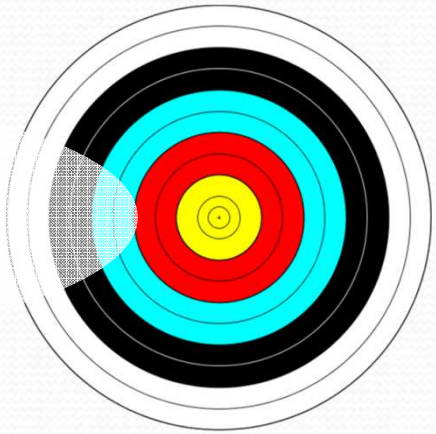
Gli impianti di depurazione di domani

Cambiamento nella visione
degli impianti di depurazione :

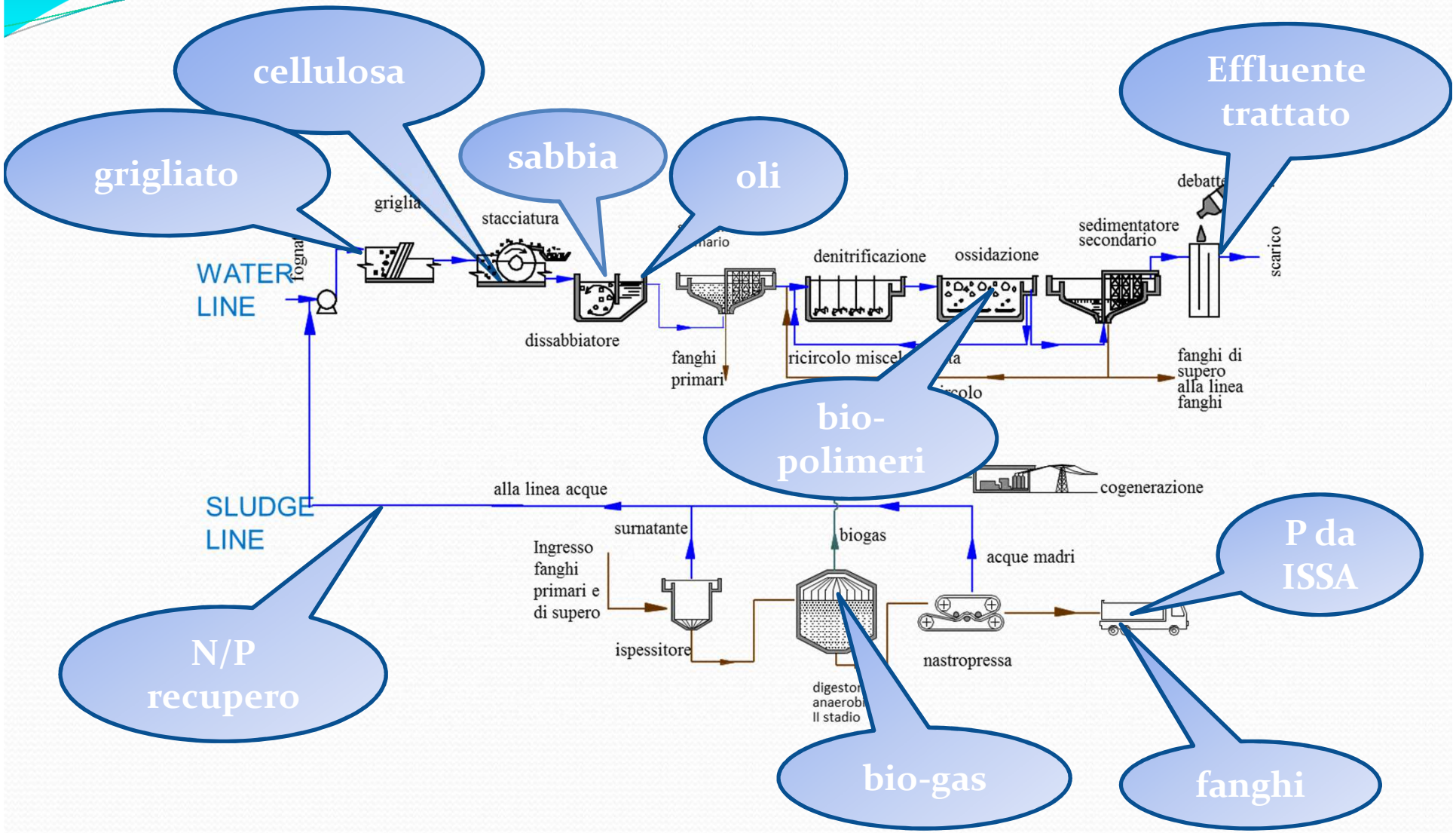
→ da sistemi “end-of-pipe” …

→ a produttori di risorse (**energia** + **materia**)

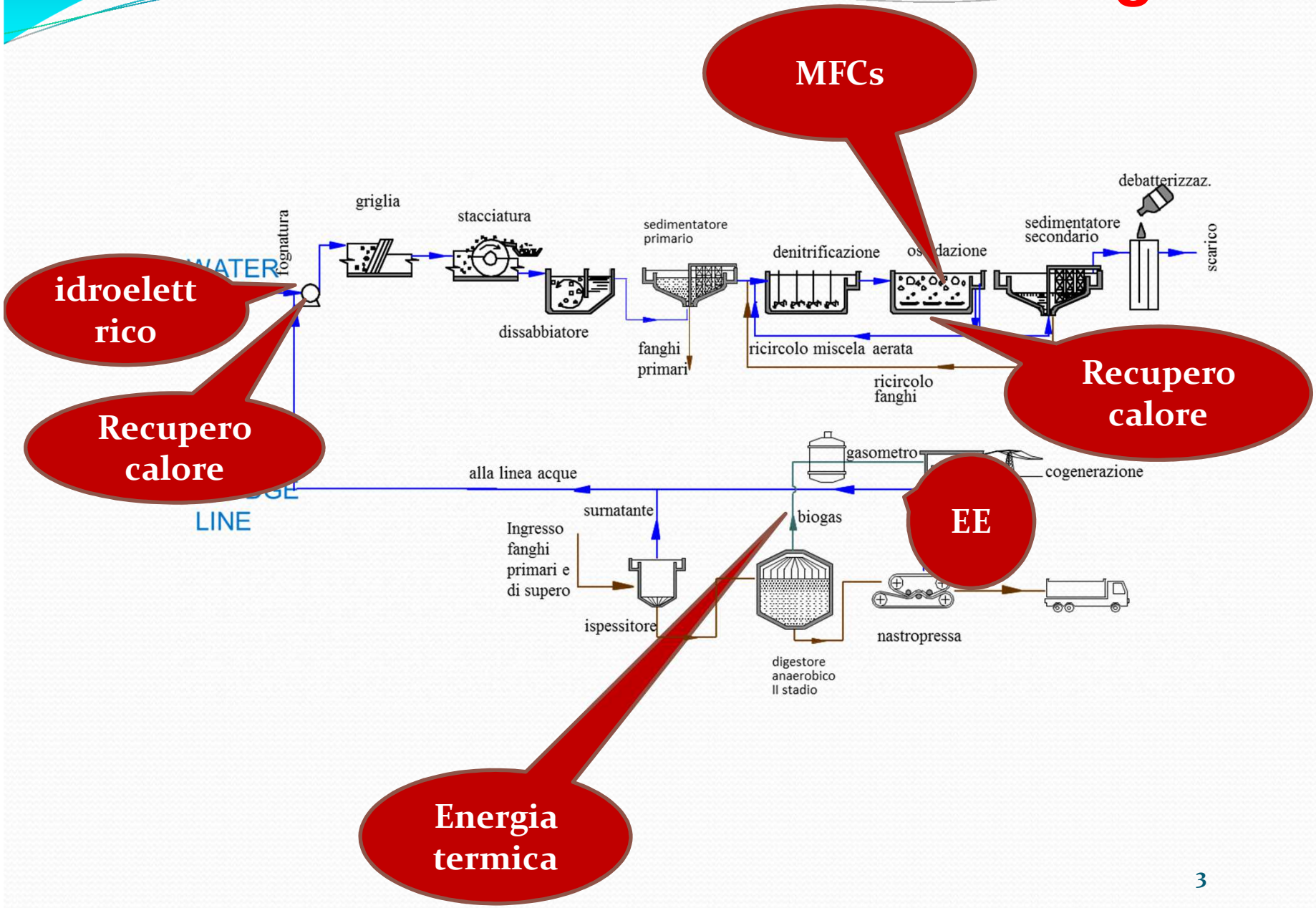
Sostenibilità ambientale!



