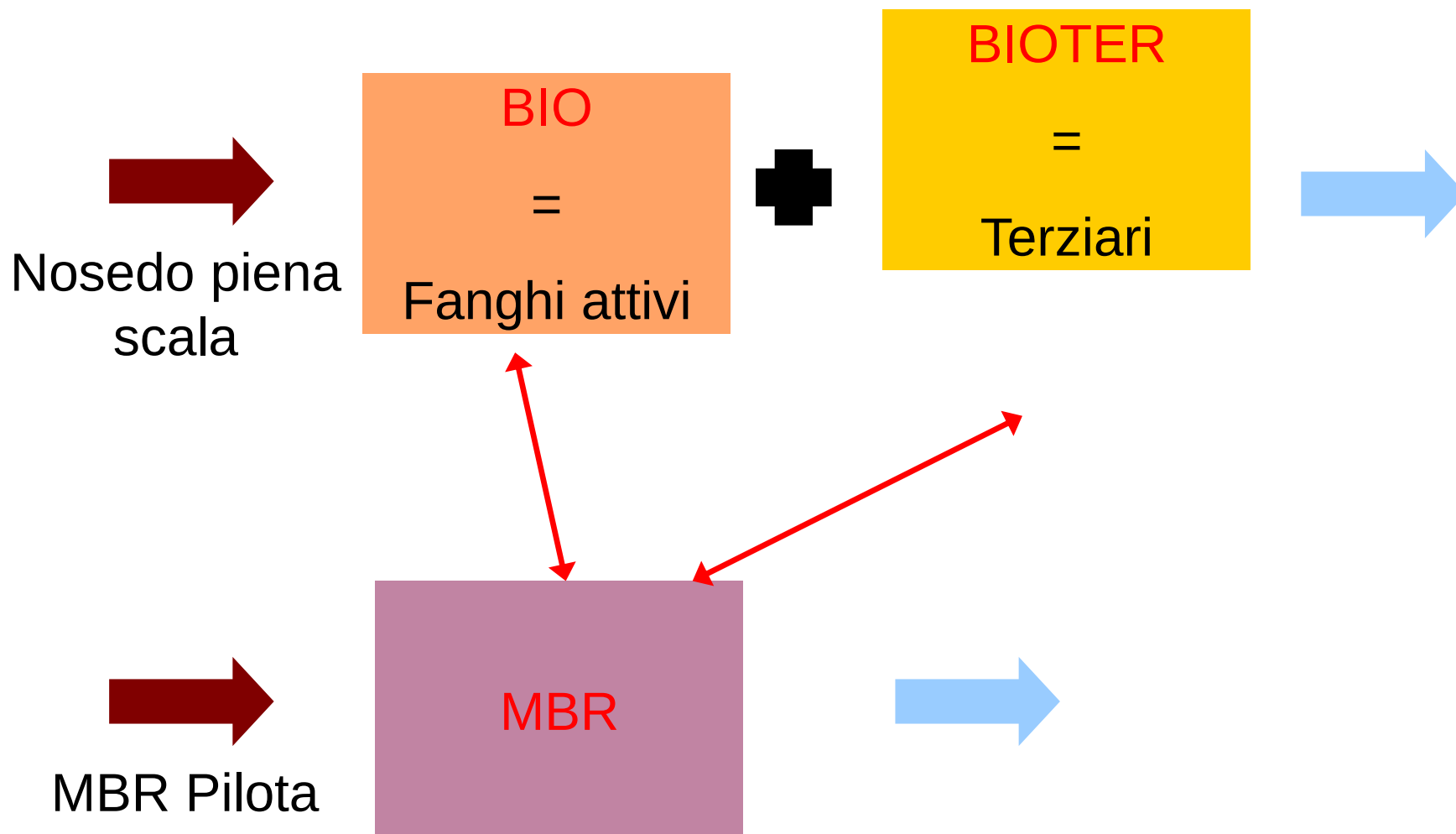
Elaborazione dati Progetto Fiumi, dott.ssa A. Azzellino



Di fatto meno restrittivi per N e BOD rispetto limiti al 2016, per PE > 50.000

		T.U. 152/2006 – Limiti allo scarico		D.M.02.05.2006
		aree non sensibili Tab. 1/3 All. 5	aree sensibili Tab. 2 All. 5	riuso agricolo
BOD	mg/L	25	25	20
COD	mg/L	125	125	100
SST	mg/L	35	35	10
N-NH ₄ ⁺	mg/L	15		2
N-NO ₃ ⁻	mg/L	20		15
N _{tot}	mg/L		10	
P _{tot}	mg/L		1	2
Tensioattivi tot.	mg/L	2	2	0,5
Fenoli	mg/L	0,5	0,5	0,1
Aldeidi	mg/L	1	1	0,5
E. coli	UFC/100 mL	5.000	5.000	10/100
Salmonella				assenti







Medie e deviazioni sull'intero periodo

	COD		TSS		NH ₄ ⁺		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
	mg L ⁻¹	Removal (%)	mg L ⁻¹	Removal (%)	mg L ⁻¹	Removal (%)	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
MBR	7.88±2.90	96.4±2.3	-	>99.9	0.12±0.10	98.7±3.4	0.04±0.06	13.16±3.23
BIO	12.15±5.66	94.4±3.6	10.12±11.21	94.0±6.5	0.23±0.29	98.5±1.7	0.06±0.03	5.42±1.12
BIOTER	11.00±3.00	95.3±2.0	3.40±2.00	98.1±1.5	0.40±0.70	97.9±3.2	0.04±0.05	5.24±0.84



Microinquinanti e contaminanti emergenti

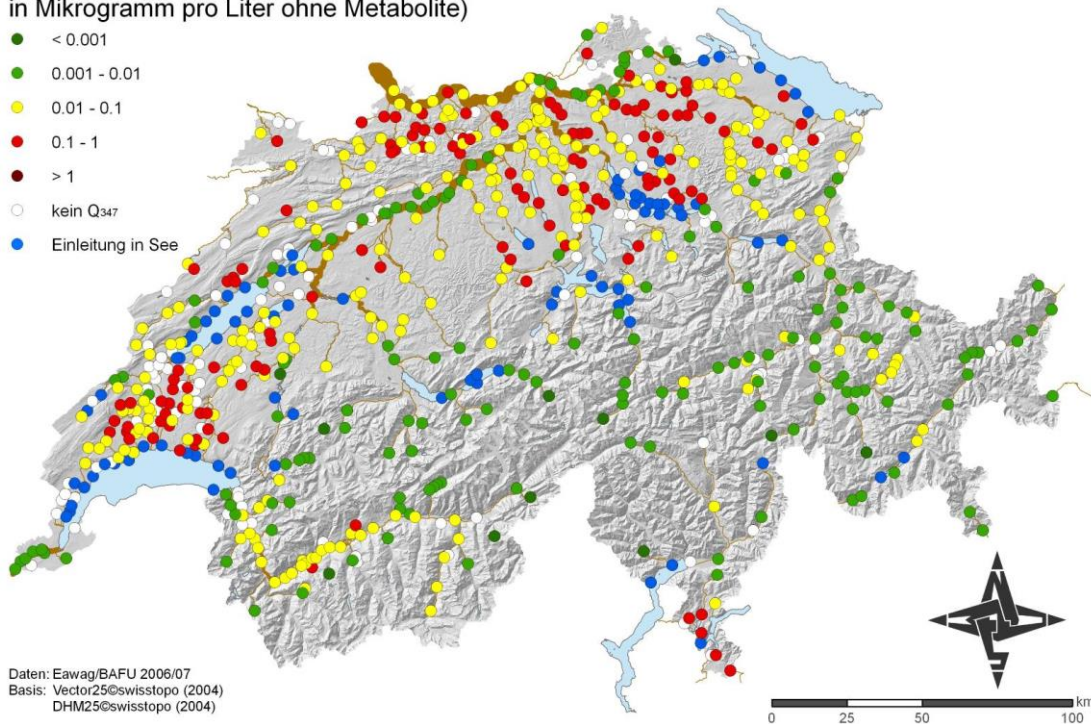
- **Contaminanti emergenti:** sostanze che **potrebbero essere in futuro regolamentate** in base alla loro (eco)tossicità, effetti sulla salute umana , dati di monitoraggio inerenti loro presenza e persistenza (NORMAN Network)
- **Sostanze prioritarie:** sostanze per la quali **sono definiti a livello europeo standard di qualità ambientale (EQS).**
- Elenco, numero complessivo e valori EQS **recentemente aggiornati con la Direttiva 2013/39/EU**, che ha aggiunto ulteriori 12 sostanze rispetto all'elenco precedente (2008) e ha inserito 3 ulteriori sostanze in una **Watch List**.



Modellizzazione concentrazione Diclofenac ($\mu\text{g/L}$)

Modelliertes Diclofenac-Risikopotential in Fliessgewässern bei Minimalabfluss Q_{347}
in Mikrogramm pro Liter ohne Metabolite)

- < 0.001
- 0.001 - 0.01
- 0.01 - 0.1
- 0.1 - 1
- > 1
- kein Q_{347}
- Einleitung in See



Prevista l'entrata in vigore di una ordinanza
per la realizzazione di interventi **su alcuni impianti**, nel 1/1/2016

