

# Tecnologie non convenzionali per il trattamento delle acque reflue urbane nell'ottica dell'economia circolare

**Sabino De Gisi, Michele Notarnicola**



Politecnico di Bari

**Convegno**

**Ottimizzazione del processo di trattamento  
delle acque reflue: l'efficienza nelle soluzioni  
progettuali e nella gestione operativa**



**AQP**  
WATER ACADEMY  
"SOSTITUIRE, MIGLIORARE, INNOVARE"

**OIBA**  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
della Provincia di Bari

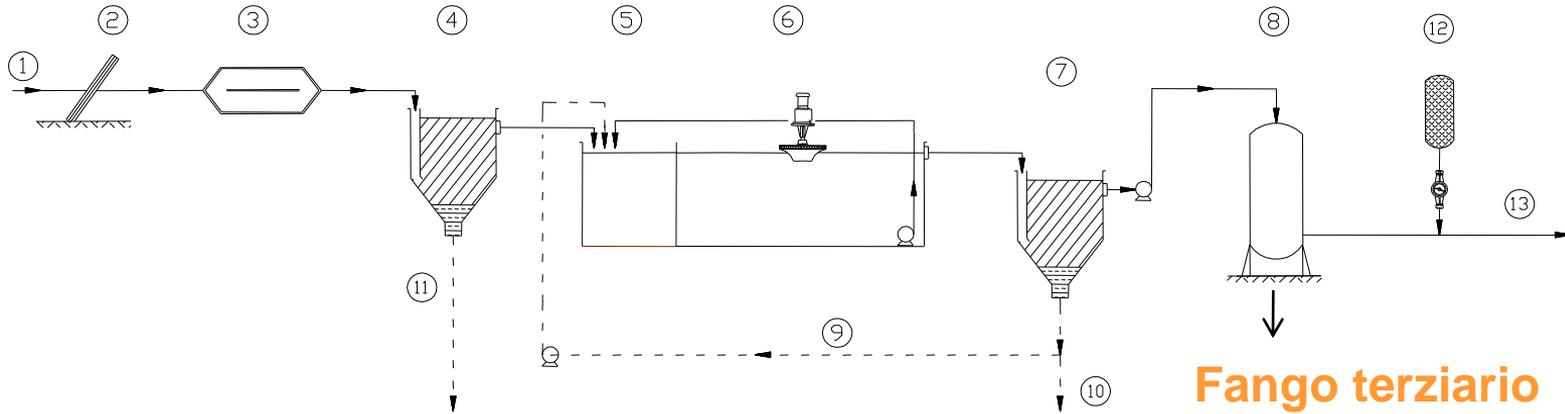
**KAESER**  
COMPRESSORI



Tecnologie non convenzionali?  
Nuove visioni di un depuratore?

Partiamo dallo stato dell'arte!  
Consideriamo il funzionamento di un  
tipico impianto di depurazione  
presente sul territorio italiano!

# STATO DELL'ARTE - IMPIANTO A FANGHI ATTIVI



**Fango primario**

**Fango biologico  
secondario**

**Fango terziario**

- |                           |                             |                   |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| ① INGRESSO                | ⑥ AERAZIONE / NITRIFICAZ.   | ⑪ FANGO PRIMARIO  |
| ② GRIGLIATURA             | ⑦ SEDIMENTAZIONE SECONDARIA | ⑫ DISINFEZIONE    |
| ③ DISABBIATURA            | ⑧ BIOFILTRAZIONE            | ⑬ REFLUO DEPURATO |
| ④ SEDIMENTAZIONE PRIMARIA | ⑨ FANGO DI RICIRCOLO        |                   |
| ⑤ DENITRIFICAZIONE        | ⑩ FANGO DI SUPERO           |                   |

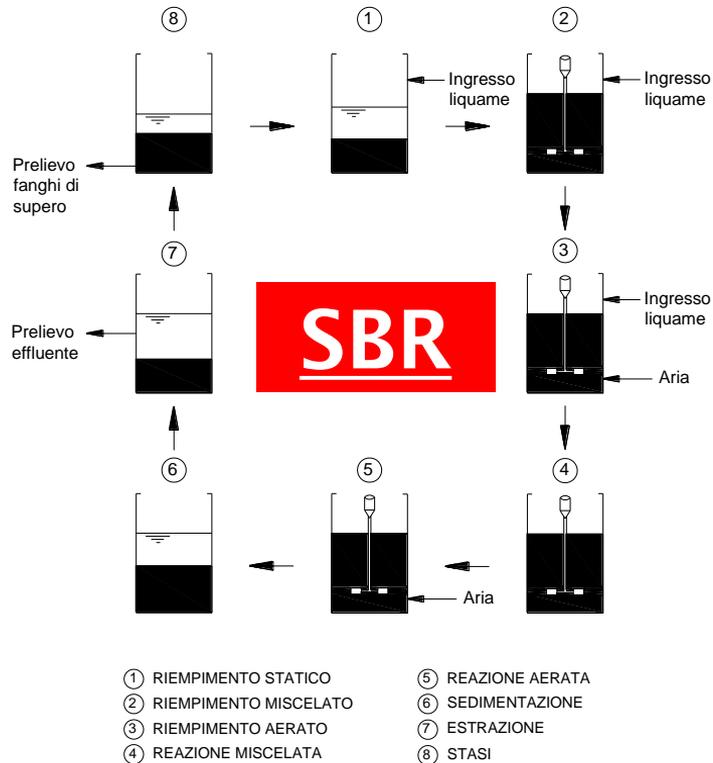


**Obiettivo 1:**

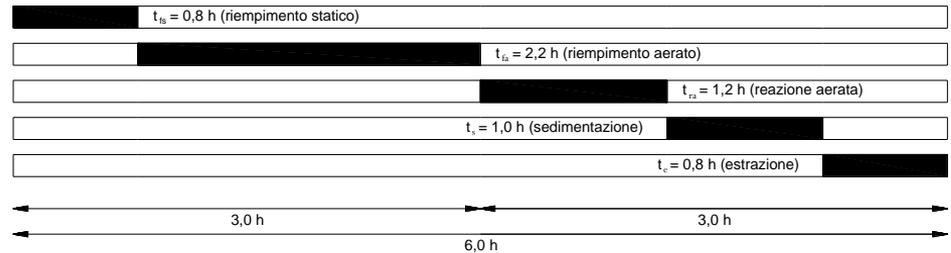
Ottimizzare l'impianto esistente (pensato e realizzato per rimuovere i contaminanti)

In altre parole, sviluppare **nuovi processi**, in grado di ridurre la **volumetria dei reattori**, o la produzione del fango

# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVEZIONALI



Gli impianti SBR (Sequencing Batch Reactor) si basano sull'attuazione sequenziale di più fasi di trattamento all'interno di un unico reattore.



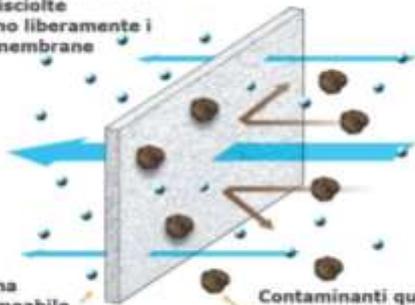
- I sistemi MBR, acronimo dell'inglese Membrane Biological Reactor (reattori biologici a membrana), **si basano sull'abbinamento dei processi a fanghi attivi con la tecnologia della microfiltrazione.**
- **Le membrane sono barriere selettive realizzate in materiale semipermeabile**, con pori microscopici, che **consentono alle molecole dell'acqua ed alle sostanze disciolte di attraversare liberamente** i pori, **mentre intercettano solidi sospesi, batteri e virus.**
- Le membrane utilizzate nei processi MBR (microfiltrazione) consentono la rimozione delle particelle di dimensioni del sub-micron, con un diametro variabile nell'intervallo di 0,1-1,0  $\mu\text{m}$  e con pressioni operative fino a 500 kPa (5 bar).

# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVEZIONALI

## CONFIGURAZIONI TIPO

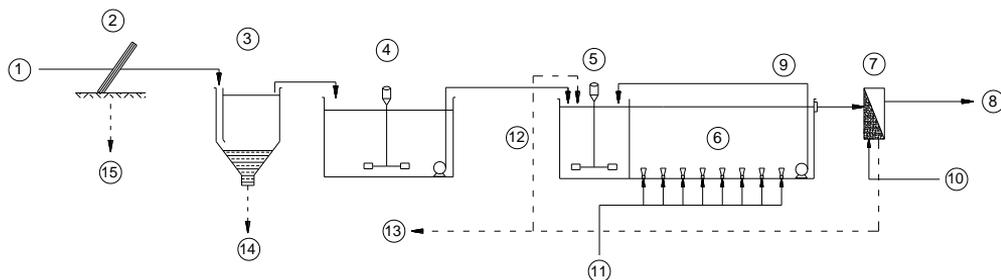
**MBR**

Le molecole dell'acqua e le sostanze disciolte attraversano liberamente i pori delle membrane

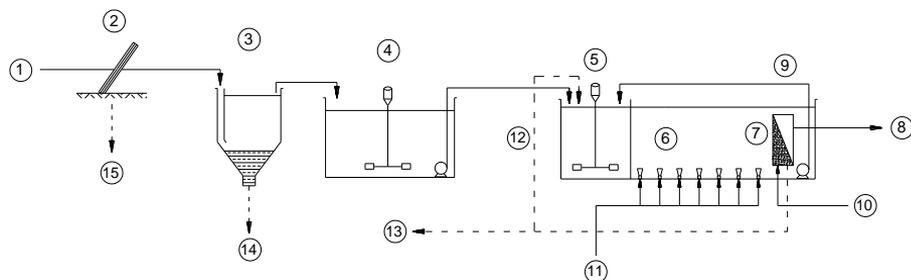


Membrana semipermeabile con pori microscopici

Contaminanti quali solidi sospesi, batteri e virus non riescono ad attraversare i pori delle membrane



(a)



(b)

- |                            |                              |                        |
|----------------------------|------------------------------|------------------------|
| ① INGRESSO                 | ⑥ OSSIDAZIONE/NITRIFICAZIONE | ⑪ ARIA DI PROCESSO     |
| ② GRIGLIATURA              | ⑦ MEMBRANE                   | ⑫ RICIRCOLO DEI FANGHI |
| ③ DISSABBIATORE            | ⑧ EFFLUENTE                  | ⑬ FANGO DI SUPERO      |
| ④ VASCA DI OMOGENIZZAZIONE | ⑨ RICIRCOLO MISCELA AERATA   | ⑭ SABBIA E OLI         |
| ⑤ DENITRIFICAZIONE         | ⑩ ARIA PER PULIZIA MEMBRANE  | ⑮ GRIGLIATO            |

# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVEZIONALI

## MBR

### Modello concettuale

#### Alimentazione (f)

$q_f$  = portata in ingresso

$C_f$  = concentrazione della sostanza in ingresso

$P_f$  = pressione del flusso di alimentazione

#### La pressione di transmembrana (TMP)

$$TMP = \frac{P_f + P_c}{2} - P_p$$

#### Concentrato o Retentato (c)

$q_c$  = portata di concentrato

$C_c$  = concentrazione della sostanza nel concentrato

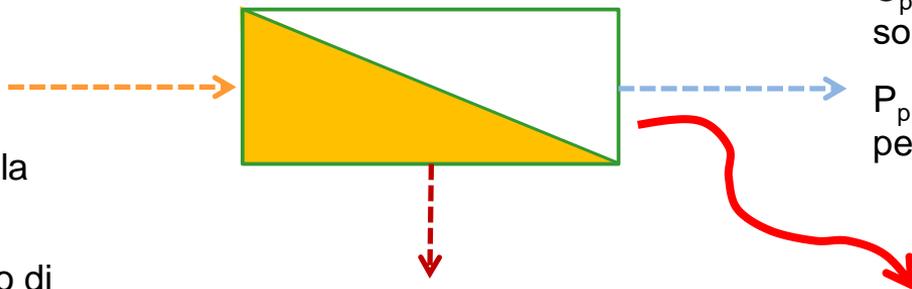
$P_c$  = pressione del flusso di concentrato

#### Permeato (p)

$q_p$  = portata di permeato

$C_p$  = concentrazione della sostanza nell'effluente

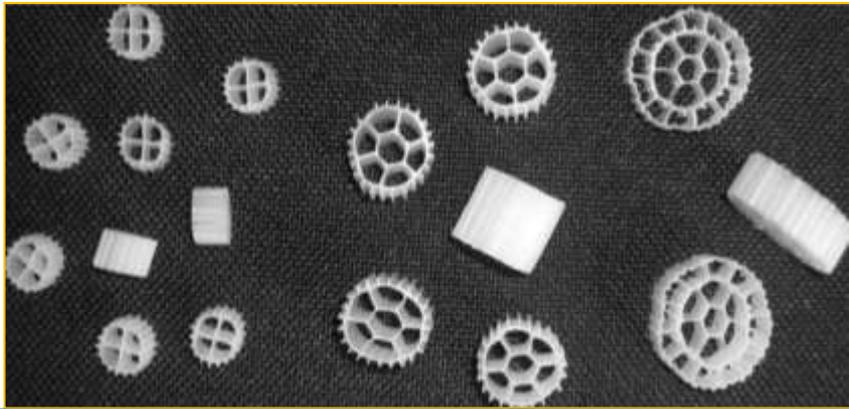
$P_p$  = pressione residua del permeato



# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVEZIONALI

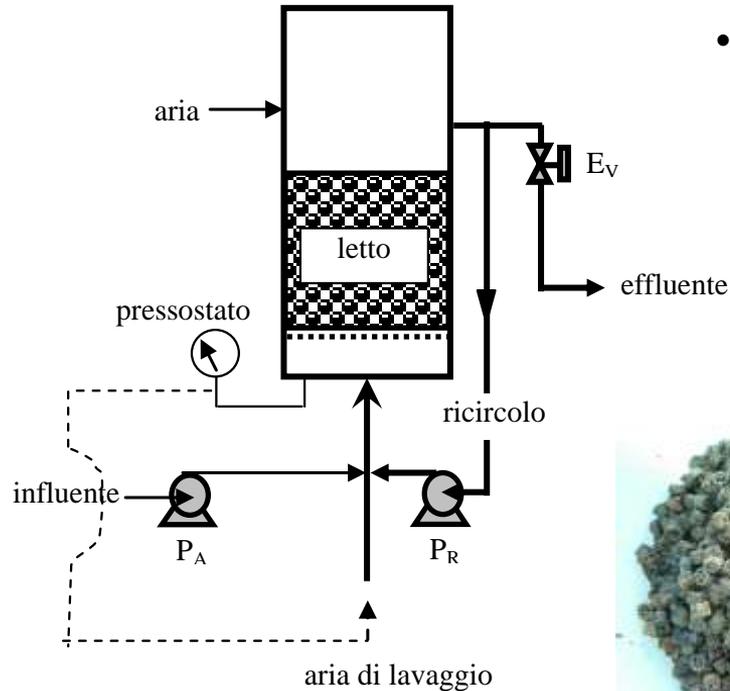
**MBBR**

- I reattori a letto mobile, MBBR (Moving Bed BioReactors), sono reattori biologici, in genere di qualunque forma e dimensione, spesso per nulla differenti dalle vasche a fanghi attivi, in cui la biomassa batterica si sviluppa su opportuni mezzi di supporto porosi o a canale aperto, liberamente dispersi e sospesi nel mezzo liquido

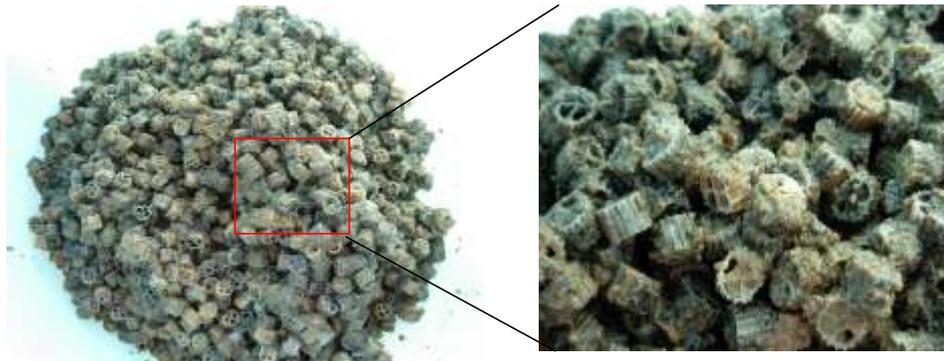


# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVENZIONALI

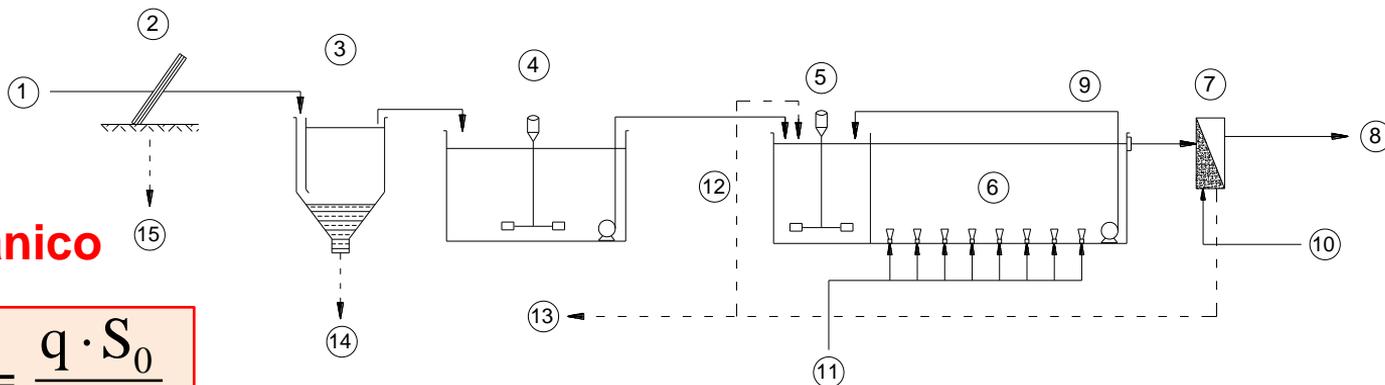
**SBBGR**



- Il sistema SBBGR è costituito esclusivamente da un unico reattore, parzialmente riempito da materiale plastico alla rinfusa, confinato tra due piastre, nel quale si sviluppano processi di ossidazione biologica e dal quale si provvede all'estrazione dell'effluente depurato.



# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONV. - CONFRONTO



**Fattore di carico organico**

$$F/M = 0,05 = \frac{q \cdot S_0}{V \cdot X}$$

16.000 ab, DI = 250 l/ab/d; BOD<sub>5</sub> = 250 mg/l

**CONV.**

**MBR**

**SBBGR**

$$V \cdot X \cdot 0,05 = q \cdot S_0$$

$$V = \frac{q \cdot S_0}{X \cdot 0,05}$$

X = 3 kg<sub>SS</sub>/m<sup>3</sup> → V = 6666,7 m<sup>3</sup>

X = 15 kg<sub>SS</sub>/m<sup>3</sup> → V = 1333,3 m<sup>3</sup>  
6 volte più piccolo

X = 40 kg<sub>SS</sub>/m<sup>3</sup> → V = 500 m<sup>3</sup>  
13,3 volte più piccolo

# PARADIGM SHIFT NEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE

□ **paradigm shift** = radicale cambio di visione

Il depuratore non è solo “**end of pipe**” per la rimozione di componenti di scarto: sostanza organica, nutrienti, solidi e patogeni



Il depuratore è **origine di risorse valorizzabili** → recupero centralizzato di energia e di materia prodotta in modo diffuso in un bacino

- ripensamento delle filiere di trattamento per recupero energia e materia
- spinta data da: costi per energia, riduzione gas serra, risorse non rinnovabili e smaltimento fanghi

□ **situazione attuale:**

- Recupero energetico quasi esclusivamente da **biogas** nella digestione anaerobica
- copertura del **25-50%** del consumo energetico del depuratore, 0.3-0.6 kWh/m<sup>3</sup>
- tale recupero è **solo 1/10** del contenuto energetico della sostanza organica contenuta nel refluo



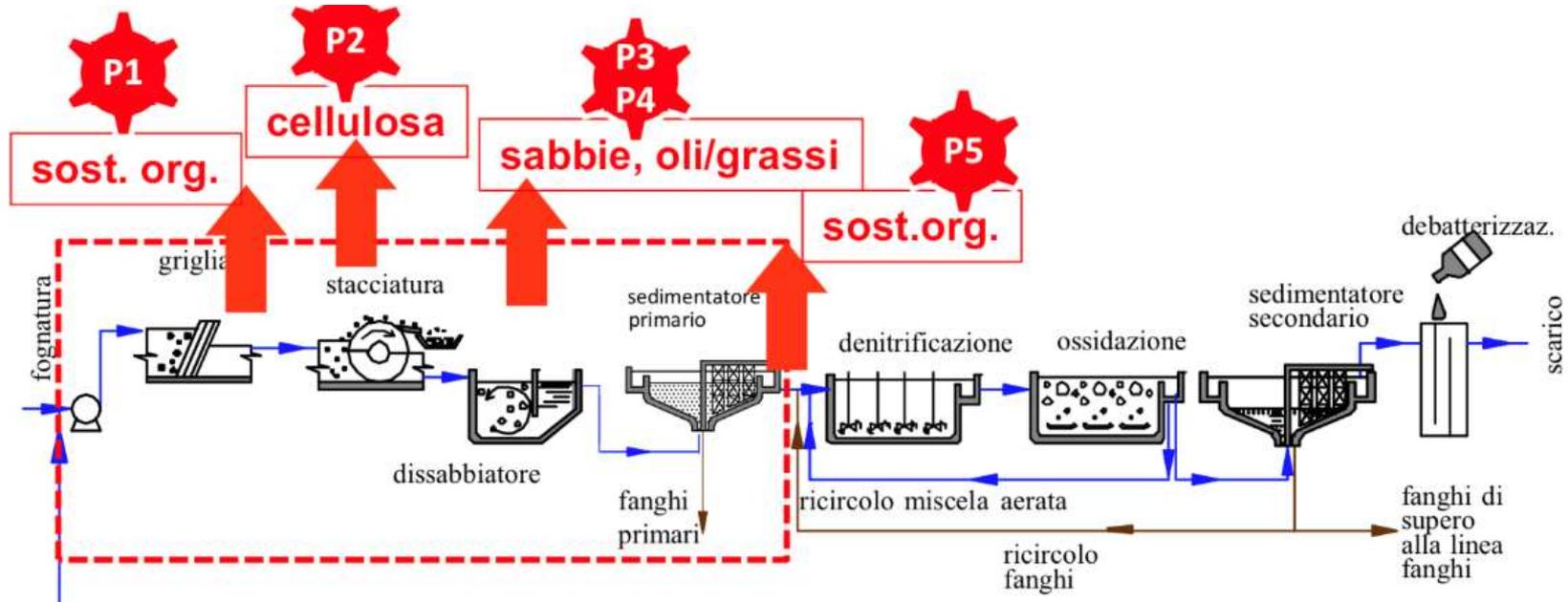
**Aumentando il recupero, il depuratore diventerebbe energy self-sufficient o produttore di energia**

**TUTELA  
AMBIENTE**



**RECUPERO  
DI MATERIA  
ED  
ENERGIA**

# IL RECUPERO DI MATERIA: Pre-trattamenti e sedimentazione primaria



## IL RECUPERO DI MATERIA

## Separazione degli oli e dei grassi



## Stacciatura (< 0,35 mm)



## Lavaggio delle sabbie

N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
P1	Grigliatura	Lavaggio grigliato	<b>Sostanza organica</b>	Substrato per denitrificazione	Molte applicazioni a scala reale
P2	Grigliatura	Microgrigliatura < 0.35 mm	<b>Fibre di cellulosa</b>	Sfruttamento energetico	Scala pilota
P3	Dissabbiatura	Lavaggio sabbie	<b>Materiale inerte</b>	Riutilizzo in opere civili	Poche informazioni
P4	Disoleatura	Separazione oli/grassi	<b>Oli/grassi</b>	Sfruttamento energetico o agronomico	Poche applicazioni
P5	Sedimentazione primaria	By-pass	<b>Sostanza organica</b>	Ottimizzazione recupero per denitrificazione o digest. anaerobica	Maturo

# IL RECUPERO DI MATERIA

Recupero della cellulosa!



Filtro dinamico fine Salsnes



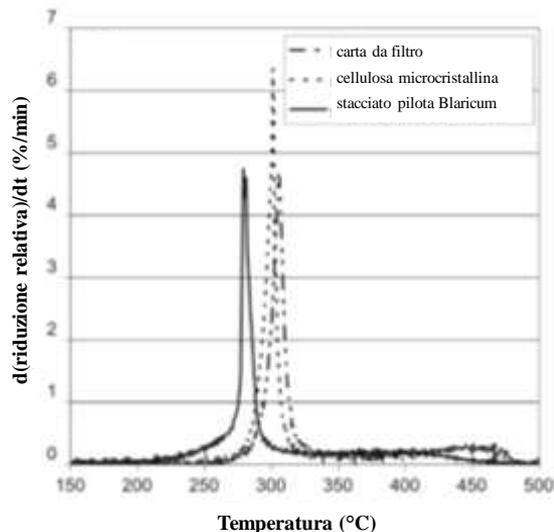
Fonte:



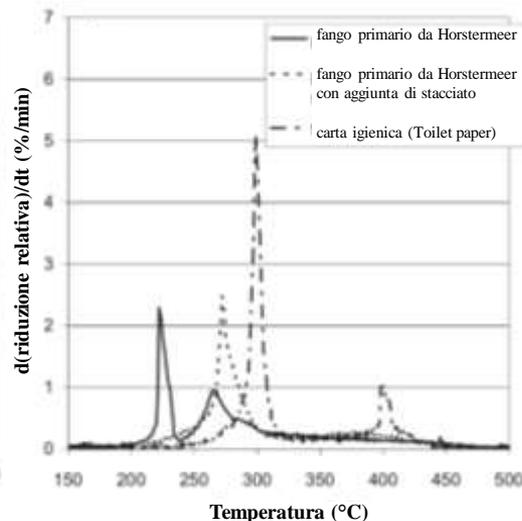
SMART-Plant

# IL RECUPERO DI MATERIA

## Recupero della cellulosa!



**Fig A**



**Fig. B**

Il confronto con lo spettro di figura, riportante miscele a base di componenti organici come i fanghi di sedimentazione primaria, evidenzia come il picco della cellulosa intorno ai 250-300°C (Fig. A) - nel materiale stacciato - è maggiore del corrispondente picco riportato in figura B per fanghi primari; il contenuto di cellulosa è pertanto maggiore nel campione setacciato rispetto al campione di fango proveniente dalla sedimentazione primaria.