OPZIONI DI RECUPERI: materia



OPZIONI DI RECUPERI: energia



Recuperi del FUTURO VICINO

- Separazione di **fibre di cellulosa**
- Produzione di **biopolimeri** dai fanghi
- Recupero di materia dalle **scorie da incenerimento dei fanghi**
- Produzione di energia elettrica con **Microbial Fuel Cells**

Recuperi del FUTURO LONTANO

- Recupero di **metalli nobili** dall'effluente, come ad esempio il recupero del palladio attraverso resine a scambio ionico o materiali adsorbenti

- Recupero di **ammoniaca** attraverso adsorbimento su zeolite

- Produzione di **lipidi** durante la digestione anaerobica del fango attraverso l'uso di lieviti

- Produzione di **microalghe** dal surnatante della digestione anaerobica

MOLTE opzioni innovative di recupero di risorse in WWTPs

Difficile prevedere quali tra queste applicazioni troverà effettivamente realizzazione, molti fattori ne influenzano il successo:

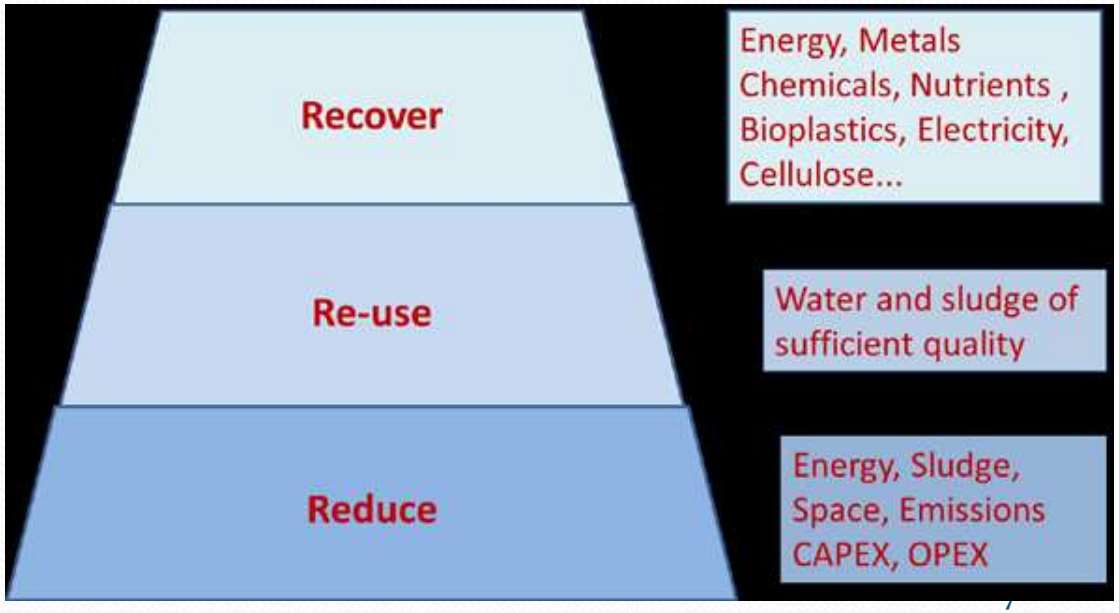
→ **fattibilità tecnica** (e.g. fibre cellulosa)

→ specifici **mercati** per il prodotto di recupero
→ **costi** evitati grazie all'implementazione del recupero (e.g. P dalle ISSA)

→ **spinte legislative** (e.g. bioplastiche)

… il concetto di impianto di depurazione come "**biorefinery**" è alle porte!

… approccio "**3R**" per la sostenibilità ambientale!



INDAGINE ITALIANA

Questionario sulle tipologie di recuperi applicati:

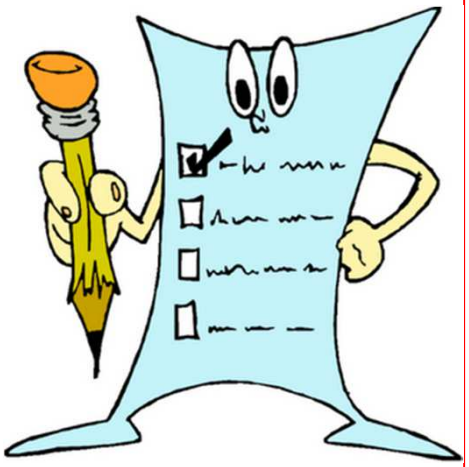
Suddivisione per step di trattamento:

1. **Pre-trattamenti / trattamenti primari**
2. **Trattamenti biologici**
3. **Trattamento fanghi**

e:

a) Recupero di **materia**

b) Recupero di **energia**



→ Sono state proposte più di 30 opzioni **(mature e innovative)** che hanno riguardato: grigliatura, dissabbiatura/disoleatura, chemicals, nutrienti, biopolimeri, effluente depurato, mat. Organico esterno, fanghi, biogas, calore ed elettricità

Questionario

notizie da più di **600 impianti**

Taglia	N°	A.E. TOTALI
Piccoli < 10,000 AE	457	932,455
Medi 10,000 - 100,000 AE	129	4,104,168
Grandi ≥ 100,000 AE	41	15,651,810
TOT	**627**	**20,688,433**

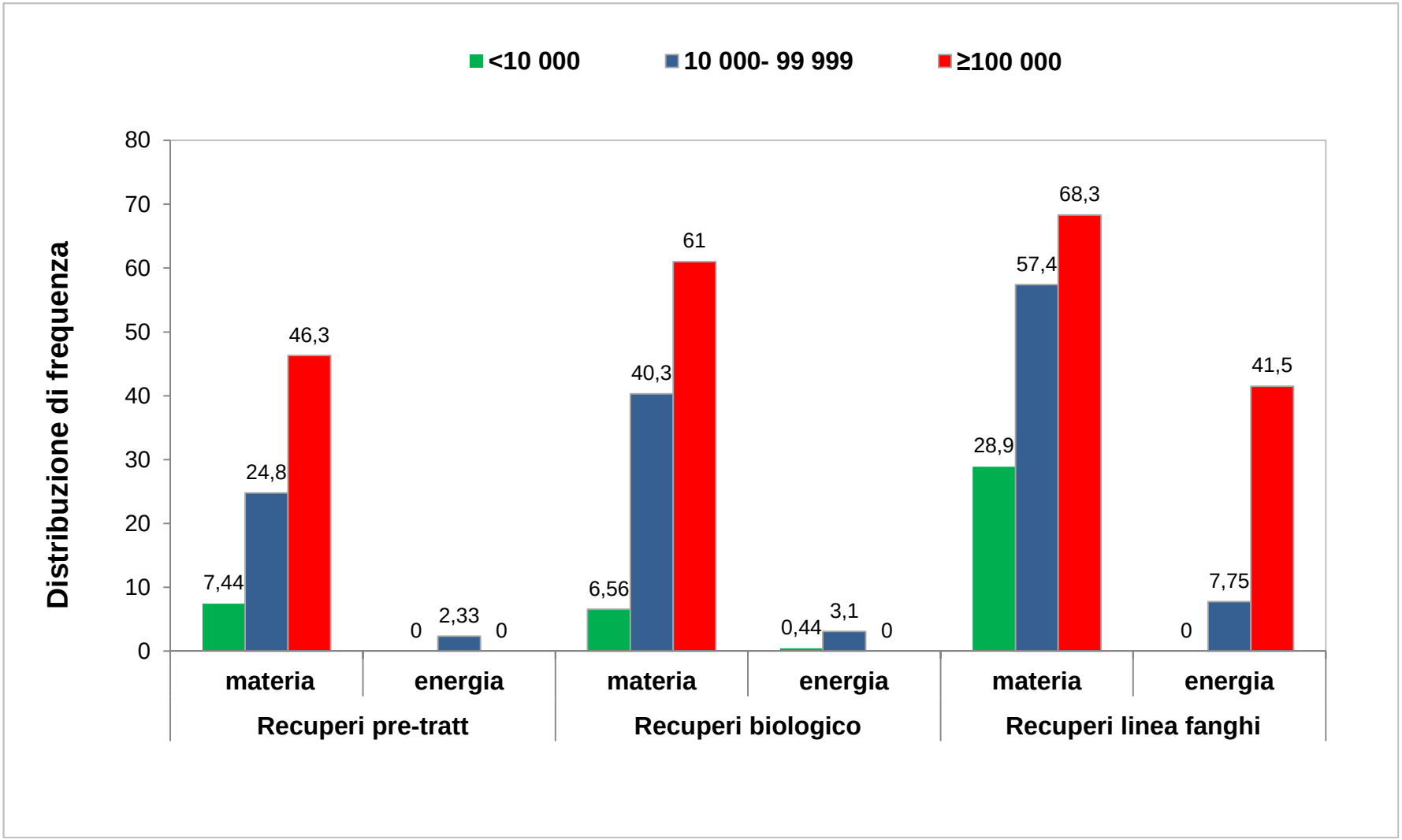
≈ 25% degli AE trattati in Italia (ISTAT, 2011)