www.micropoll.ch

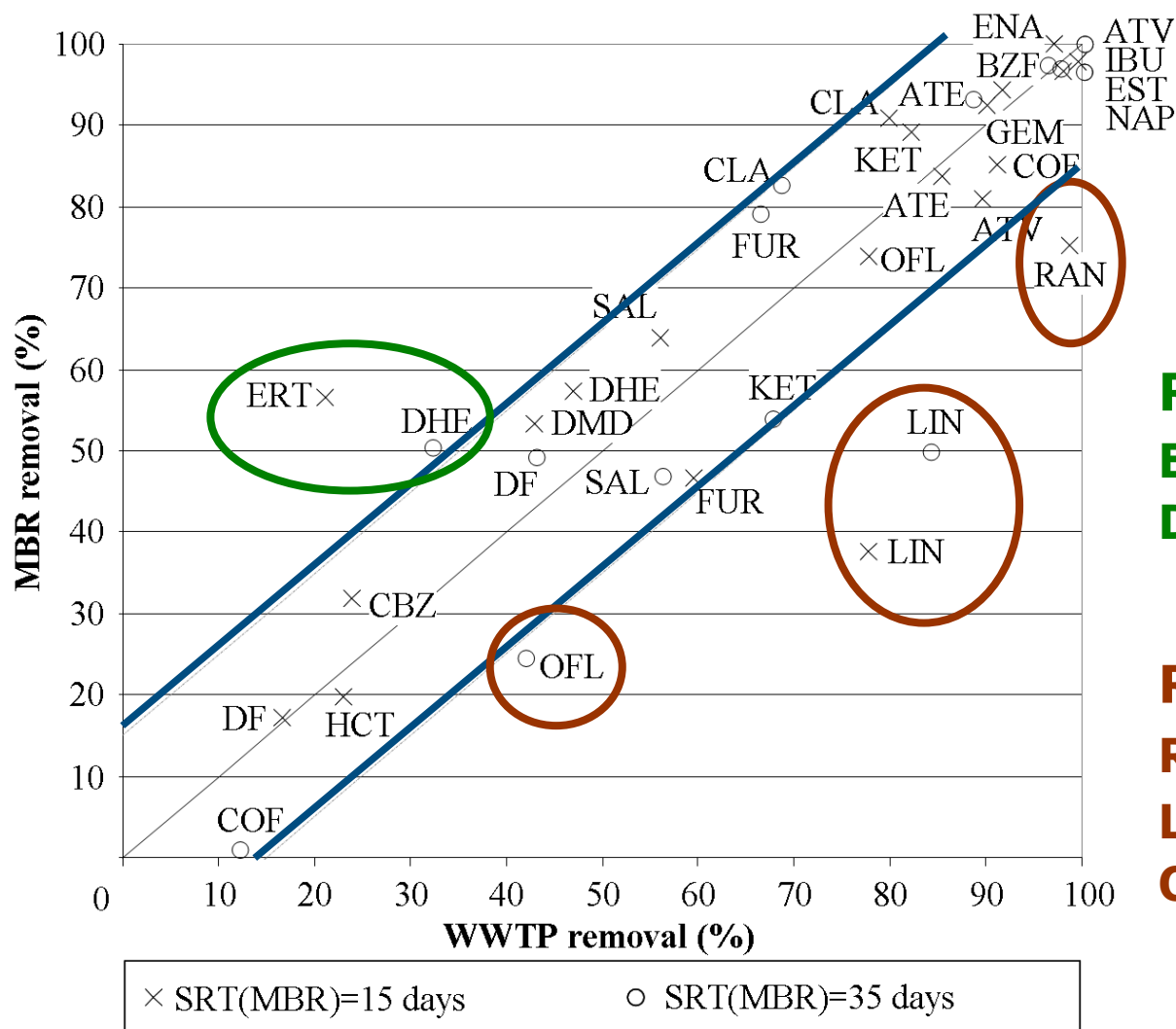


Processo (Impianti 10'000 – 100'000 AE)	Investimento (CHF/AE)	Esercizio (CHF/AE/a)
PAC con nuova filtrazione	200 – 600	15 – 25
PAC con filtrazione esistente	100 – 350	10 – 17.5
O ₃ con nuovo post-trattamento biologico	150 – 400	7.5 – 15
O ₃ con filtrazione esistente	75 – 200	5 – 10

Costi di esercizio: energia elettrica, personale, manutenzione, analitica, prodotti chimici, smaltimento fanghi (solo PAC)



Effluente Nosedo vs. permeato MBR



RIMOZIONE SIMILE PER LA MAGGIOR PARTE DEI COMPOSTI ANALIZZATI

Rimozione MBR > CAS
Eritromicina
Deidroeritromicina

Rimozione CAS > MBR
Ranitidina
Lincomicina
Ofloxacina

[Bouju et al., 2009]



Migliore gestione di impianto

- Controllo SRT
- Controllo aerazione
- Controllo dosaggi e reagenti
- Temporizzazione rinvii surnatanti
- Estrazione fanghi

Upgrading con tecnologie provate

Fase biologica
Trattamento surnatanti

Rimozione fisico-chimica
SST e P
Adsorbimento
Fitodepurazione

Membrane

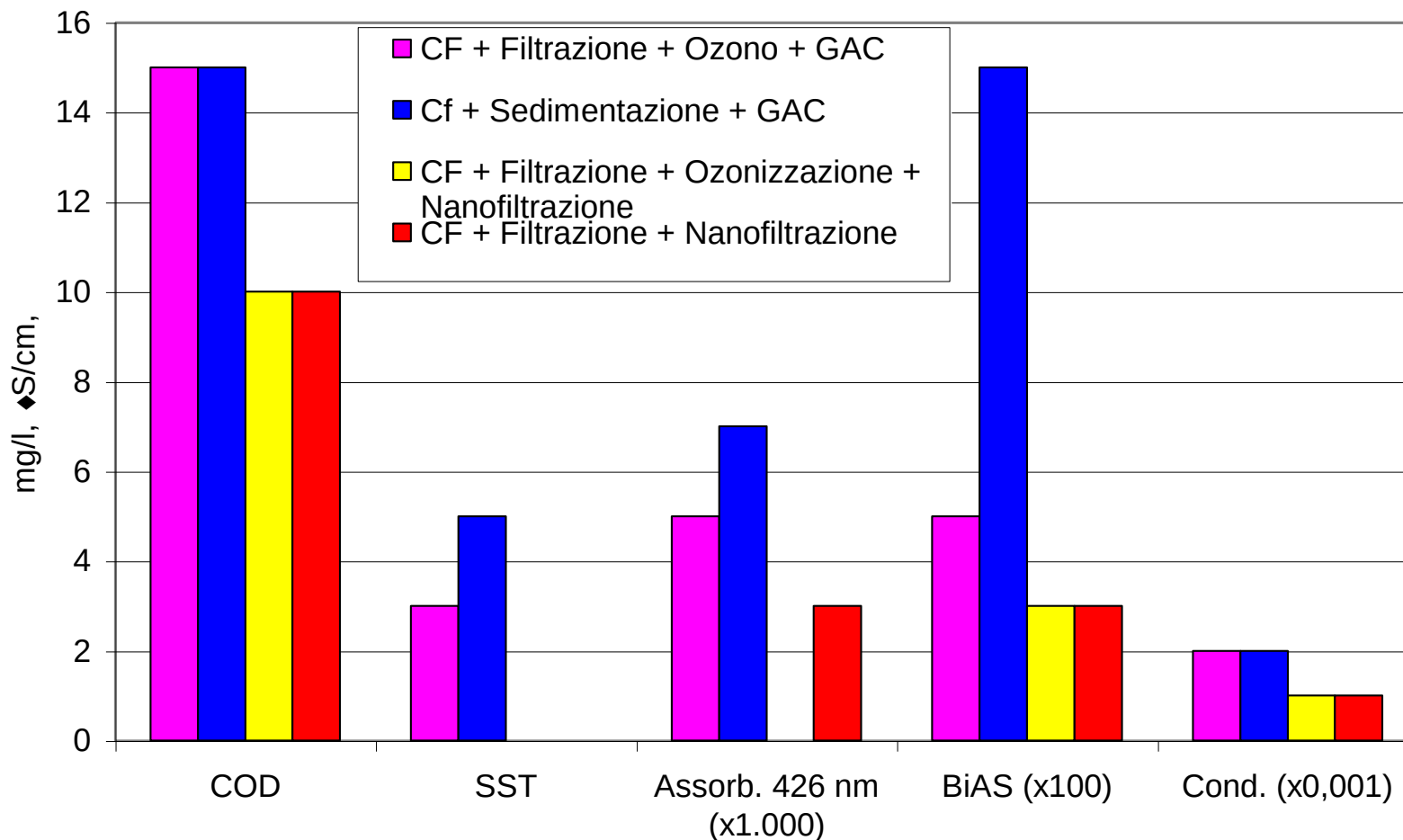
Ossidazione (O₃)

Tecnologie innovative

Membrane reattive
AOP (TiO₂)
Grafene
Adsorbenti/resine nanostrutturati
.....



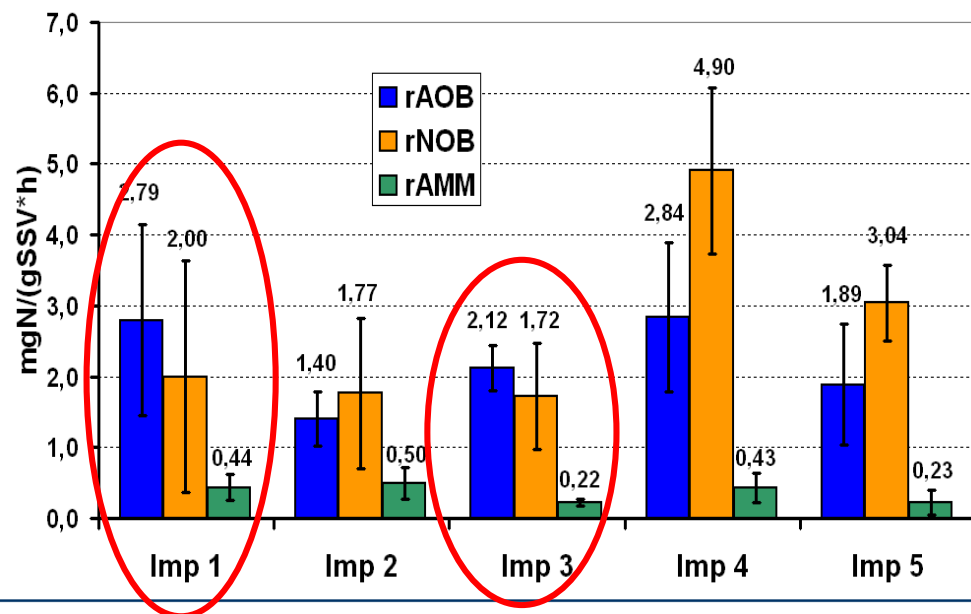
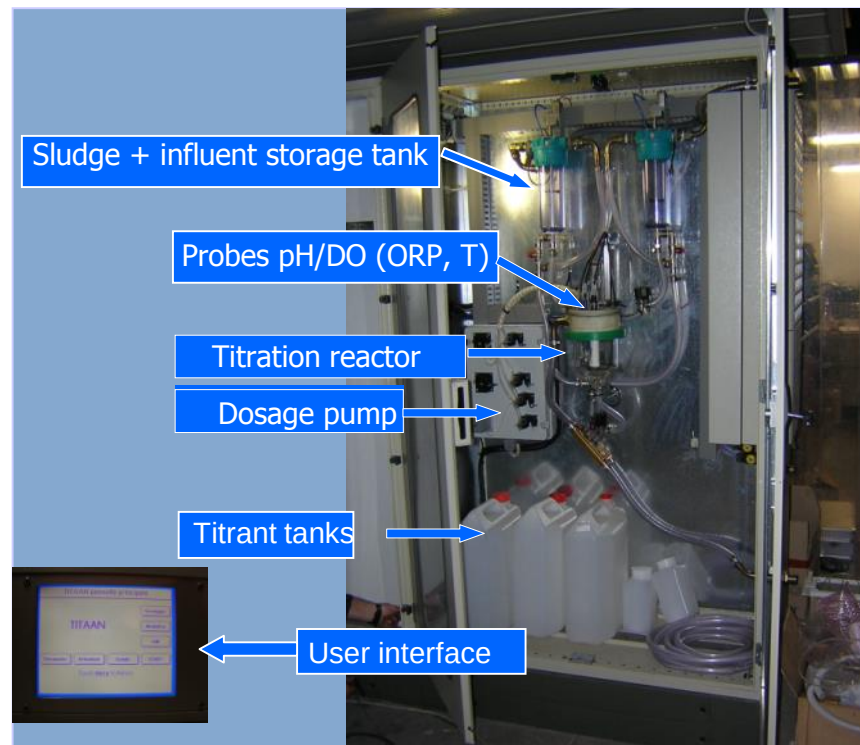
Chemical-physical post treatment: effluent concentrations