# IL RECUPERO DI MATERIA:

## Trattamento biologico, affinamento del refluo e recupero delle acque



Chemicals per la coagulazione del particolato

(a) Filtrazione superficiale e profonda



**TECNOLOGIE PER LA RIMOZIONE  
DELLA SOSTANZA SOSPESA  
PARTICOLATA RESIDUA**

- Filtrazione di volume
- Filtrazione di superficie
- Filtrazione con membrane (MF + UF)
- Dissolved Air Flotation (DAF)

**(1)**

**TECNOLOGIE PER LA RIMOZIONE  
DI SOSTANZA DISCIOLTE NON  
RIMOSSE PER VIA BIOLOGICA**

- Nanofiltrazione
- Osmosi Inversa
- Dialisi
- Elettrodialisi

**(2)**

**ULTERIORI  
TECNOLOGIE/PROCESSI  
UTILIZZATI IN COMBINAZIONE CON  
(1) E (2) AI FINI DEL RIUTILIZZO**

- Equalizzazione **(3)**
- Chiari-flocculazione
- Fitodepurazione
- Lagunaggio

**TECNOLOGIE PER LA RIMOZIONE  
DEI COSTITUENTI RESIDUI IN  
TRACCIE**

- Adsorbimento
- Scambio ionico
- Distillazione
- Ossidazione chimica
- Processi di ossidazione avanzata (AOPs)
- Fotolisi

**(4)**

**IL RECUPERO DI  
MATERIA:  
Sul riutilizzo delle  
acque depurate**

## IL RECUPERO DI MATERIA:

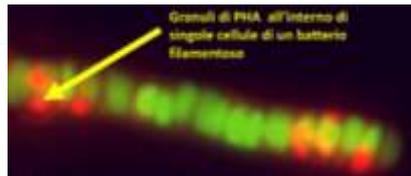
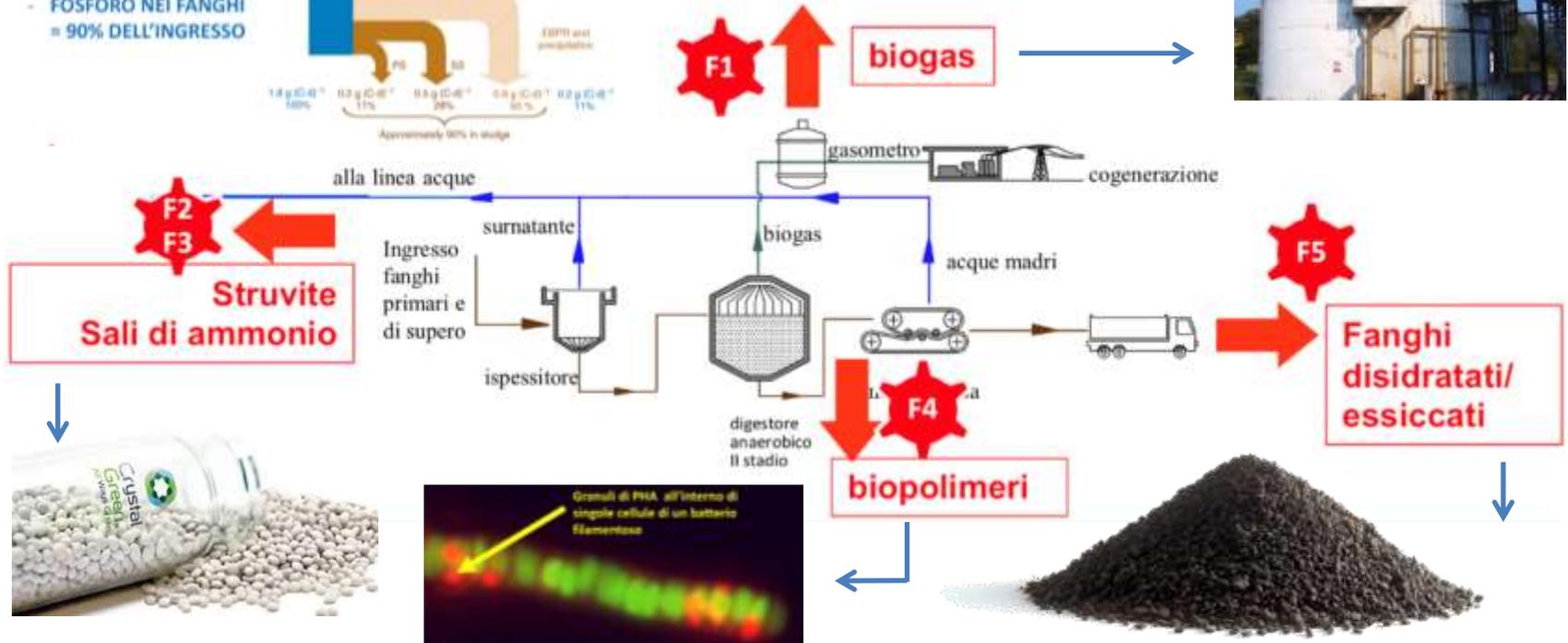
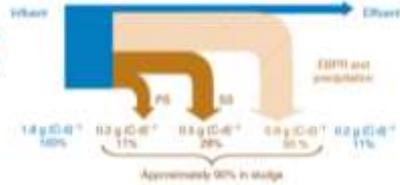
### Trattamento biologico, affinamento del refluo e recupero delle acque

N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
S1	Uscita	Uso interno (acqua tecnica)	<b>Effluente depurato</b>	Vari usi, risparmio della risorsa acqua	Molte applicazioni
S2	Uscita	Usi esterni	<b>Effluente depurato</b>	Vari usi per risparmio risorsa acqua o in zone con carenza d'acqua	Poche applicazioni rispetto al potenziale
S3	Denitrificazione	Dosaggio sostanza organica di recupero	<b>Sostanza organica</b>	Sostituzione di substrati puri	Maturo

# IL RECUPERO DI MATERIA ed ENERGIA: Fanghi

- AZOTO NEI FANGHI = SOLO 10% DELL'INGRESSO

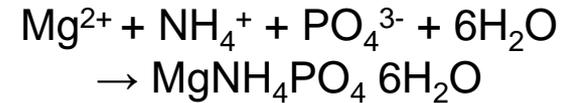
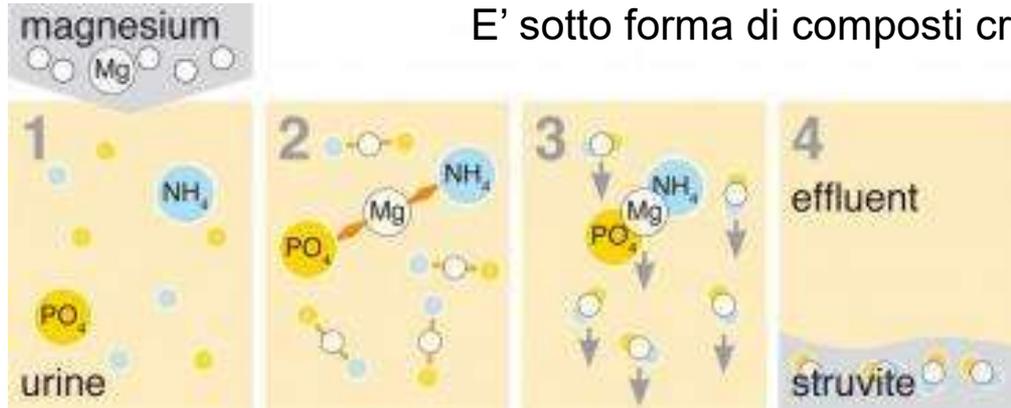
- FOSFORO NEI FANGHI = 90% DELL'INGRESSO



# IL RECUPERO DI MATERIA e di ENERGIA

## Linea Fanghi

**Struvite** è il prodotto della precipitazione dell'azoto ammoniacale e del fosforo contenuto nel liquido (surnatante). E' sotto forma di composti cristallini.