Recupero di risorse: BASSO IMPATTO

→ **Poco meno della metà degli impianti applica almeno un tipo di recupero**

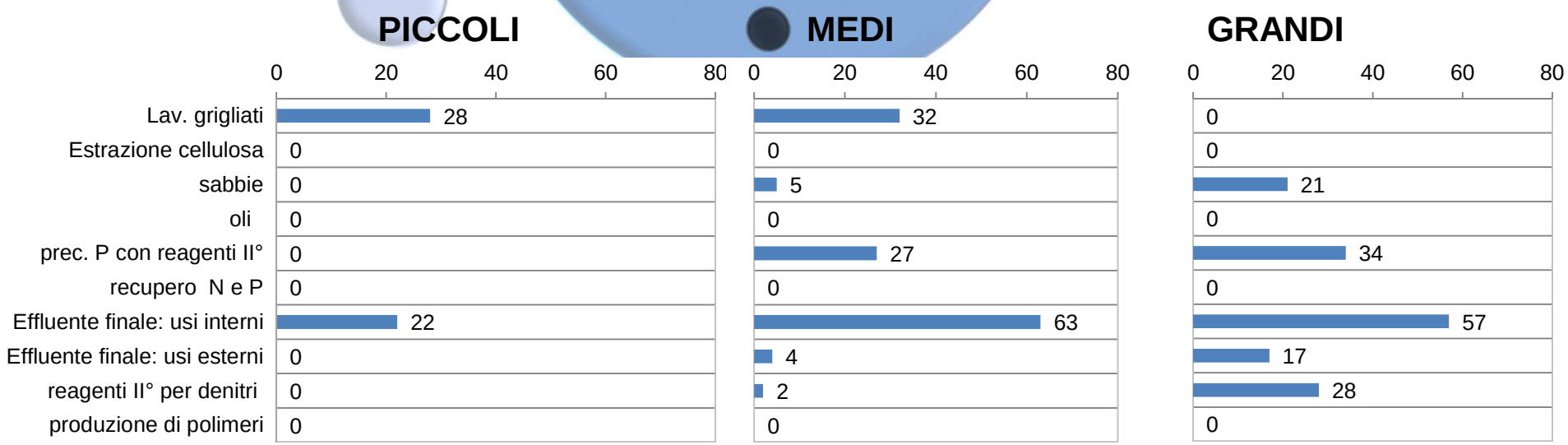
Taglia	**N°**	**%**
Piccoli < 10,000 AE	132	≈ 30%
Medi 10,000 - 100,000 AE	78	≈ 60%
Grandi ≥ 100,000 AE	35	≈ 85%
TOT	**245**	**≈ 40%**

La percentuale di recuperi applicati aumenta con la dimensione degli impianti


<10 000
10 000- 99 999
≥100 000
Distribuzione di frequenza
80
70
60
50
40
30
20
10
0
7,44
24,8
46,3
0
2,33
0
6,56
40,3
61
0,44
3,1
0
28,9
57,4
68,3
0
7,75
41,5
materia
energia
materia
energia
materia
energia
Recuperi pre-tratt
Recuperi biologico
Recuperi linea fanghi

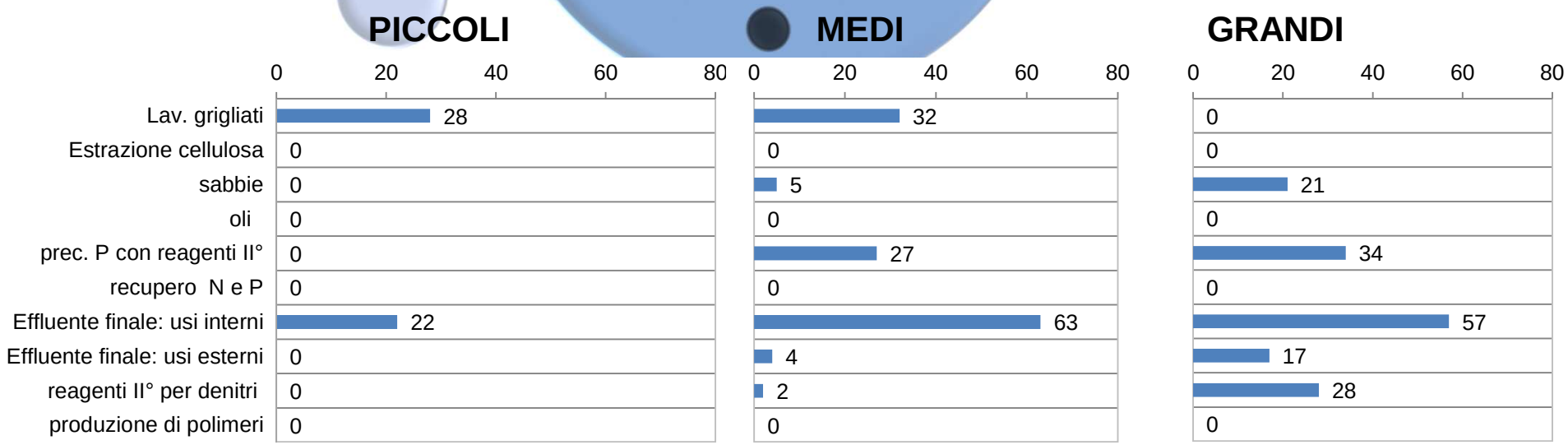
Recupero di materia nella linea acque:

- ↑ **Riuso** di effluenti depurati per applicazioni **interne** (≈ 20-65%):
  - sistemi interni di lavaggio
  - produzione di polielettrolita
- ↑ **Recupero di sost. Organica** (≈ 30%, solo su piccoli WWTPs)
- ↑ **Recupero sabbie** (≈ 5-20%), per applicazioni civili



Recupero di materia nella linea acque:

- ↓ Recupero di effluenti depurati per **usi esterni** (agricoltura o industria, ≈ 5-15%): barriere (legislative, sociali)
- ↓ **Recupero di nutrienti** come fertilizzanti (es. struvite), 0%: difficoltà di mercato per vendere questi prodotti
- ↓ Separazione di **fibre di cellulosa** (0%): tecnologia non ancora "matura"