Lab Titrimeter (MARTINA)

Full scale automated machine (TITAAN)



$r_{AOB} - \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ rate
 $r_{NOB} - \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ rate
 $r_{AMM} - \text{Org-N} \rightarrow \text{NH}_4^+$ rate



3 vessels

Gravel layers:

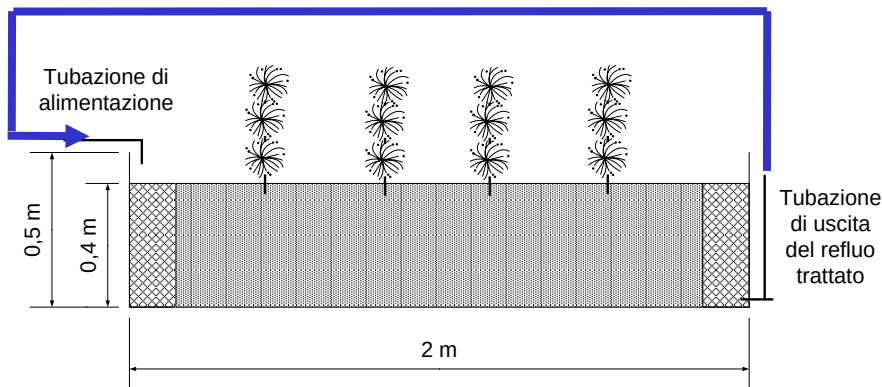
$$\varnothing_{\text{in/out}} = 4 \text{ cm}$$

$$\varnothing_{\text{intermediate}} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Bed porosity} = 0,38$$

2 HPS 400 W Lamps

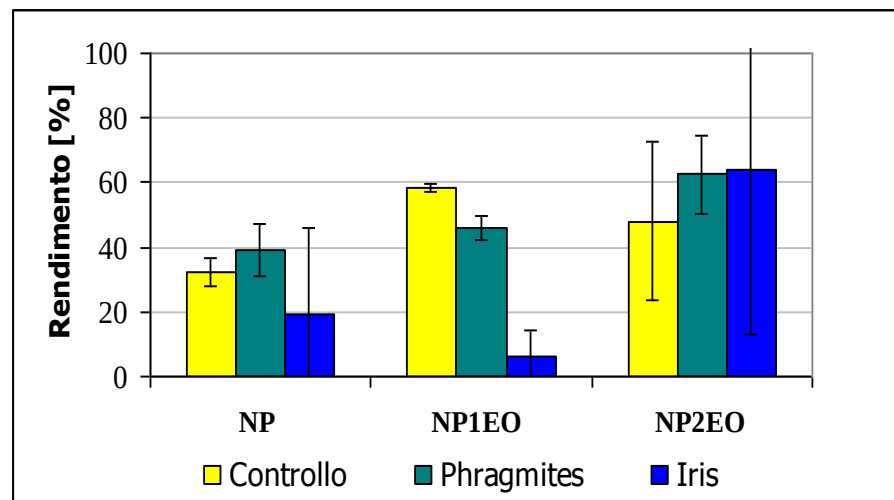
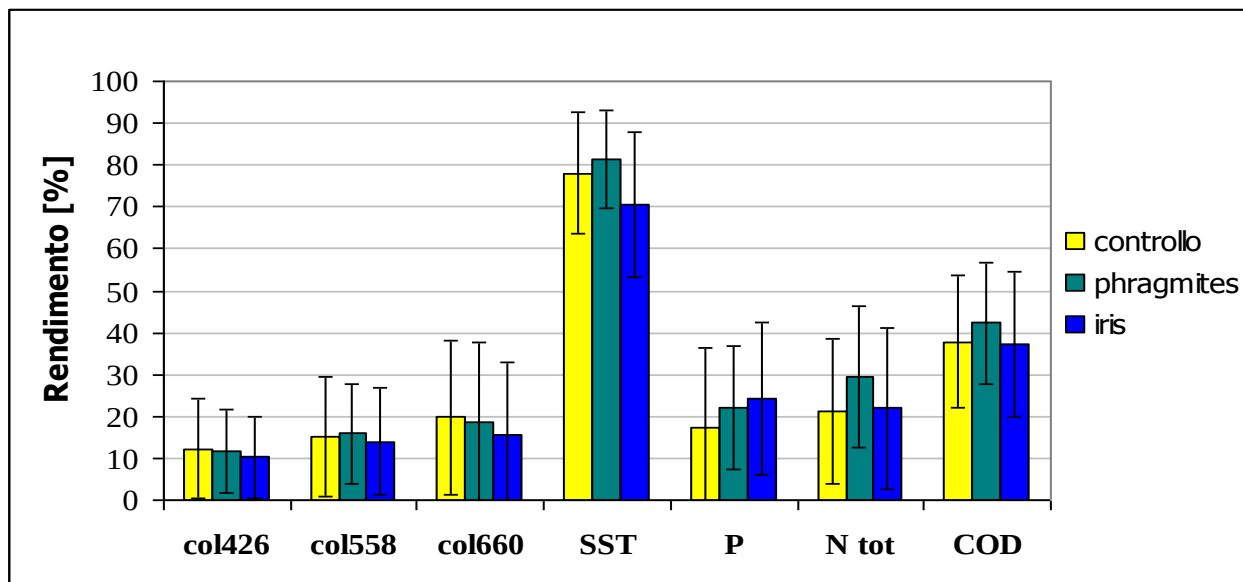
3 storage tanks (50 L) and 3 peristaltic pumps for effluent recycle





Wetland – HRT = 2 d Removal efficiency

23/53

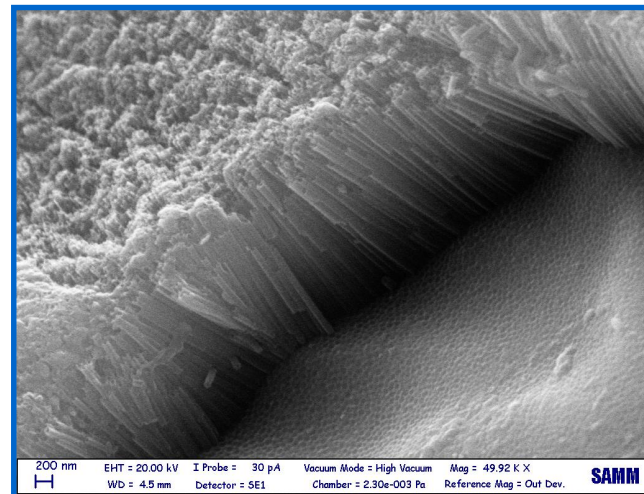




Color removal from dyeing wastewater:

1) AOP (H_2O_2 /UV)

2) Heterogeneous electro-photocatalysis based on nanostructured TiO_2



Disinfection through peracetic acid and UV rays

Feasibility study of newly conceived ion-exchange resins (**hydrogels**)