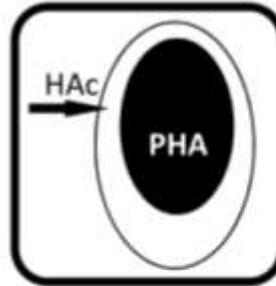
- Le concentrazioni di  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  devono essere tali da garantire un rapporto molare N:P:Mg unitario;
- Bisogna aggiungere composti basici affinché il pH sia pari a 9.

# IL RECUPERO DI MATERIA e di ENERGIA Linea Fanghi

**Bioplastiche**

fermentazione  
con produzione  
di acido acetico  
HAc

Basso ORP  
feast & famine



*300 specie batteriche in  
grado di sintetizzare PHA*



liofilizzazione  
a bassa T°C



estrazione in  $\text{CHCl}_3$  a 70°C  
+ filtrazione +  $\text{CH}_3\text{OH}$  +  
evaporazione → film



Fatone et al., 2015;  
[www.water2020.eu](http://www.water2020.eu).

Biopolimeri recuperabili:

range min 55 - max 360 mg/gVSS (Yan et al., 2008\*)

160 ± 4 mg/gVSS (Healey et al., 2015\*\*)

# IL RECUPERO DI MATERIA e di ENERGIA Linea Fanghi



N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
F1	Digestione anaerobica	Produzione di biogas	<b>Biometano</b>	Generazione di vettore energetico	Molte applicazioni a scala reale
F2	Surnatanti della linea fanghi	Precipitazione fosforo	<b>Fosforo (struvite)</b>	Impiego come fertilizzante	Rare applicazioni a scala reale
F3	Surnatanti della linea fanghi	Strippaggio ammoniacale	<b>Sali di ammonio</b>	Impiego come fertilizzante	Fattibile a scala reale ma non conveniente
F4	Linea fanghi	Accumulo di PHA	<b>Biopolimeri</b>	Bioplastiche	Scala pilota
F5	Usi esterni	Agric./compost.	<b>Fanghi</b>	Ammendante	Molte applicazioni
F6	Usi esterni	Trattamenti termici	<b>Fanghi</b>	Combustibili e recupero energetico	Diverse applicazioni a scala reale

# IL RECUPERO della STRUVITE



30 mc/d anaerobic supernatant

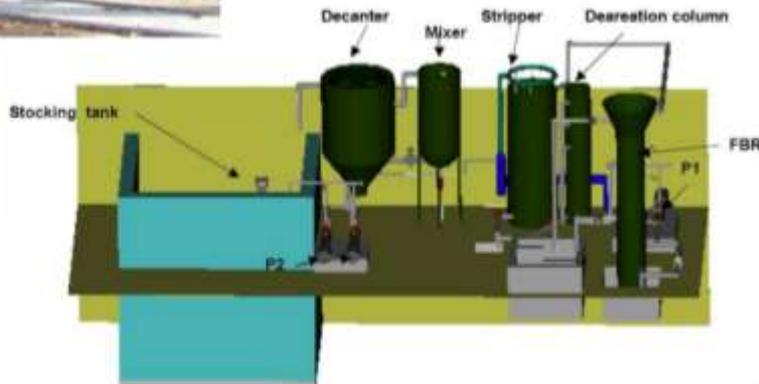
Recovery of  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Recovery of 2% TN & 37% TP

Reduction of N&P supernatants

Daily Production 700 kg, TP 70 kg, TN 30 kg

**Impianto di  
depurazione di  
TREVISO  
(Alto  
Trevigiano  
Servizi)**



**Regulatory Limits: Struvite is a Waste**

**Necessary correct ratio Mg, N, P**

**OPEX: 15-20 € /mc treated**

**Pipes Clogging due to pipes material**

**No BAT classification on 2017**

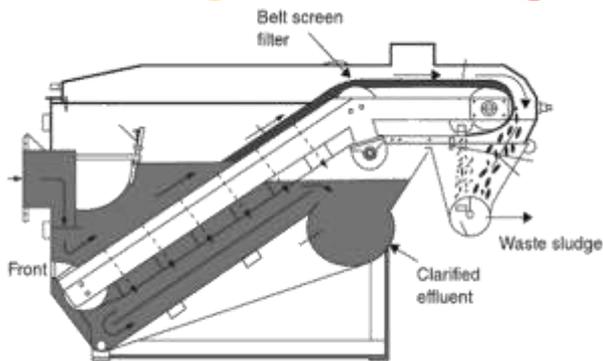


N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo tecnologico
1	Grigliatura	Lavaggio del grigliato	Sostanza organica	Substrato per la denitrificazione	Molte applicazioni a scala reale
2	Staccatura fine	Staccatura <0,35 mm	Fibre di cellulosa	Sfruttamento energetico; recupero di materia	Scala pilota
3	Dissabbiatura	Lavaggio delle sabbie	Materiale inerte	Riutilizzo in opere civili	Poche applicazioni
4	Disoleatura	Separazione degli oli/grassi	Oli e grassi	Sfruttamento energetico o agronomico	Poche applicazioni
5	Sedimentazione primaria	By-pass dell'unità di trattamento	Sostanza organica	Recupero di sostanza organica per denitrificazione	Maturo
6	Effluente depuratore dal	Uso interno (acqua tecnica)	Effluente depurato	Vari usi, riduzione dei consumi di acqua potabile	Molte applicazioni
7	Effluente depuratore dal	Usi esterni	Effluente depurato	Vari usi; dopo affinamento, possibili utilizzi in agricoltura, per la ricarica della falda, ecc.	Poche applicazioni rispetto al potenziale
8	Denitrificazione	Dosaggio sostanza organica preventivamente recuperata	Sostanza organica	Sostituzione di substrati puri	Maturo
9	Digestione anaerobica	Produzione di gas biologico	Biometano	Produzione di biocombustibile	Diverse applicazioni a scala reale
10	Surnatanti della linea fanghi	Precipitazione del fosforo	Fosforo sotto forma di struvite	Impiego come fertilizzante	Rare applicazioni a scala reale
11	Surnatanti della linea fanghi	Strippaggio dell'ammoniaca	Sali di ammonio	Impiego come fertilizzante	Fattibile a scala reale, ma non conveniente
12	Intera linea fanghi	Accumulo di PHA (poliidrossialcalonati)	Biopolimeri	Bioplastiche	Scala pilota
13	Disidratazione meccanica	Agricoltura/compost	Fanghi	Ammendante	Molte applicazioni
14	Essiccamento	Trattamento termico	Fanghi disidratati meccanicamente	Recupero energetico	Diverse applicazioni a scala reale
15	Vari	Recupero di oli esausti da apparecchiature elettromeccaniche	Oli lubrificanti	Rigenerazione oli, recupero energetico	Consorzio oli usati

# BIORAFFINERIE URBANE

## Schema di processo 1

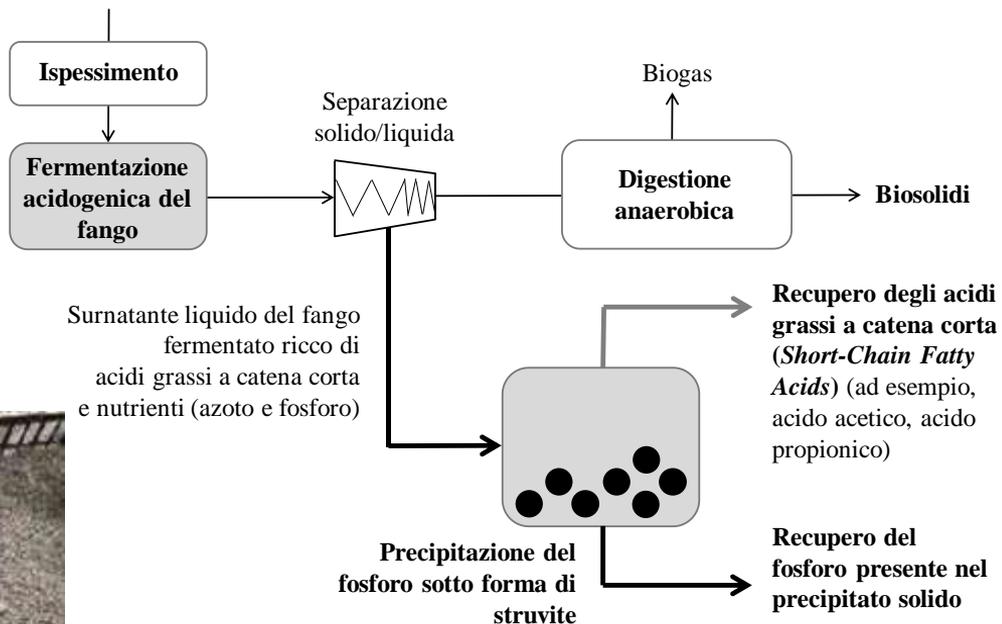
	Sedimentazione primaria	Stacciatura
solidi sospesi	60%	50%
COD	35%	35%
azoto	10%	1%
fosforo	10%	1%
cellulosa	32%	79%