Recupero di materia nella linea fanghi

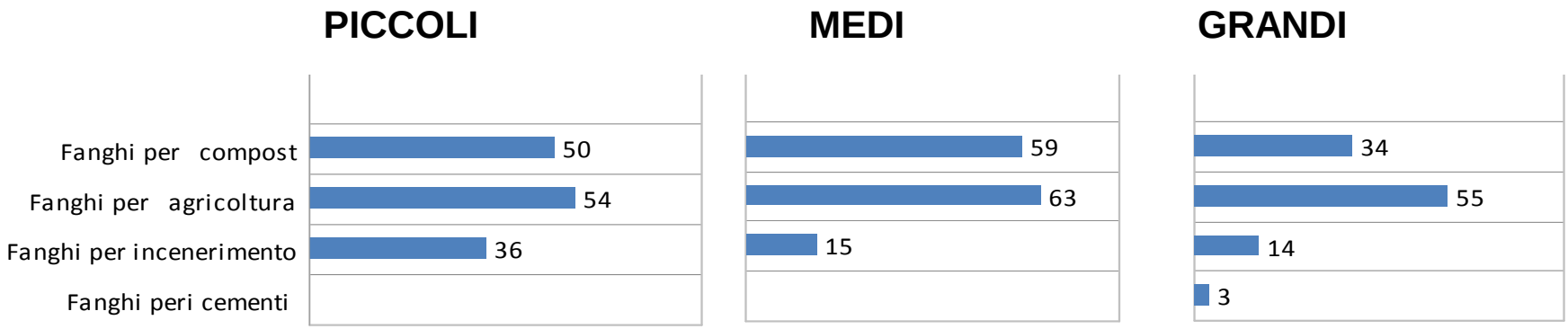
Il riutilizzo dei fanghi prodotti riguarda quasi tutti gli impianti che effettuano recuperi

→Diretto **spandimento in agricoltura** (≈ 50-60%)

→Indiretto per la produzione di **compost** (≈ 30-60%)

→Indiretto per **incenerimento** (≈ 15-35%)

→Indiretto per produzione di **cemento** (< 3%)



Recuperi energetici

Nella maggior parte sono sulla linea **fanghi**

→ Aumento dellla **produzione di biogas** (≈ 30%)

pre-trattamenti (es. ozonolisi)

co-digestione con FORSU o altro

Aumento del fango primaio

→ **Recupero calore**(≈ 10-30%)

raffreddamento fumi esausti

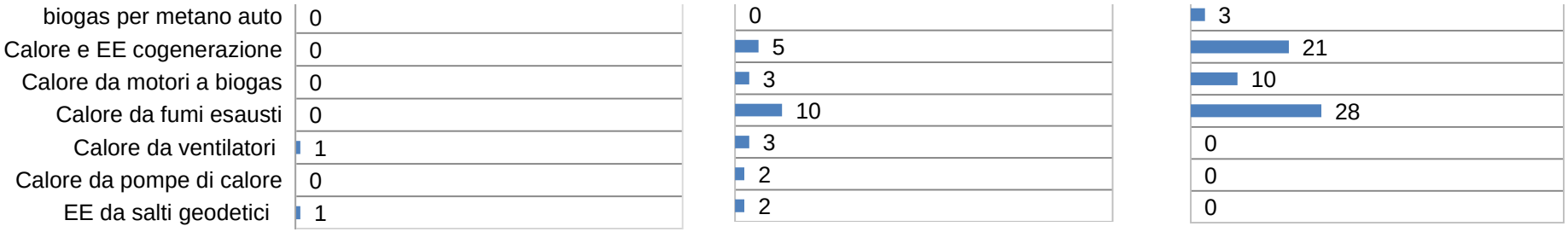
reffreddamento motori

→ **EE** produzione (≈ 5-20%)

sono applicazioni presenti solo sui grandi **<u>WWTPs</u>**

→ **idroelettrico** (≈ 1-2%) da salti geodetici

→ **Recupero calore** (≈ 2%) da pompe di calore



IN DEFINITIVA:

↑ **Azioni più comuni di recuperi**:

materia

- **Fanghi** in agricoltura/incinerimento (quasi tuttti WWTPs: 239/245)
- **Riutilizzo interno di effluenti** (100/245, 40%)

energia

- Aumento di produzione di **biogas** (21/245, 8%)
- Recupero c**alore** (21/245, 8%)

↓ **Azioni più rare di recuperi:**:

- **Riuso Esterno** di effluenti (10/245, < 5%): tecnologia matura, ma barriere legislative/sociali
- Produz. di EE da fonti rinnovabili (24/245, 10%)

↓ **Assenza di**:

- Recupero di **fibre di cellulosa**, **nutrienti** , **biopolimeri** ecc.; tecnologie innovative non ancora applicate, anche per questioni economiche

ESEMPIO:
UNA TECNOLOGIA APPLICATA

A **RIFIUTI LIQUIDI** E **FANGHI**

CHE REALIZZA
- RECUPERI
- RIDUZIONI

PROCESSO TAMR

(THERMOPHILIC AEROBIC MEMBRANE REACTOR):

Combina i vantaggi dei:

SISTEMI **MBR**

SISTEMI AD **OSSIGENO PURO**

SISTEMI **TERMOFILI**

COSA TRATTA?

RIFIUTI LIQUIDI (minimizzazione indiretta di PRODUZIONE FANGO)

FANGHI DI DEPURAZIONE (minimizzazione diretta di PRODUZIONE FANGO)

ALCUNI VANTAGGI

SISTEMI MBR

1.la fattibilità di mantenere (nel sistema) tutta la biomassa idonea per il processo depurativo
2.la capacità di trattenere, all'interno del sistema, composti lentamente biodegradabili (generalmente ad elevato peso molecolare molecole), al fine di garantirne la biodegradazione;
3.il miglioramento della stabilità della qualità dell'effluente
4.la riduzione del volume del reattore biologico.

SISTEMI AD OSSIGENO PURO

1.alta concentrazione di ossigeno disciolto nel reattore
2.massimo sfruttamento della capacità degradativa dei microorganismi
3.fiocchi di fango più densi rispetto ad un sistema ad aria "convenzionale"
4.riduzione significativa del volume delle vasche di trattamento
5.maggiore flessibilità in caso di sovraccarico organico

SISTEMI TERMOFILI

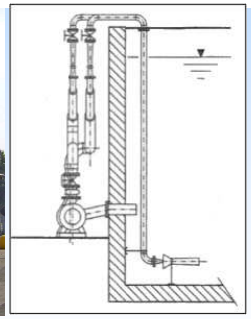
Sono processi operanti a temperature superiori a 45°C; vanno distinti dai processi derivanti da sistemi di transizione, come ad esempio la convenzionale digestione anaerobica per i fanghi funzionante tra i 35 e i 40 ° C (Lapara e Alleman, 1998).
Si utilizzano acque già riscaldate oppure acque aventi un elevato carico organico ed un buon isolamento termico del reattore.

ALCUNI VANTAGGI

- ✓ **Elevata velocità di rimozione dei substrati biodegradabili**
- ✓ **Alto carico organico volumetrico**
- ✓ Buone rese di rimozione per molecole sintetiche
- ✓ **Produzione specifica di biomassa bassa**
- ✓ Inibizione degli agenti patogeni
- ✓ Capacità di trattare reflui con elevate concentrazioni di sali
- ✓ Processo flessibile e stabile
- ✓ Recupero di calore
- ✓ **Compatibilità dell'effluente termofilo con un trattamento tradizionale biologico**
- ✓ ……..

IMPIANTO A SCALA REALE
(monitorato dal 2002)

Sistema di fornitura ossigeno puro

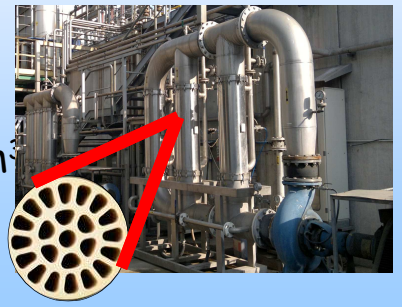


Reattore biologico ad ossigeno puro

- Vasca coperta in c.a. (spessore muri: 30 cm)
- V: 1.000 m^3; S: 270 m^2; H: 5 m

Ultrafiltrazione (a flusso tangenziale)

- 2 linee con 3 vessel ciascuna
- 99 membrane (ceramiche a 23 canali) per ogni vessel
- Cut-off: 300 kDa



Parametri operativi

- MLSS= 150÷190 kgTSS/m^3
- SV/ST= 0.30 ÷ 0.24
- Temperatura: 49±3 ° C

IMPIANTI PILOTA A SCALA SEMI-INDUSTRIALE (4 impianti)

Reattore biologico ad ossigeno puro

- V: 1 m^3
- Isolamento termico
- Temperatura: 48 – 50 °C (scambiatore di calore)

Ultrafiltrazione (a flusso tangenziale)

- 1 vessel con 7 membrane ceramiche (23 canali)
- Cut-off: 300 kDa
- Pressione operativa: 4 bar

QUALI LE PERFORMANCE DELLA TECNOLOGIA?