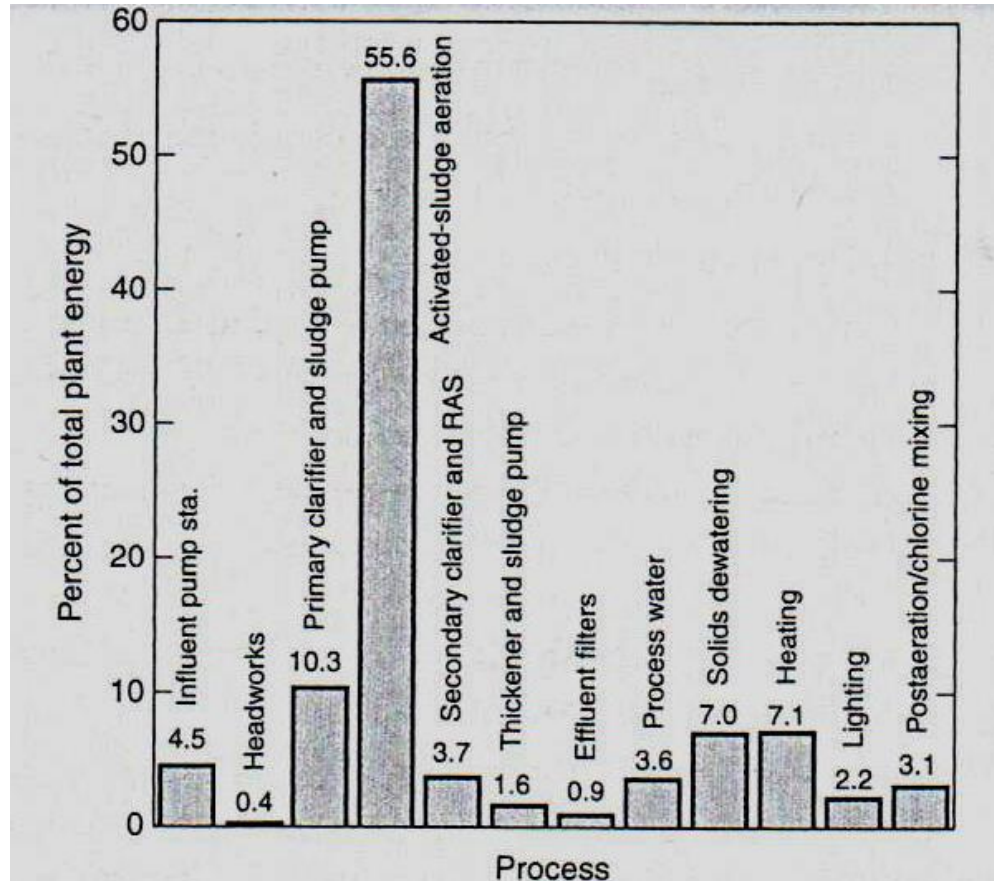


Consumo energetico medio depurazione in Italia*

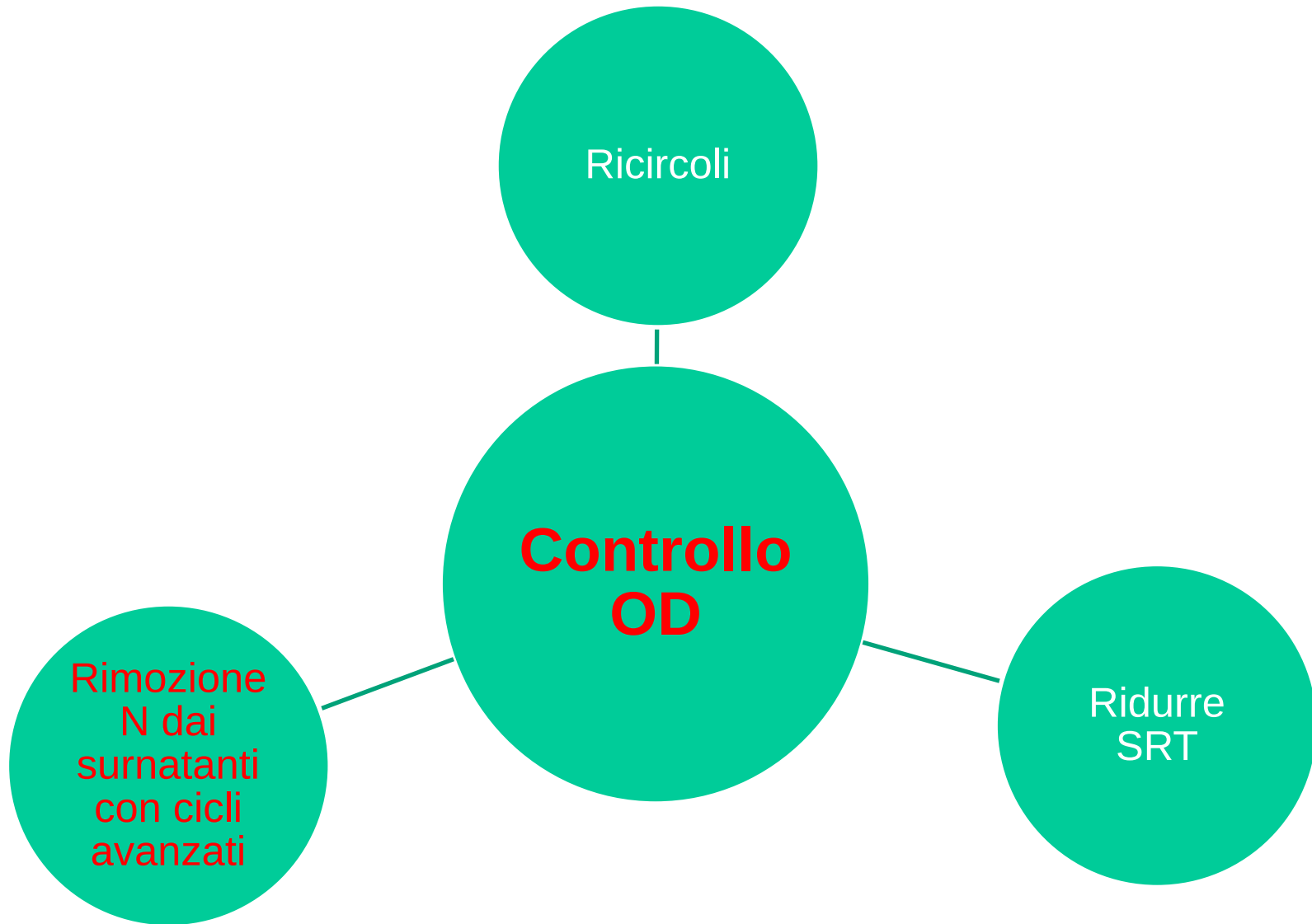
- 10 - 40 kWh/anno/AE, con digestione anaerobica fanghi
- 40 - 70 kWh/anno/AE, con digestione aerobica fanghi
- 0,3 – 0,7 kWh/m³

- $1,0 \pm 0,6$ kWh/kgCOD rimosso (> 100.000 AE)
- $1,7 \pm 0,9$ kWh/kgCOD rimosso (10.000 – 100.000 AE)
- $2,0 \pm 1,0$ kWh/kgCOD rimosso (2.000 – 10.000 AE)
- $3,7 \pm 2,6$ kWh/kgCOD rimosso (< 2.000 AE)

* Consumi elettrici ed efficienza energetica nel trattamento delle acque reflue.
A cura di Campanelli, Foladori, Vaccari, 2013, Maggioli Ed.

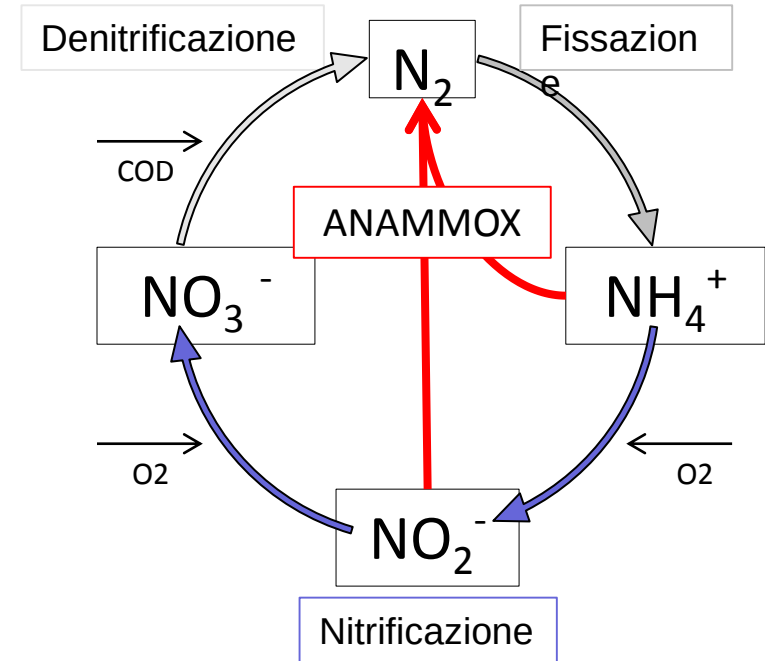


Metcalf & Eddy, 2014 V ed.

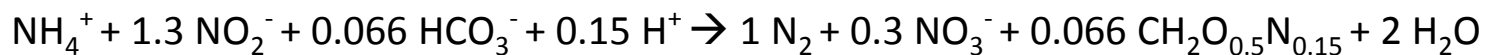




- Processo autotrofo anaerobico;
- Conversione di ammonio (NH_4^+) e nitrito (NO_2^-) ad azoto molecolare (N_2);
- “Scorciatoia” nel naturale ciclo dell'azoto;
- Ideale per il trattamento di reflui con un basso rapporto COD/N;
- Valida alternativa al tradizionale processo di nitrificazione e denitrificazione.



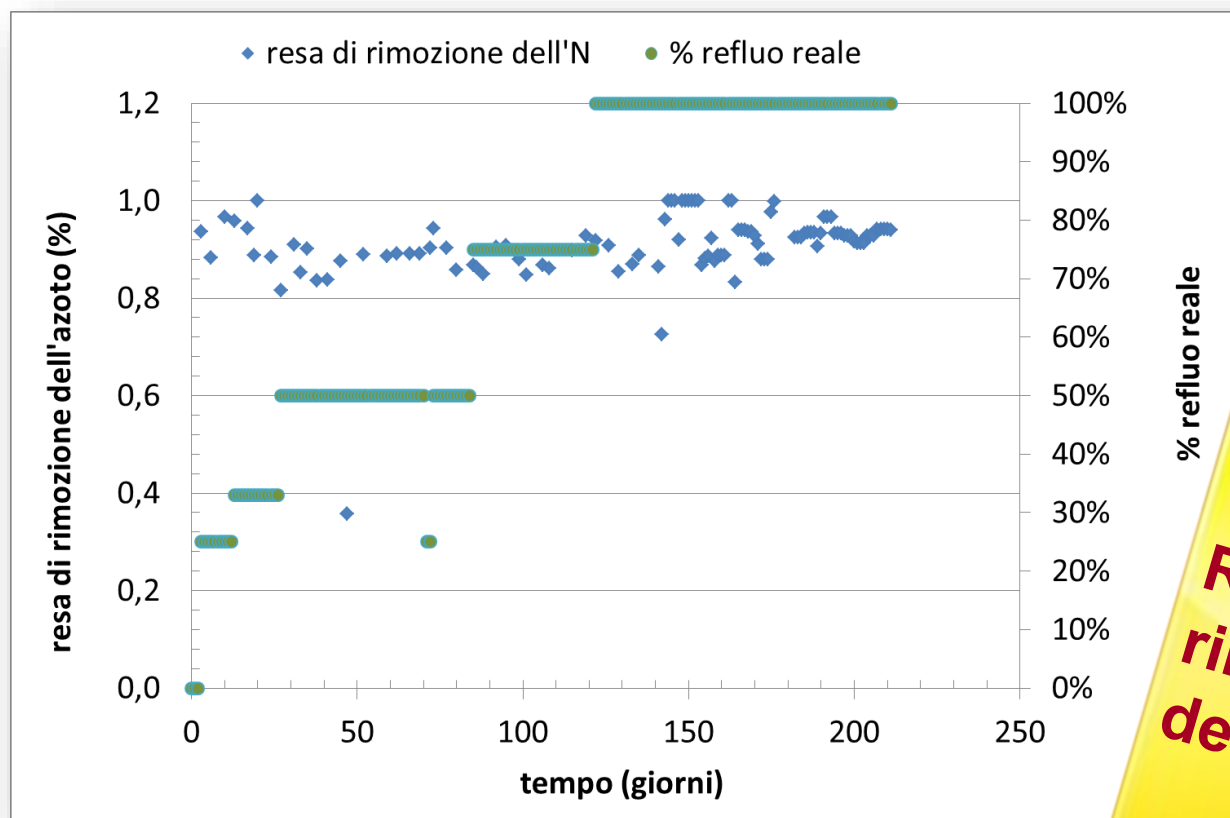
Reazione Anammox:





ANAMMOX: Il reattore@lab

Resa di rimozione dell'Azoto







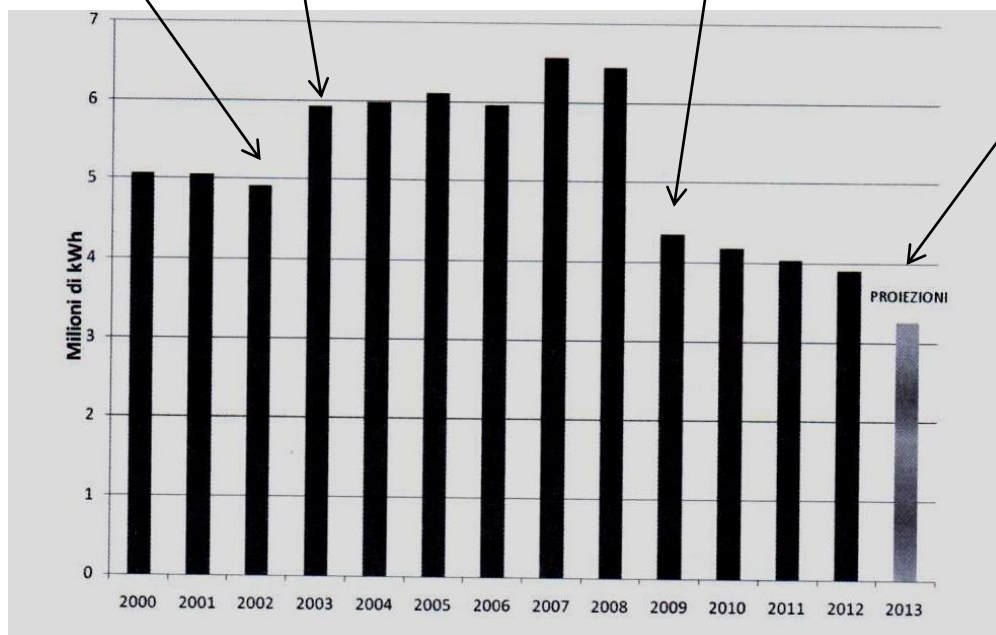
Impianto Cremona (180.000 AE)