Recupero di:

- fango primario celluloso;
- Fosforo;
- Acidi grassi a catena corta

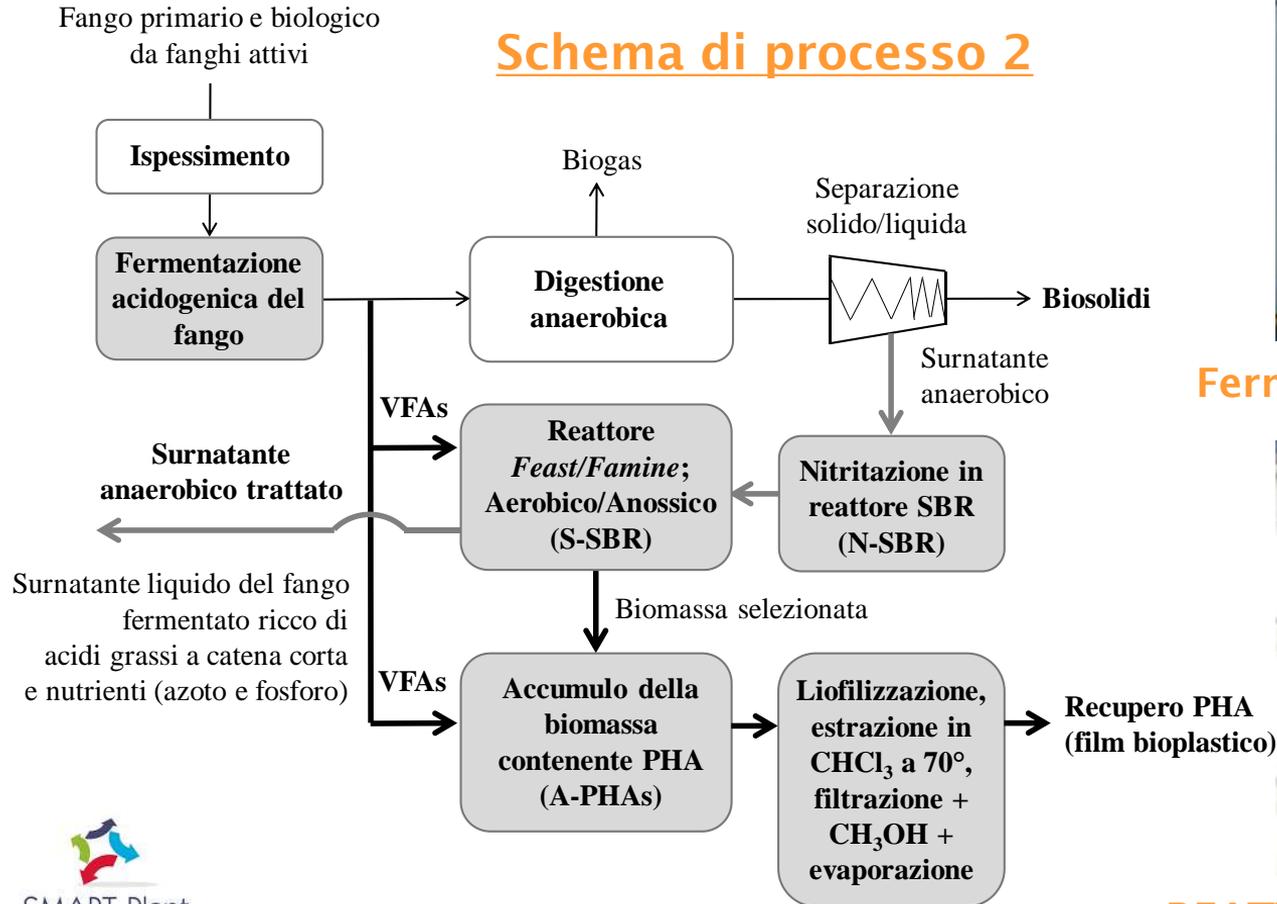
Fango primario celluloso da stacciatura a maglie fini



← Fango primario celluloso

# BIORAFFINERIE URBANE

## Schema di processo 2



Fermentatore + cristallizzatore



REATTORI N-SBR, S-SBR, A-PHAs

# CASO STUDIO

# Configurazioni di processo

## 1 Configurazione attuale

Prevede esclusivamente il **recupero di energia** tramite **digestione anaerobica**

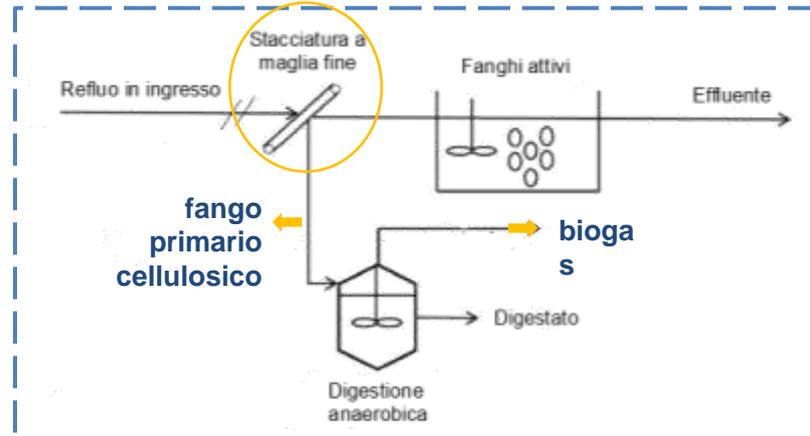


## 2 CPS valorization

Permette di ottenere un fango con un contenuto di sostanza secca maggiore, dal 3 all'8%, rispetto a quello che si può ottenere con la sedimentazione primaria (2-6%)



**incremento della produzione di biogas**



# CASO STUDIO

# Configurazioni di processo

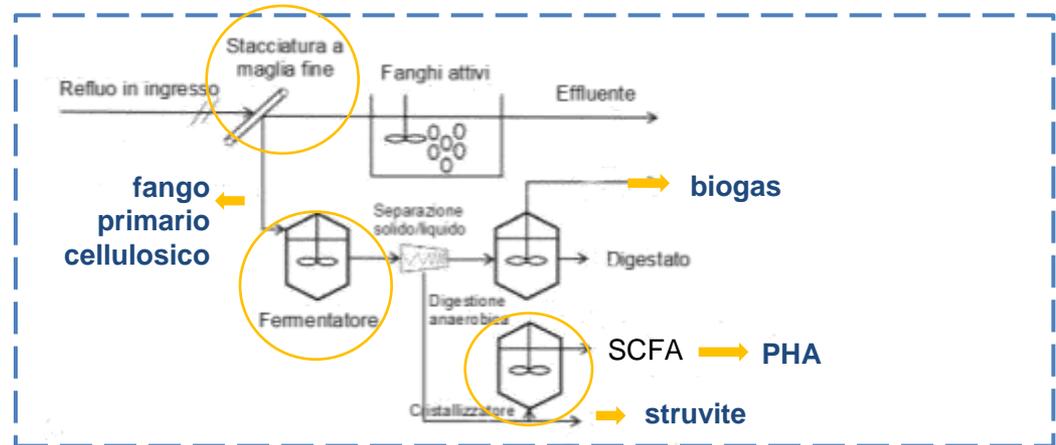
## 1 Configurazione attuale

Prevede esclusivamente il **recupero di energia** tramite **digestione anaerobica**



## 3 CPS based biorefinery

Permette, oltre alla produzione di **biogas**, il recupero di acidi grassi a catena corta (SCFA), a loro volta convertiti in biopolimeri **PHA**, e **struvite**.