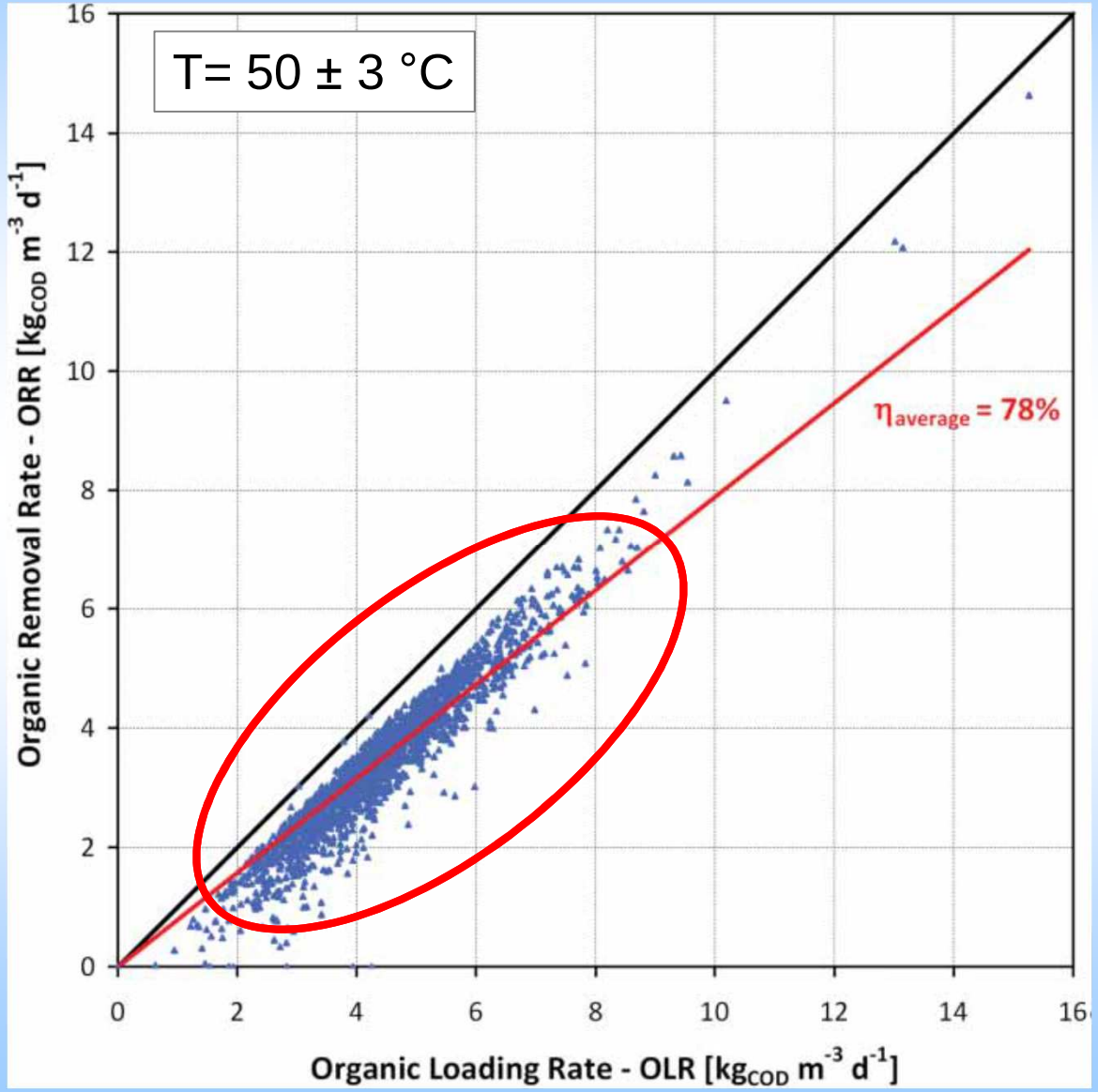
RIFIUTI LIQUIDI

FANGHI DI DEPURAZIONE

DIGESTATO LIQUIDO

PERFORMANCE N°1

ELEVATE RESE DI RIMOZIONE DEL COD



(Collivignarelli *et al.*, Environmental Technology, 2015)

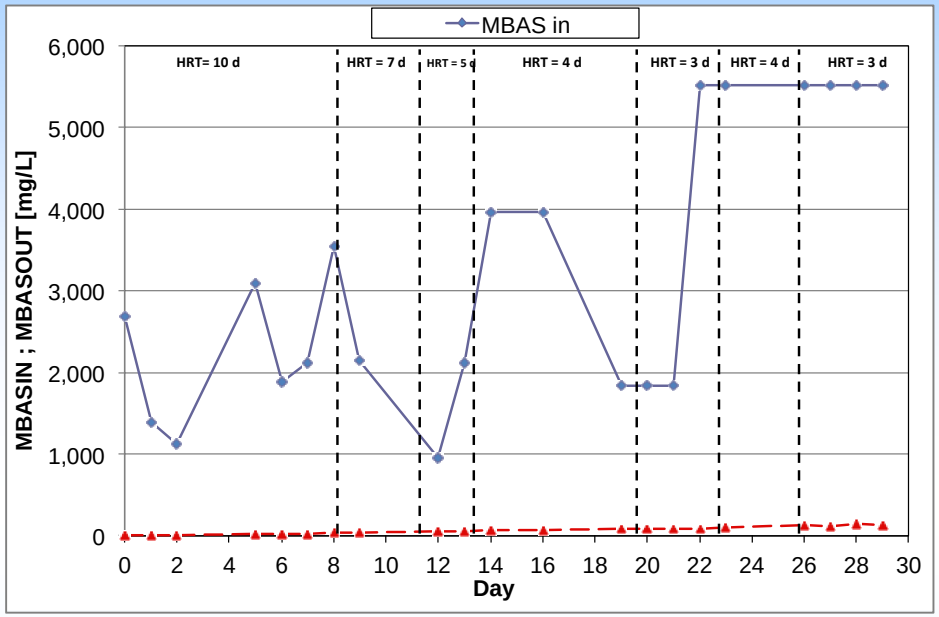
- ✓ La resa media di rimozione è pari al **78%**, **indipendentemente dai valori di OLR**.

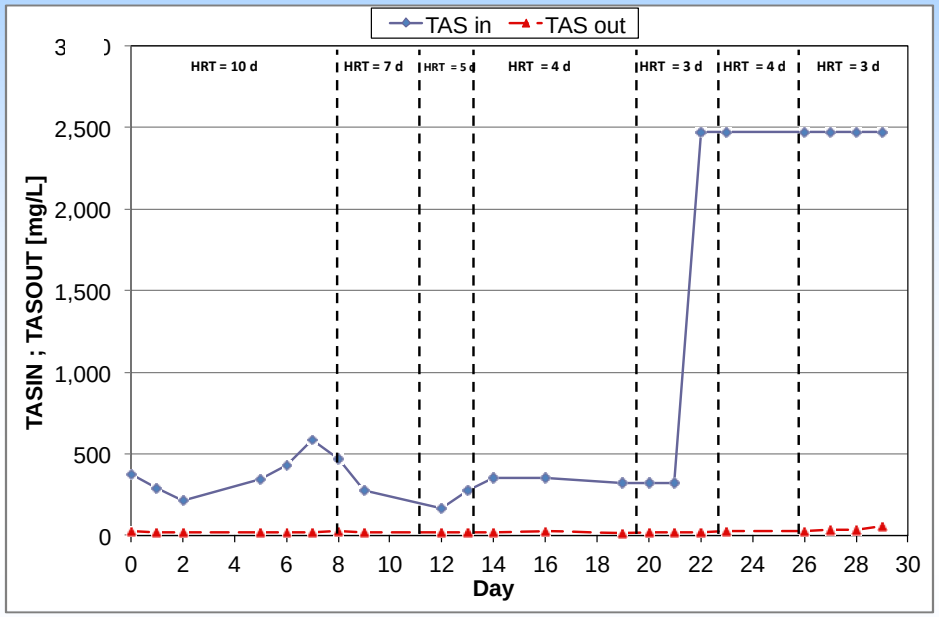
Influenza da parte della variabilità dei rifiuti liquidi alimentati