2 linee, aeratori sommersi auto-aspiranti

+ 1 linea, con aeratori sommersi e compressore

Sostituzione in 2 linee autoaspiranti con diffusori bolle fini

Diffusori bolle fini in III linea



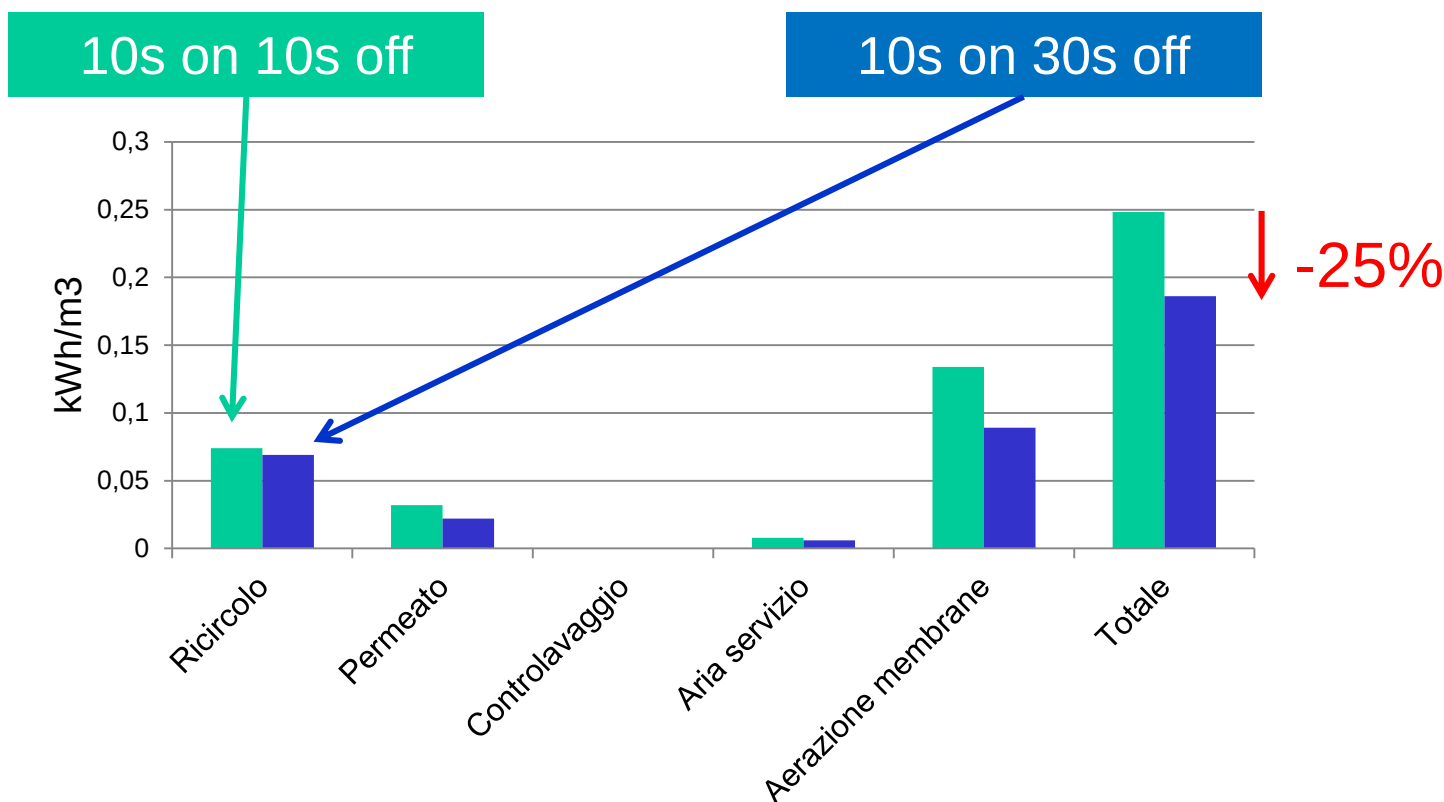
315 kW

135 kW



Impianto Brescia (linea MBR, 42.000 m³/d)

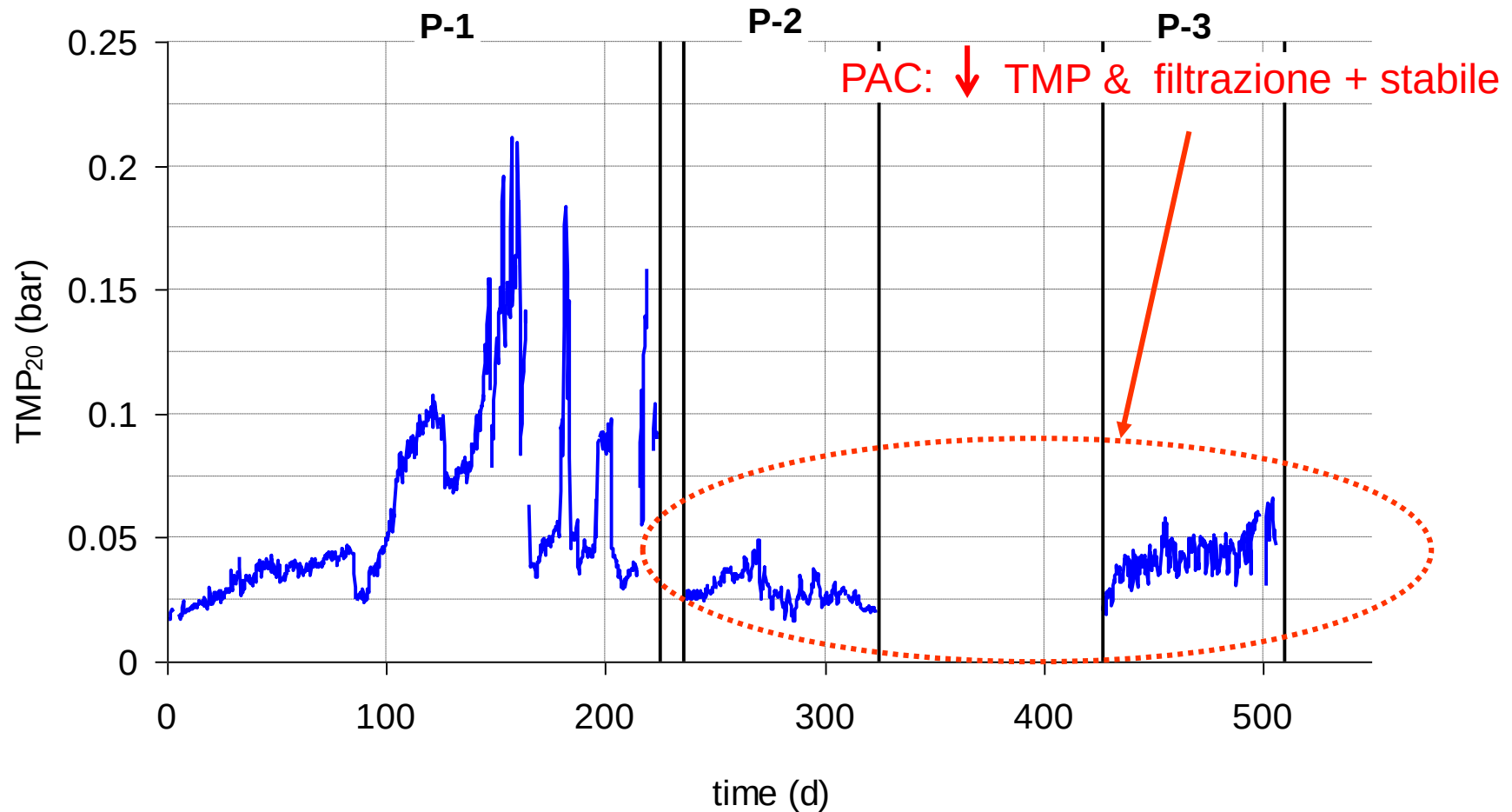
Consumi comparto membrane





MBR pilota: riduzione fouling con dosaggio PACI

33/53



Teli et al. (2012)



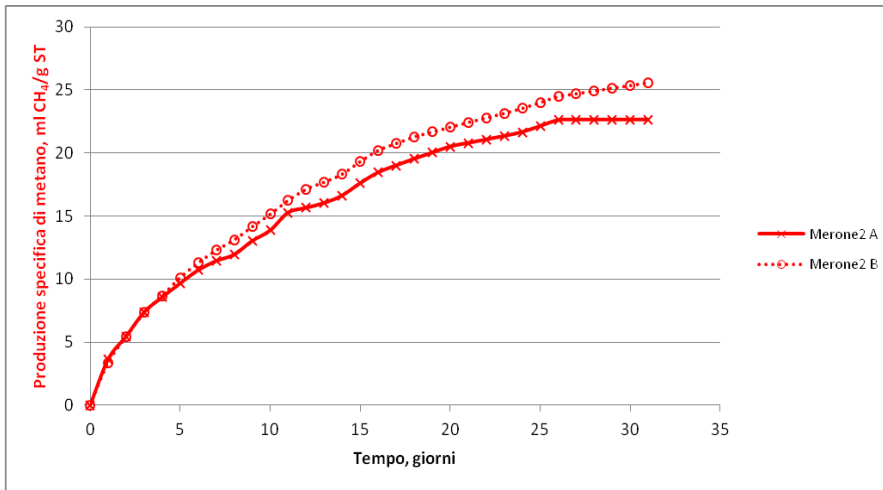
Recuperare energia – Depurazione municipale

- sfruttare appieno il **potenziale di produzione biogas dei fanghi** (BMP), mediante **ispessimento**, **riduzione SRT** (se possibile), **pretrattamenti**
- sfruttare appieno **la capacità di digestori fanghi sottocaricati**, integrando con sottoprodotti e altre matrici;
- sfruttare il **carico idrostatico** dell'effluente per produrre energia idroelettrica (ID Folgaria: $Q_{\max} = 50 \text{ L/s}$, $\Delta H = 263 \text{ m}$, $P_{\max \text{ utile}} = 40 \text{ kW}$; Metcalf&Eddy: $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta H = 7 \text{ m}$, $P_{\text{utile}} = 253 \text{ kW}$)
- sfruttamento **energia termica a bassa ° T dell'effluente** per alimentare pompe di calore acqua-acqua ($Q = 1 \text{ m}^3/\text{min}$, $\Delta T = 4 \text{ ° C}$ forniscono $\approx 300 \text{ kW}$ di potenza termica estraibile dall'acqua)