# Configurazione attuale

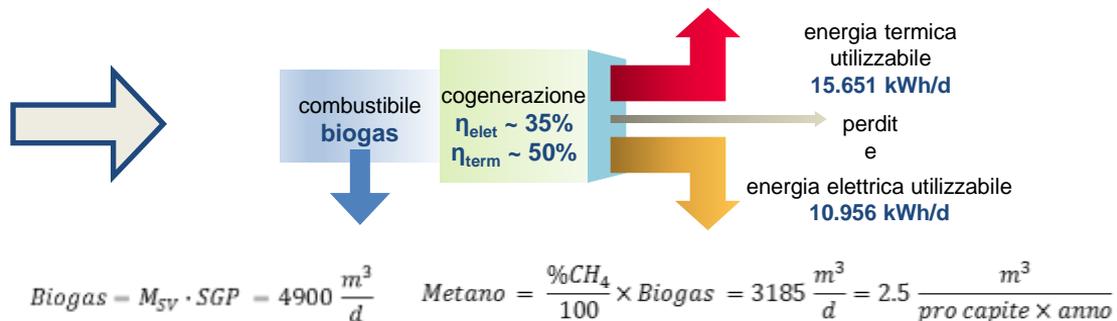
Dati di identificazione dell'impianto *Bari Est*

Parametro	Unità di misura	Valore
Carico agglomerato	A.E.	461394
Carichi idraulici		
Dotazione idrica	l/A.E.·d	220
Coefficiente di afflusso	ad	0.8
Volume medio giornaliero	m <sup>3</sup> /d	81205
Portata di punta	m <sup>3</sup> /h	9920
	l/s	2755
Portata media di calcolo	m <sup>3</sup> /h	3800
	l/s	1055



## ✓ Recupero esclusivo di biogas

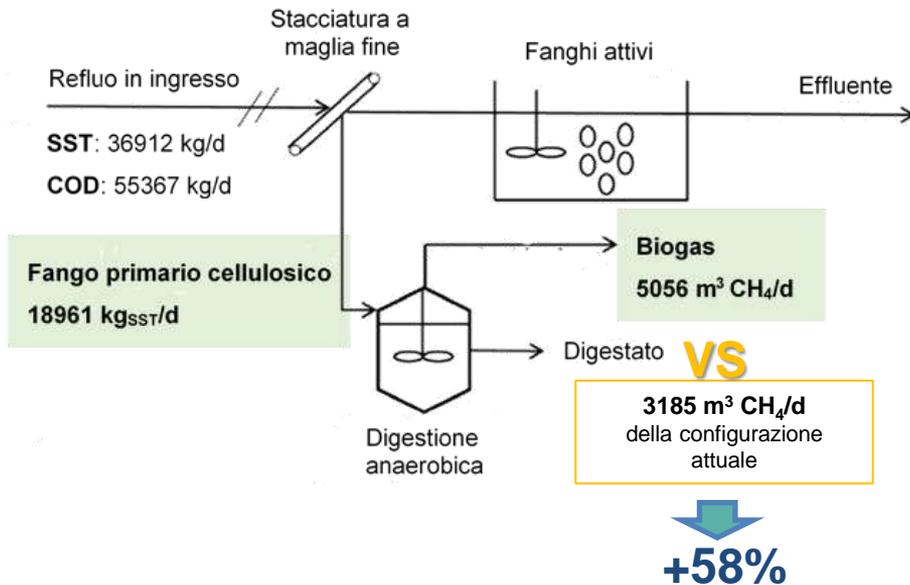
Parametro	Unità di misura	Valore
M <sub>SV</sub> (portata massica)	kg <sub>SV</sub> /d	1478000
%ST	%	2,6
%SV	% <sub>ST</sub>	75
ρ (densità)	t <sub>SV</sub> /m <sup>3</sup>	1
SGP (Prod. specif. Biogas)	m <sup>3</sup> /t <sub>SV</sub>	170
%CH <sub>4</sub>	%	65
M <sub>ST</sub>	kg <sub>ST</sub> /d	38428
M <sub>SV</sub>	kg <sub>SV</sub> /d	28821
Q (portata volumetrica)	m <sup>3</sup> /d	1478



# Configurazione con valorizzazione del CPS

Dati di identificazione dell'impianto Bari Est

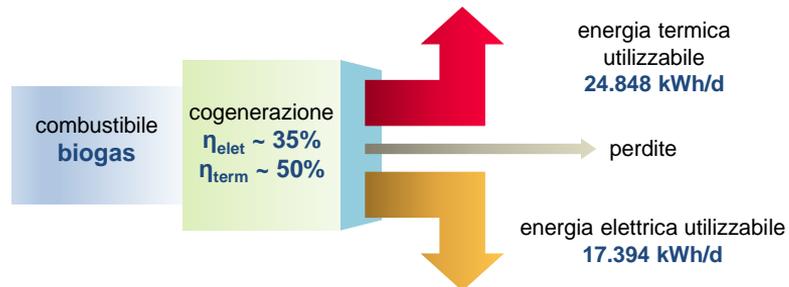
Parametro	Unità di misura	Valore
Carico agglomerato	A.E.	461394
Carichi idraulici		
Dotazione idrica	l/A.E.*d	220
Coefficiente di afflusso	ad	0.8
Volume medio giornaliero	m <sup>3</sup> /d	81205
Portata media di calcolo	m <sup>3</sup> /h	3800
	l/s	1055



✓ Recupero di:

- Fango primario celluloso
- Biogas

"CPS valorization" Bari Est			
	Carico	461394 A.E.	
ingresso	SST	36912 kg/d	30 kg/pro-capite*anno
	COD	55367 kg/d	43 kg/pro-capite*anno
risorse in uscita	CPS	18961 kg <sub>SS7</sub> /d	15 kg/pro-capite*anno
	Biogas	5056 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d	4.0 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /pro-capite*anno



# CPS based biorefinery

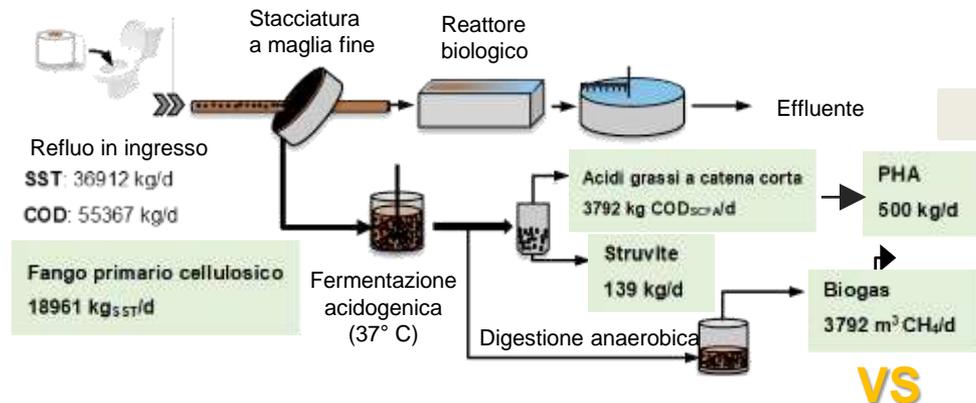
Dati di identificazione dell'impianto *Bari Est*

Parametro	Unità di misura	Valore
Carico agglomerato	A.E.	461394
Carichi idraulici		
Dotazione idrica	l/A.E.-d	220
Coefficiente di afflusso	ad	0.8
Volume medio giornaliero	m <sup>3</sup> /d	81205
Portata media di calcolo	m <sup>3</sup> /h	3800
	l/s	1055

✓ Recupero di:

PHA ↔ biogas  
↔ struvite

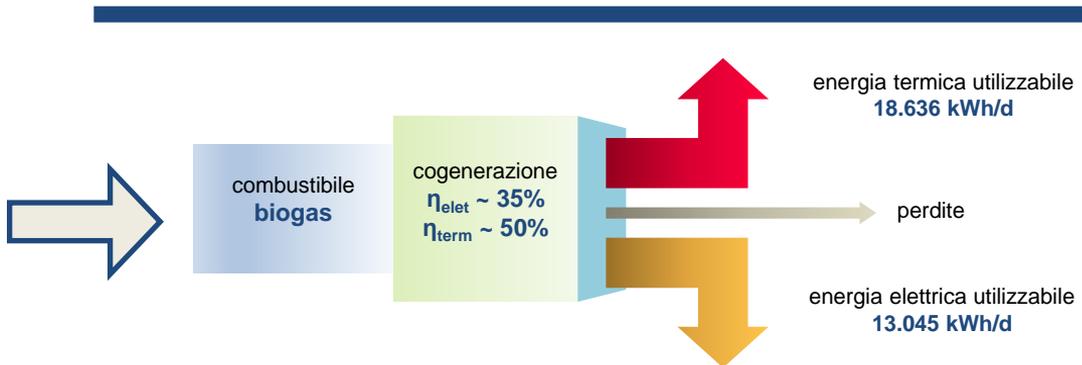
"CPS based biorefinery" Bari Est			
	Carico	461394 A.E.	
ingresso	SST	36912 kg/d	30 kg/pro-capite*anno
	COD	55367 kg/d	43 kg/pro-capite*anno
risorse in uscita	CPS	18961 kg <sub>SST</sub> /d	15 kg/pro-capite*anno
	Biogas	3792 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d	3.0 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /pro-capite*anno
	Struvite	139 kg/d	0.11 kg/pro-capite*anno
	SCFA	3792 kg COD <sub>SCFA</sub> /d	3.0 kg COD <sub>SCFA</sub> /pro-capite*anno
	PHA	500 kg PHA/d	0.4 kg PHA/pro-capite*anno



VS

3185 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d  
della configurazione attuale