- ✓ Anche con significative variazioni di carico COD in ingresso il rendimento è rimasto elevato (abbattimento medio del **74%** con coefficiente di variazione del carico di COD_{IN} dal 27% al 50%)

PERFORMANCE N° 2

ELEVATE RESE DI RIMOZIONE DEI TENSIOATTIVI





MBAS (anionici)

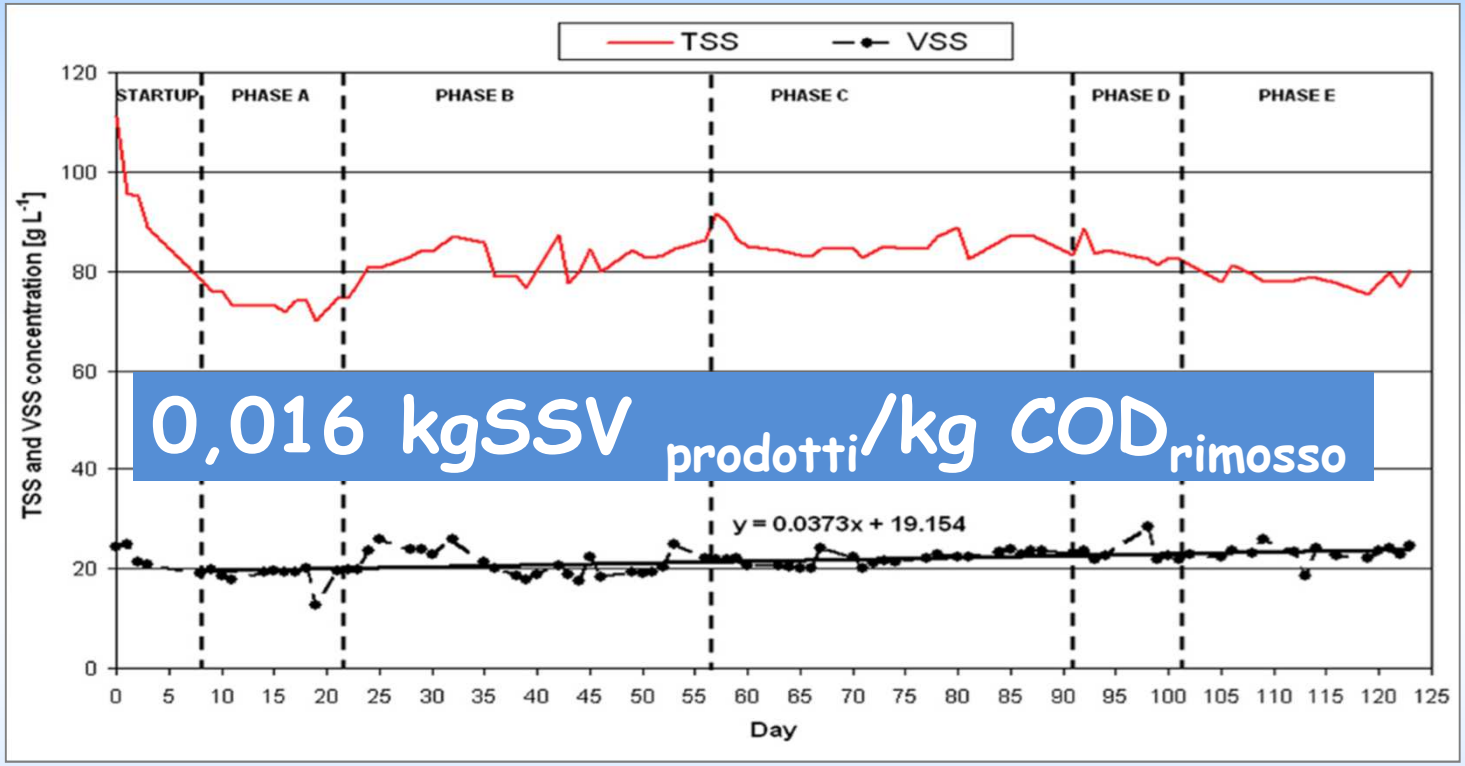
- Range: 2.300 – 5.500 mg/L
- η_{medio}= 98% (indipendente da HRT)

TAS (non-ionici)

- Range: 300 – 2.500 mg/L
- η_{medio}= 84%

PERFORMANCE N°3

BASSA PRODUZIONE SPECIFICA DI FANGO



0,016 kgSSV $_{prodotti}$/kg COD$_{rimosso}$

(Collivignarelli *et al.*, Water Research. 2014)

Processi termofili: 0,03-0,09 KgSSV$_{prodotti}$/kgCOD$_{rimosso}$ (Simstich et al., 2012)

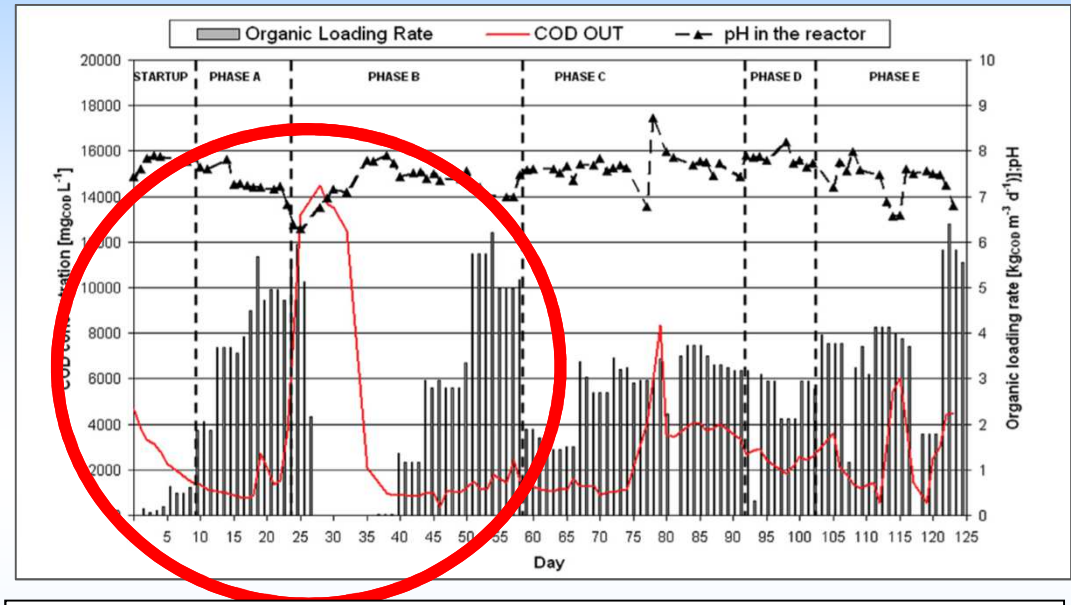
PERFORMANCE N° 4

PROCESSO STABILE E ROBUSTO

(Collivignarelli *et al.*, Water Research, 2014)