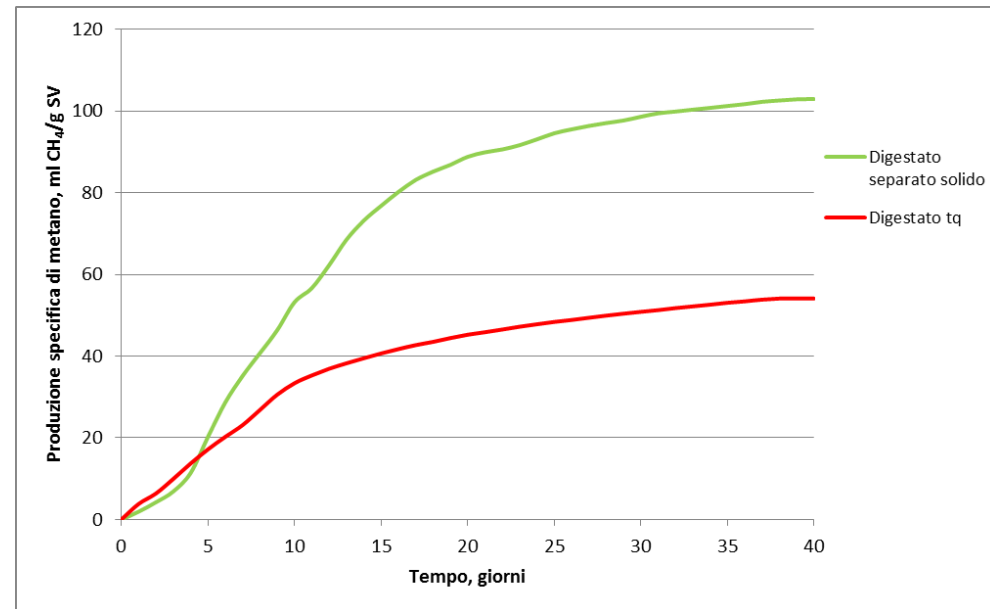
Si sta sfruttando appieno il potenziale produzione biogas ? La risposta è fornita dal BMP residuo

35/53



BMP residuo molto basso =
digestione già completa

BMP residuo alto =
digestione da ottimizzare





✓ $SST_{OUT\ max} \sim 33,5\ g/l$



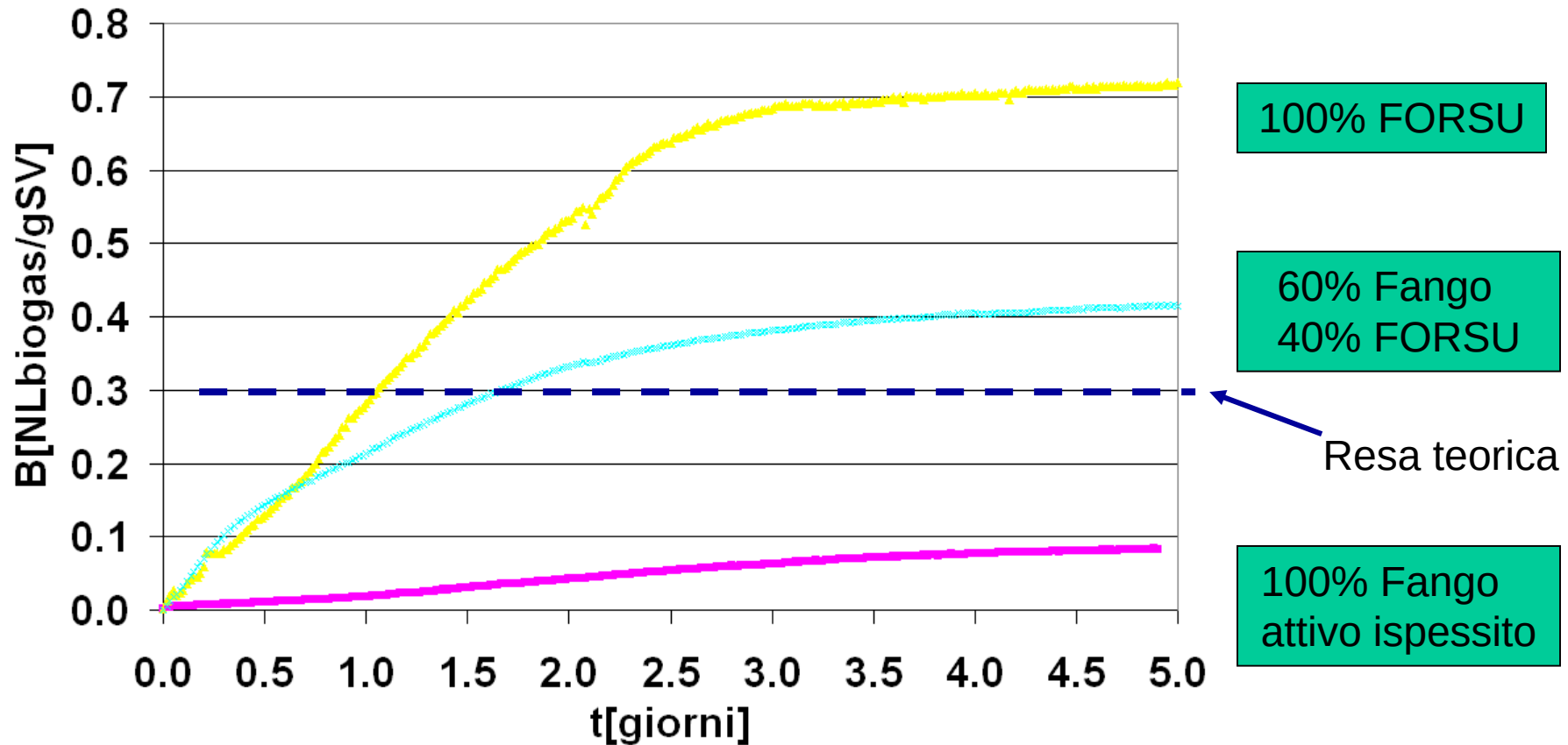
✓ $SST_{OUT\ max} \sim 57,0\ g/l$



BENEFICI OTTENUTI CON L'INTRODUZIONE DELL'ISPESS. DINAMICO

- ✓ $Q_{\text{FANGO TRATT}} \sim 700 \div 800 \text{ m}^3/\text{d}$ 
- ✓ Diminuzione del letto di fango nei sedimentatori (OBIETTIVO INIZIALE DEL GESTORE)
- ✓ Aumento quantità SSV abbattuti (a parità di portata alimentata)
 - da 710 kgSSV/d (media GENN-OTT 2006)
 - a 1859 kgSSV/d (media NOV-DIC 2006) } + 61,8%

- ✓ Aumento QUANTITA' e QUALITA' del gas biologico
 - da 500 m³/d (media GENN-OTT 2006)
 - a 1300 m³/d (media NOV-DIC 2006) } + 61,5%

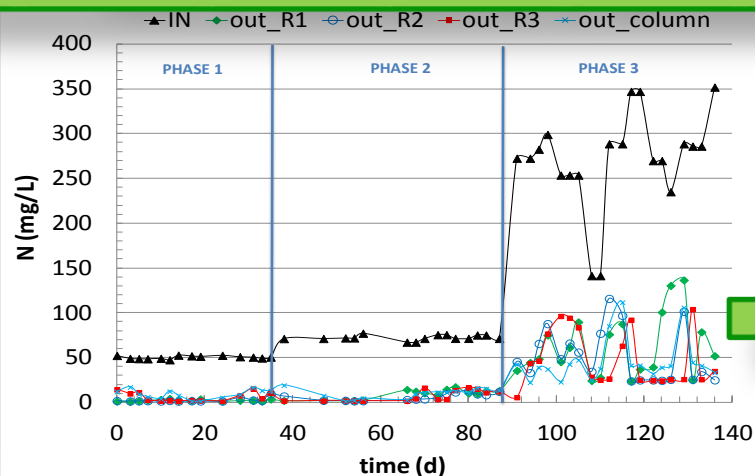


Aumento produzione specifica di biogas passando a codigestione con FORSU



Integrazione microalghe

Test di coltivazione in semicontinuo



**Rimozione
dell'azoto 80-90%**

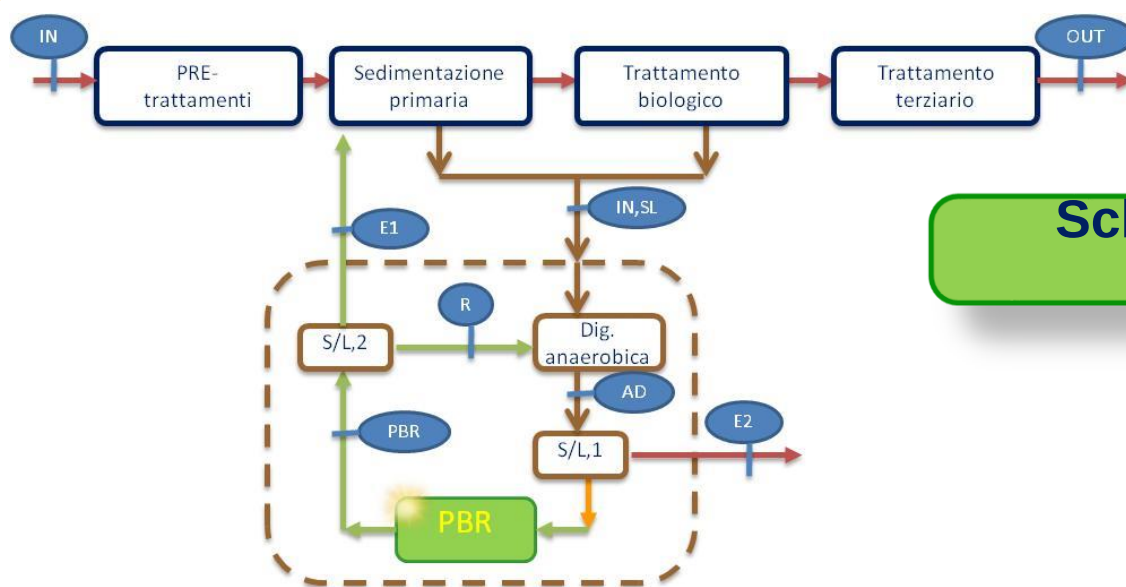
Test di digestione anaerobica in batch (BMP)



- **BMP = 284-335 mL CH₄/g VS**
- **Simile a fanghi primari o misti**

Ficara et al., (2014)





Schema considerato

Ipotesi di calcolo

- Carico di N in ingresso all'impianto (sezione IN) = 12 g N/ab/d
- Frazione dell'N entrante inviata alla linea acque = 15%
- Carico di SS inviati alla linea fanghi = 70 g SS/ab/d
- Resa di idrolisi dei SS in dig. anaerobica = 80%

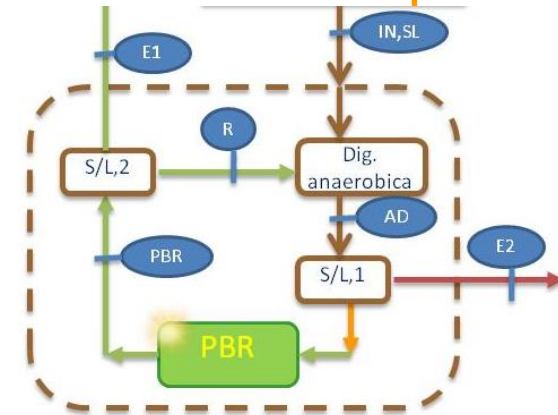
Assunzioni

- Resa di rimozione dell'N nel PBR = 80% (da validare sperimentalmente)
- Resa di metanizzazione μ alghe = 60% (da validare sperimentalmente)
- Frazione di N presente nella biomassa algale = 11% del peso secco.
- Resa di separazione S/L = 100%.



Risultati: Bilanci di massa

Sezioni	Carico di azoto ($\text{g AE}^{-1} \text{d}^{-1}$)			Carico SS ($\text{gSS AE}^{-1} \text{d}^{-1}$)
	totale	Solubile	particolato	
IN	12	0	0	
IN,SL	1.8	0	1.8	70
AD	3.5	2.1	1.4	85
IN PBR	2.1	2.1	0	0
OUT PBR	2.1	0.4	1.7	15
E1	1.4	1.4	0	0
E2	0.4	0	0.4	34



Risultati: Bilancio energetico

- Produzione energetica di base della DA = **31 Wh $\text{AE}^{-1} \text{d}^{-1}$** ,
- Extra da DA microalghe = **15 Wh $\text{AE}^{-1} \text{d}^{-1}$** (+48% su DA)
- Risparmio per riduzione carico N a linea acque = **3 Wh $\text{AE}^{-1} \text{d}^{-1}$**
- Complessivamente: **+ 18 Wh $\text{AE}^{-1} \text{d}^{-1}$**

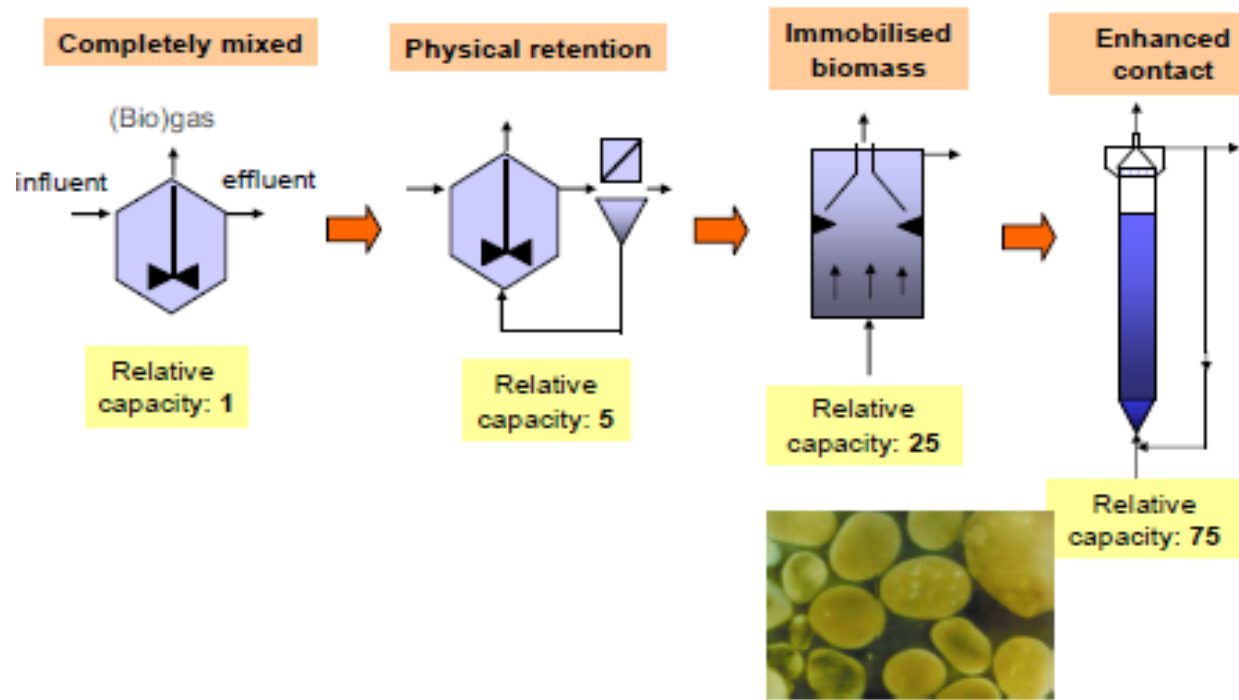


Recuperare energia: Digestione anaerobica di scarichi industriali

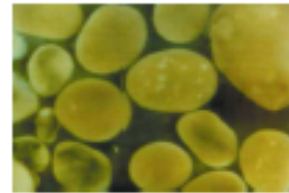
Caratteristiche dello scarico	Vantaggi
Elevata concentrazione di inquinanti organici di buona biodegradabilità.	Favorevole bilancio energetico (rispetto aerobico) a partire da 2 – 3 gCOD/L (per reflui caldi); alti carichi volumetrici applicabili, reattori compatti
Stagionalità dello scarico, ad esempio legata a cicli agricoli (cantine vinicole, zuccherifici, industrie conserviere, etc)	Possibilità di mantenere i reattori in stato di quiescenza, con brevi periodi di messa a regime (bassa k_d)
Scarsa disponibilità di elementi nutritivi (azoto e fosforo)	Contenimento delle addizioni esterne, in conseguenza della limitatezza dei fabbisogni sintetici.
Elevate concentrazioni di composti organici volatili (solventi, vernici, acidi organici volatili)	Mancato rilascio in atmosfera per l'assenza di stripping dovuto all'aerazione e per l'impiego di reattori chiusi
Presenza xenobiotici tossici e aerobici (ammine aromatiche, solventi clorurati, ..)	Biodegradazione parziale o totale



Reattori ad alto carico vs. CSTR: aumento relativa della capacità trattamento (da Spanjers, Lettinga Foundation)



MBR
anaerobici



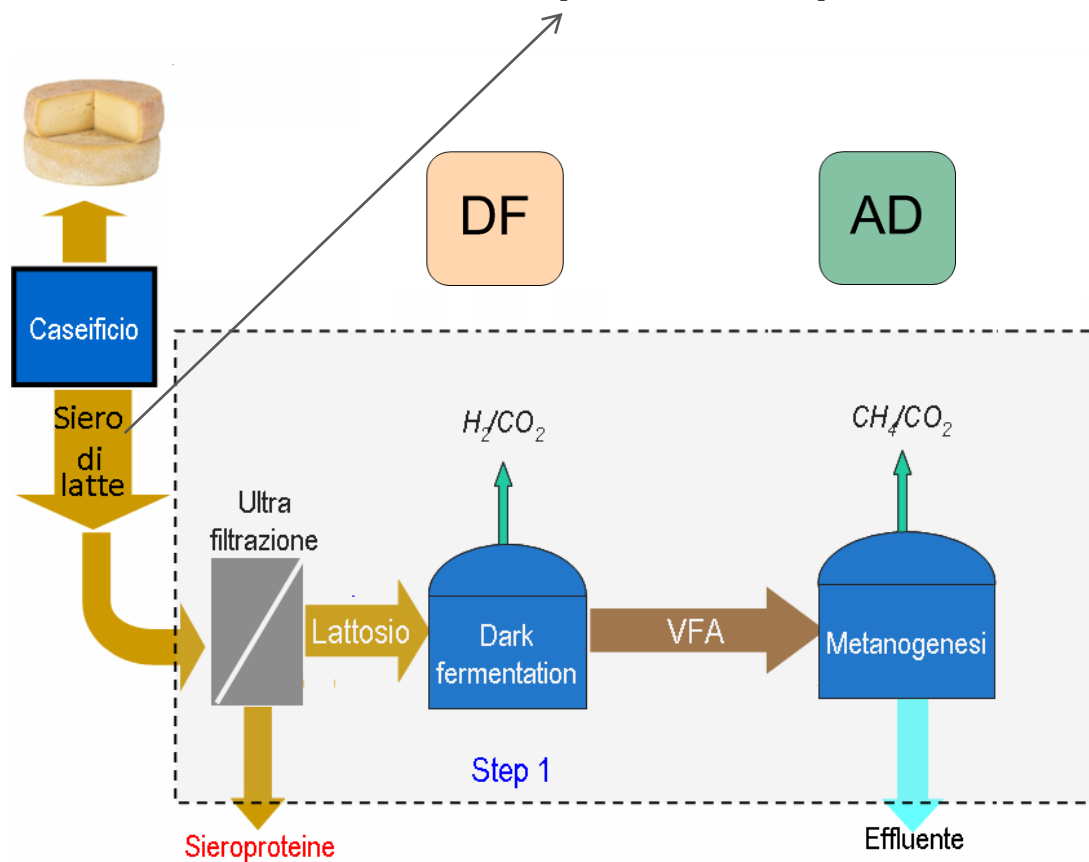


Il progetto di ricerca ECO-SI

Partner

Seam
PoliMI
Plac
Septra (*)
Simar
UniCatt
INT

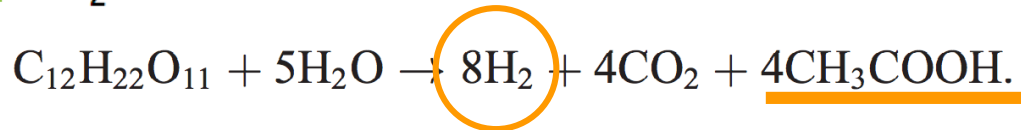
Produzione nazionale:
6.000.000 t/a. (ANPA 2008)