STABILE

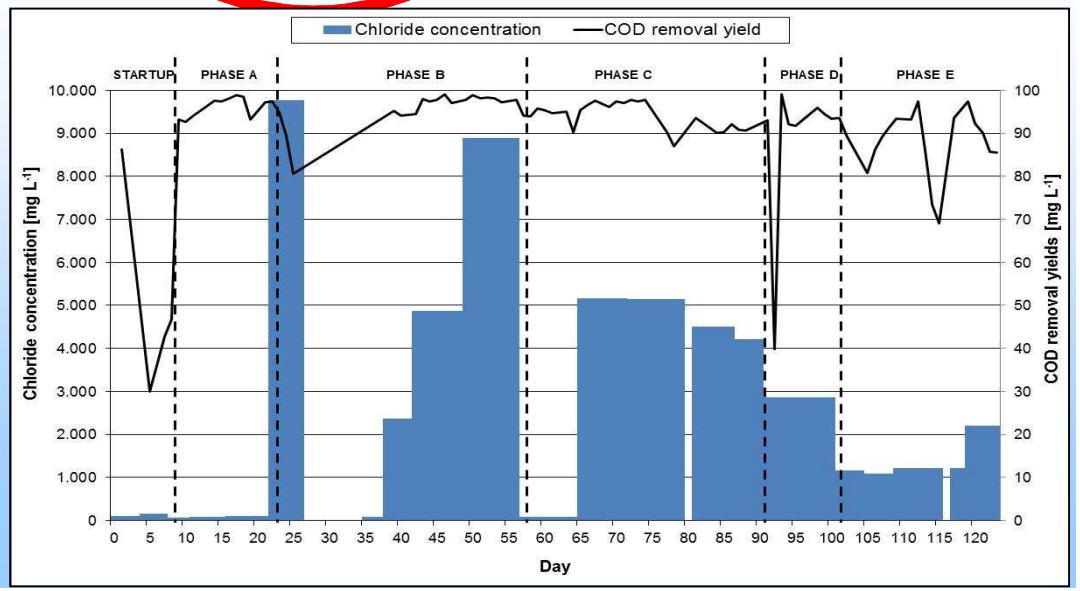
- Cambio completo e repentino di substrato in alimentazione al massimo carico → shock della biomassa (diminuzione rapida e importante del pH → efficienza del processo)
- Dopo 5-6 giorni si è nuovamente alimentato (senza inoculo) → rimozioni confrontabili a prima dello shock



ROBUSTO

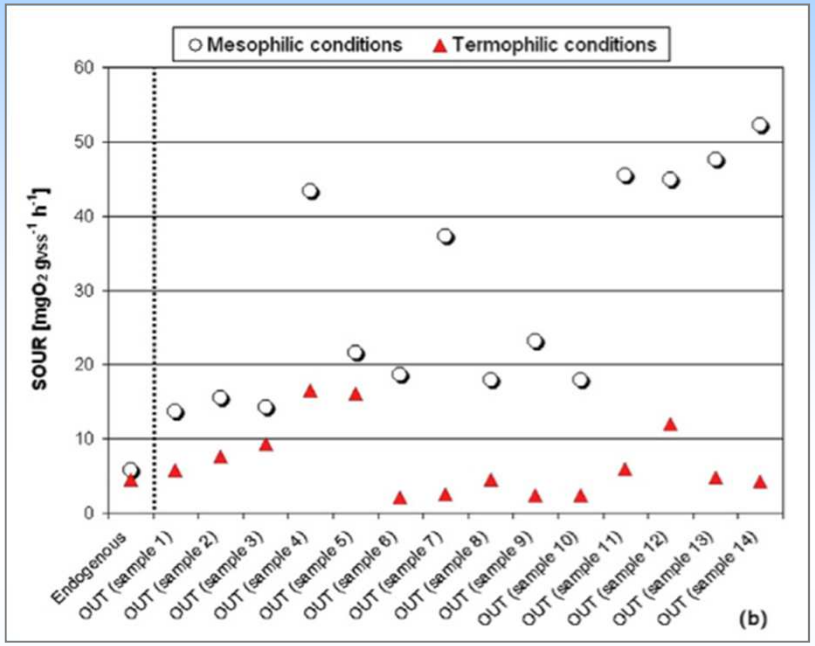
- Buone prestazioni anche con concentrazioni di cloruri elevate (sino a 10.000 mg/L)

Nei processi a fanghi attivi incrementi dei cloruri da 150 a 5.000 mg/L → riduzioni rimozione COD dal 95% al 63% (Hong et al., 2007)



PERFORMANCE N°5

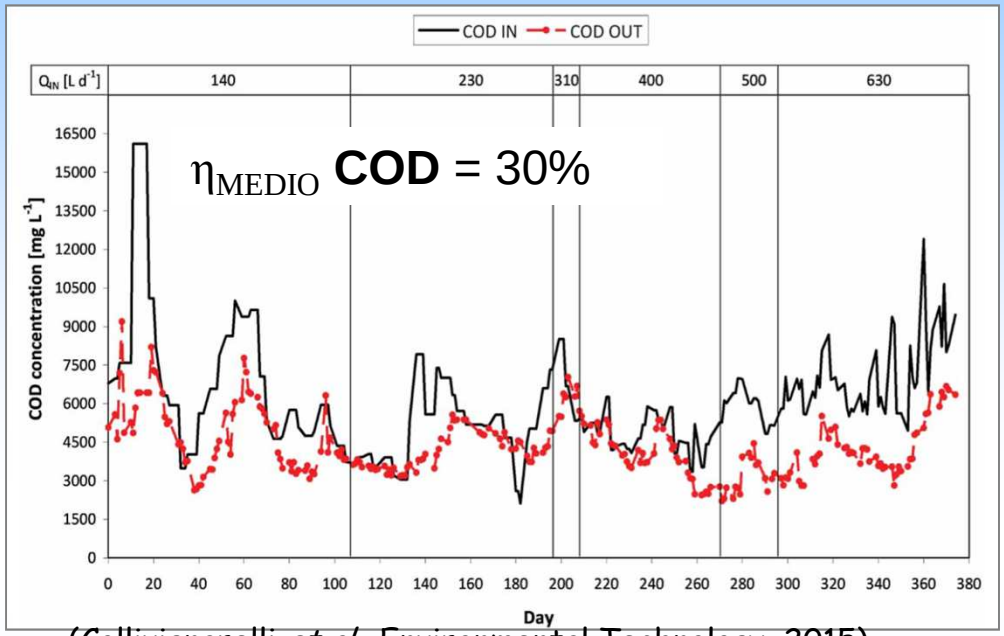
EFFLUENTE IDONEO AD UN POST TRATTAMENTO BIOLOGICO TRADIZIONALE



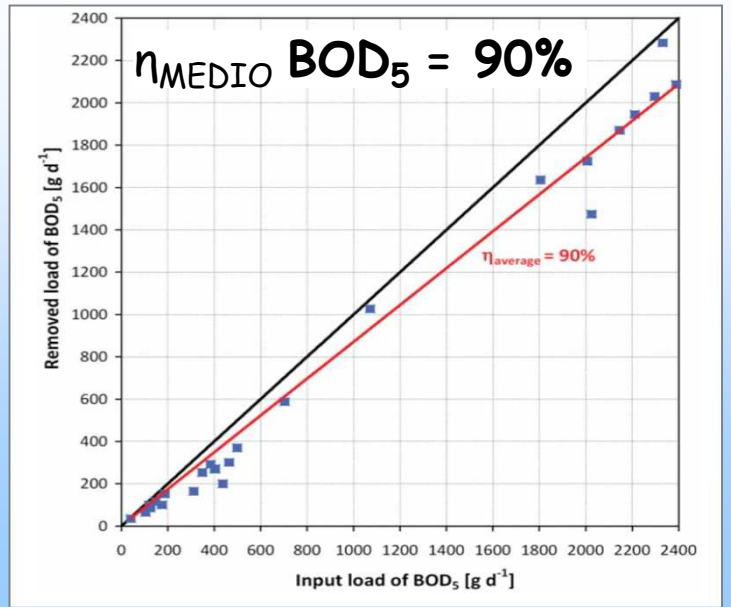
(Collivignarelli *et al.*, Water Research, 2014)

OUR *Mesofili* > OUR *Termofili*

Il permeato ha una migliore trattabilità biologica in campo mesofilo



(Collivignarelli *et al.*, Environmental Technology, 2015)



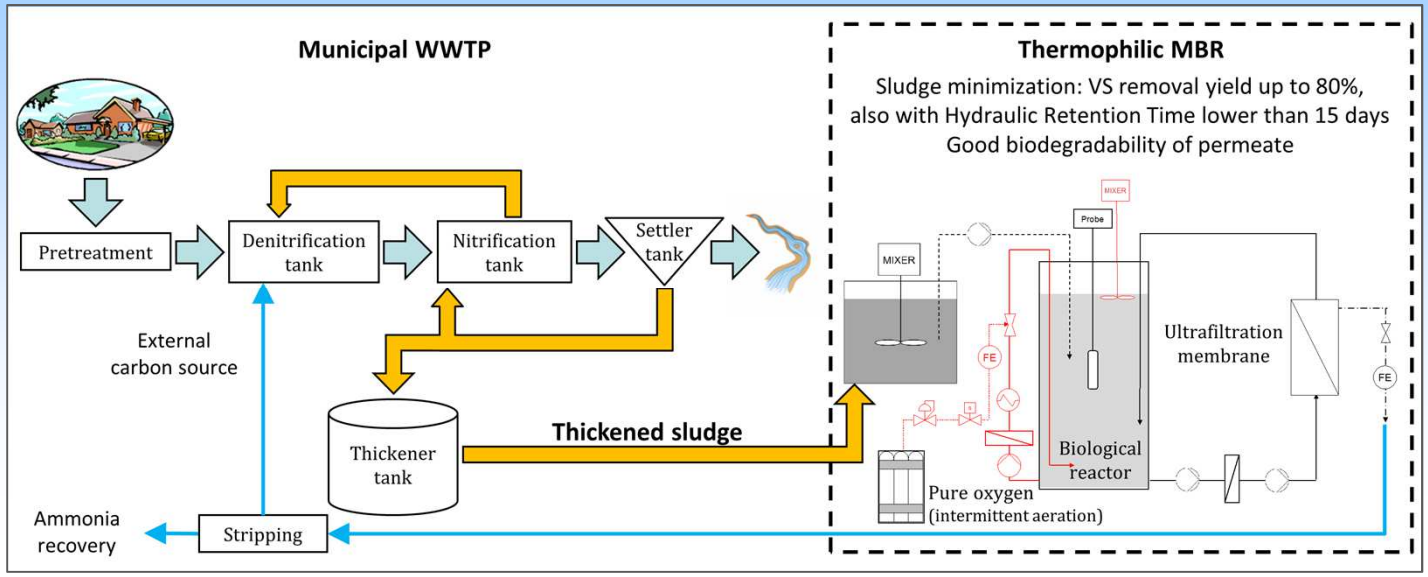
QUALI LE PERFORMANCE DELLA TECNOLOGIA?

RIFIUTI LIQUIDI

FANGHI DI DEPURAZIONE

DIGESTATO LIQUIDO

DOVE APPLICARLO?



A QUALI FANGHI?

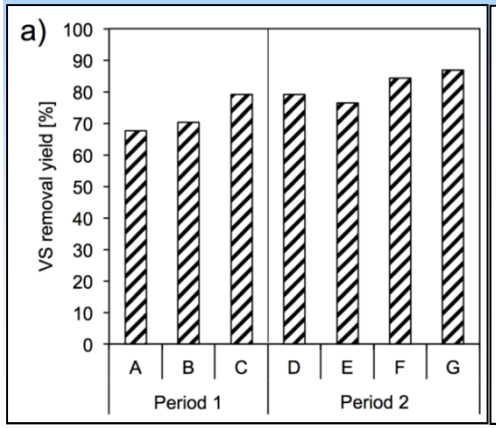
- Fanghi derivanti da WWTP
- Fanghi <u>civili</u> e <u>a forte componente industriale</u>

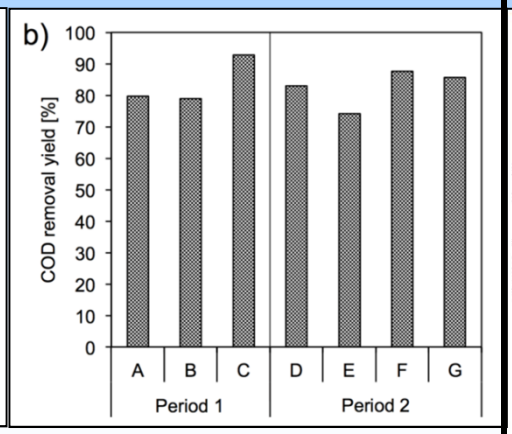
A QUALI CONDIZIONI?

- Funzionamento a <u>cicli alternati</u>
- Fanghi <u>solo ispessiti</u> → SST = 33 – 48 gSST/L

RISULTATI

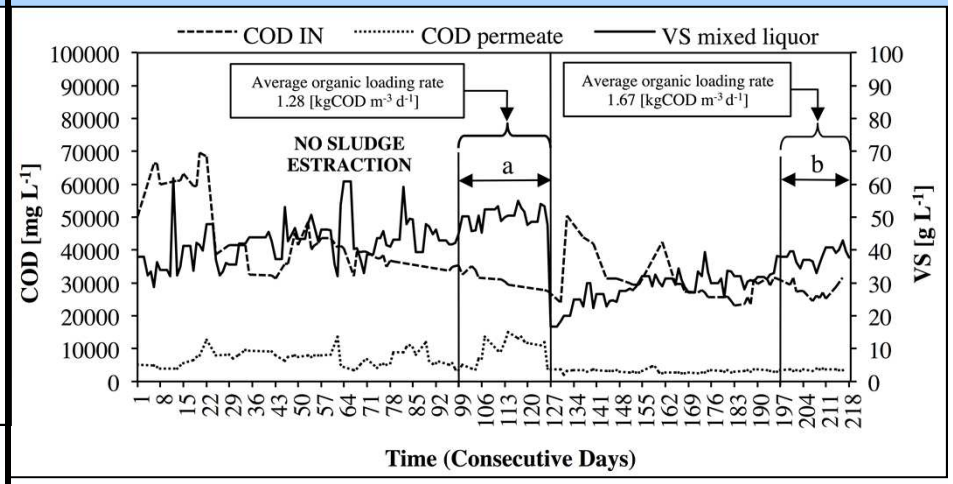
Fanghi civili





Periodo		T [°C]	OLR [kg COD m^{-3} d^{-1}]
Periodo 1 (piattelli)	A	54,5	0.81
	B	54,2	1.13
	C	54,6	0.75
Periodo 2 (eiettori)	D	54,1	1.00
	E	54,2	2.15
	F	54,2	1.98
	G	54,9	2.09

Fanghi industriale



(Collivignarelli *et al.*, Journal of Environmental Management, 2015)

- Rendimento di rimozione di SSV: 70 - 90 % (civili) e 50 - 65 % (industriali)
- HRT = 10-12 (civili) 15-20 giorni (industriali)
- Elevato grado di stabilizzazione dei fanghi trattati (25-40%)
- Significativi rendimenti di rimozione del COD: fino al 90% (civili) e sino al 65% (industriali)

in sintesi:

RIFIUTI LIQUIDI

✓Esperienza "matura"

✓Ottime prestazioni depurative anche con elevata variazione qualitativa delle miscele alimentate e con concentrazioni elevate di cloruri

✓Produzione di biomassa molto bassa

FANGHI DI DEPURAZIONE

✓Rendimenti di abbattimento SSV molto buoni

✓Fango molto ben stabilizzato

✓HRT più bassi rispetto ai tradizionali digestori anaerobici

Sinergia con i tradizionali processi biologici:
recupero del permeato e possibile recupero del fango di supero

Massima resilienza

CONCLUSIONI

- Possibile adeguare un impianto esistente per conseguire autosufficienza energetica e recupero di materia
- Ma la configurazione impiantistica deve essere modificata, anche pesantemente nel caso di piccoli impianti
- Necessario quindi mettere a fuoco tutti gli aspetti potenzialmente critici
- Spingendo il recupero all'estremo, certi fattori lo rendono meno conveniente
- **Il compito principale di un depuratore è DEPURARE gli scarichi**