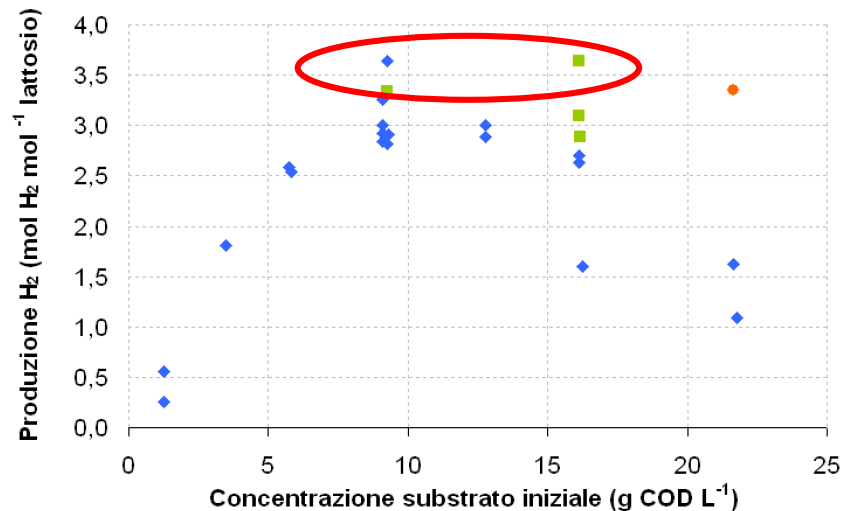
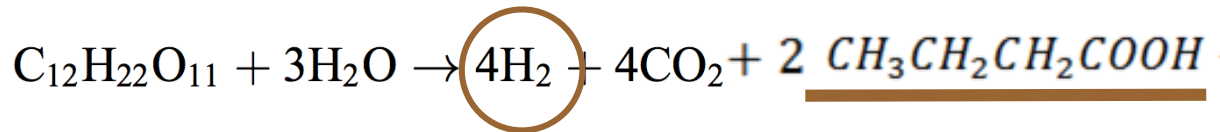
finanziato da **Regione Lombardia – MIUR**



■ $P_{H_2} < 60 \text{ Pa}$ → acetic acid

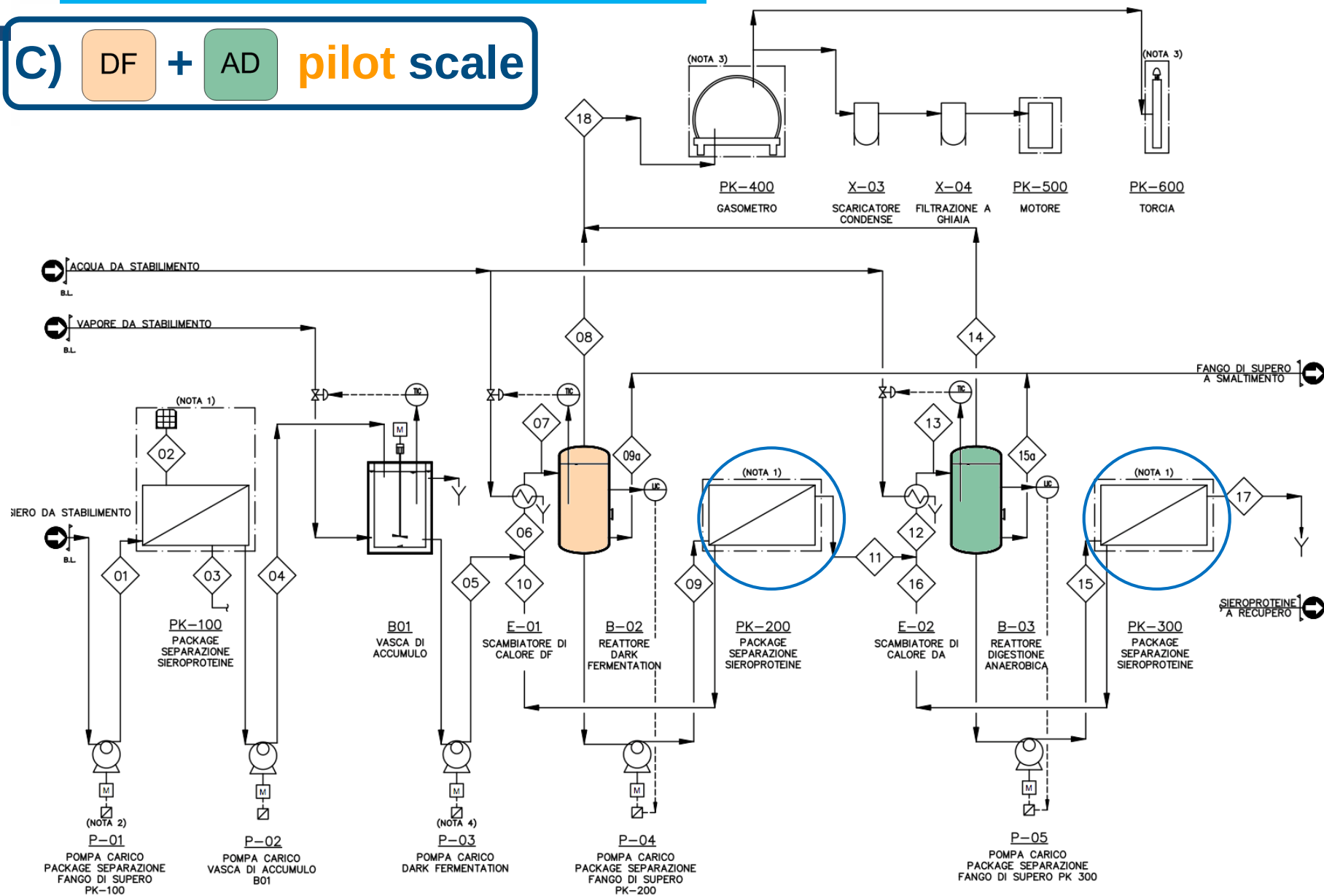


■ $P_{H_2} > 60 \text{ Pa}$ → butyric acid





C) DF + AD pilot scale

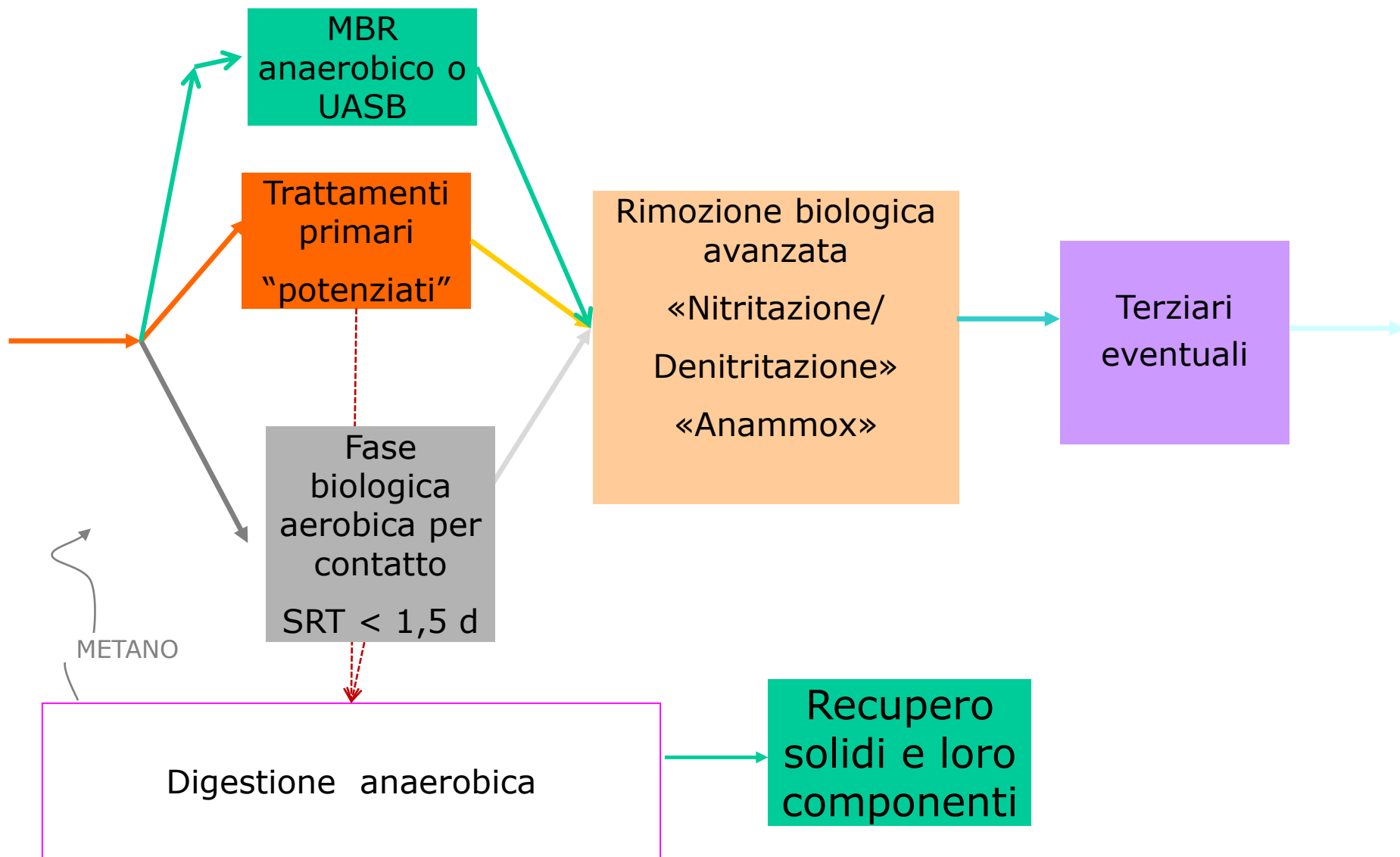






Il depuratore di un futuro (vicino o lontano ?)..

52/53





Il depuratore di un futuro (vicino o lontano ?)..

53/53

Net energy consumption for 3 WWTP variants

- Case A: Conventional treatment
- Case B: Conventional treatment with anammox in the side-stream
- Case C: Optimized treatment with anammox in the main-stream

Oxygen and Energy need	Mass Flux ($\text{g p}^{-1} \text{d}^{-1}$)			Energy ($\text{Wh p}^{-1} \text{d}^{-1}$)		
	Case A	Case B	Case C	Case A	Case B	Case C
Aeration for COD removal	40	30	15	- 40	- 30	- 15
Aeration for Nitrogen removal ^b	22	22	16	- 22	- 22	- 16
Pumping/Mixing energy				- 20	- 20	- 15 ^a
Methane-COD and electrical energy production from biogas	30	40	55	+ 38	+ 51	+70
Net Energy				- 44	- 21	+ 24

^a Lower because of absence of recirculation flows

^b Nitrate effluent for cases A and B: $2.5 \text{ g p}^{-1} \text{d}^{-1}$; for case C: $1.1 \text{ g p}^{-1} \text{d}^{-1}$

Reference

H. Siegrist, D. Salzgeber, J. Eugster, A. Joss, *Water Sci. Technol.* **57**, 383 (2008).



Grazie per l'attenzione

Domande?

francesca.malpei@polimi.it

www.fabbricabioenergia.polimi.it/

www.progettobrain.it/