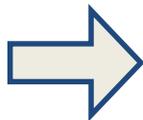
+19%



# CASO STUDIO

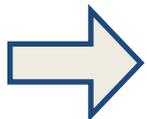
# Valutazione economica

Costi di esercizio di un impianto di depurazione

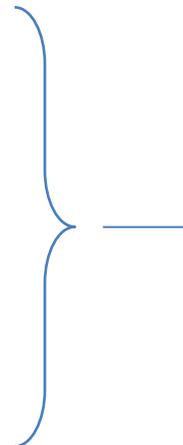


Voce di costo	Unità di misura	Valore
Energia elettrica	€/A.E.*anno	4.20
Disinfezione	"	0.20
Condizionamento fanghi	"	0.20
<b>TOT</b>	"	<b>4.60</b>

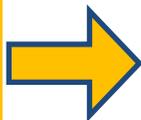
Valore di mercato dei materiali recuperati dalla fermentazione di CPS



Configurazione	Risorsa	Unità di misura	Valore	Unità di misura	Valore	Unità di misura	Valore di mercato stimato	Valore di mercato stimato tot
attuale	metano	m <sup>3</sup> /cap*anno	2,5	€/m <sup>3</sup>	0,30	€/cap*anno	0,75	<b>0,75</b>
"CPS valoriation"	metano	m <sup>3</sup> /cap*anno	4,0	€/m <sup>3</sup>	"	"	1,20	<b>1,20</b>
"CPS based biorefinery"	metano*	m <sup>3</sup> /cap*anno	3,0	€/m <sup>3</sup>	"	"	0,90	<b>2,75</b>
	acetato	kgCOD/cap*anno	1,3	€/kg	0,45	"	0,59	
	propionato	kgCOD/cap*anno	1,17	€/kg	1,01	"	1,18	
	struvite	kg/cap*anno	0,11	€/kg	0,76	"	0,08	



Deficit di gestione per ciascuna configurazione di impianto



Configurazione	Ricavo [€/pro-capite*anno]	Costo [€/pro-capite*anno]	$\Delta = C - R$ [€/pro-capite*anno]
attuale	0.75	4.6	3.85
"CPS valorization"	1.20	n.d.	n.d.
"CPS based biorefinery"	2.75	n.d.	n.d.



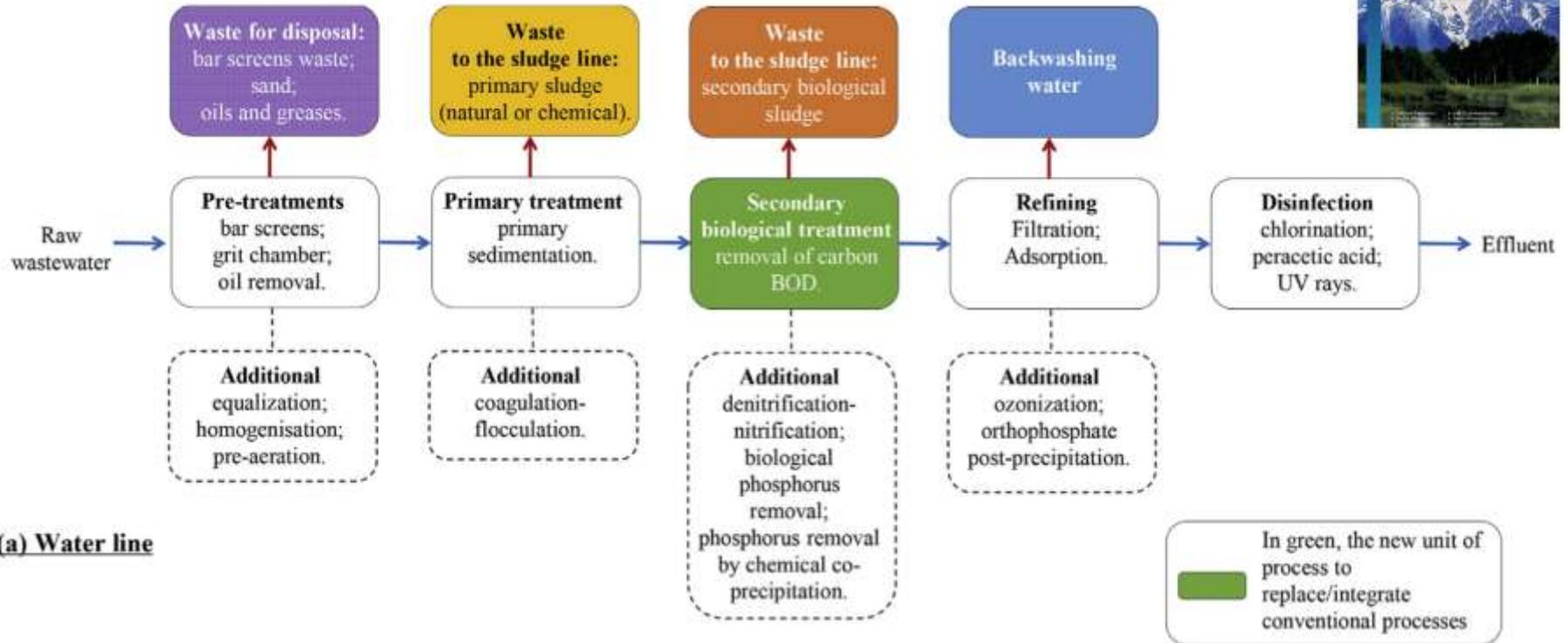
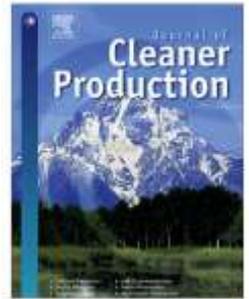
## Presente



## Futuro

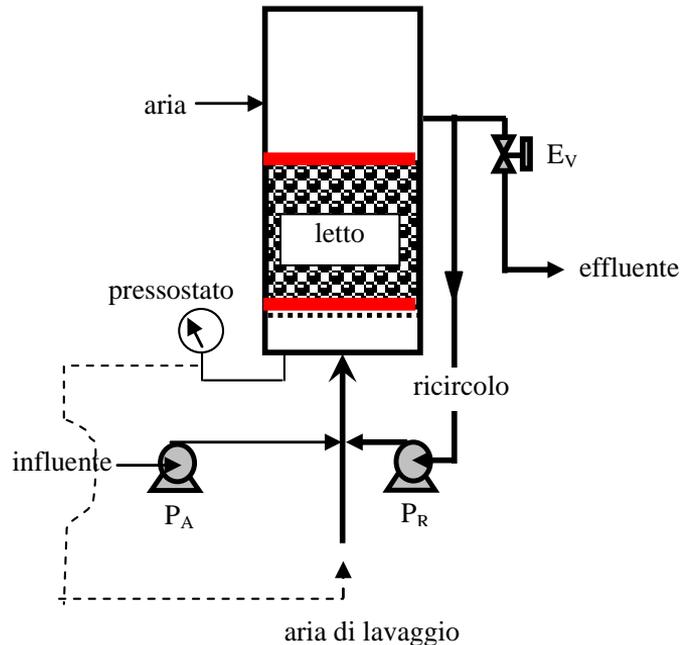


# Linea acque



# SBBGR (Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor)

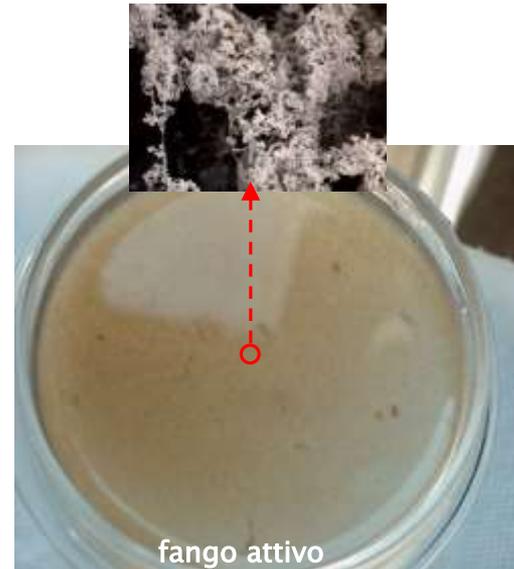
- Il sistema SBBGR è costituito esclusivamente da un unico reattore a flusso ascendente (vedi figura), parzialmente riempito da materiale plastico alla rinfusa, confinato tra due piastre, nel quale si sviluppano processi di ossidazione biologica e dal quale si provvede all'estrazione dell'effluente depurato.



- L'aerazione avviene in una zona esterna al materiale di riempimento (e, pertanto, non richiede l'impiego di diffusori particolarmente complicati);
- una apposita corrente di ricircolo provvede, quindi, a migliorare la distribuzione dell'aria lungo tutta l'altezza del letto;
- In tale corrente di ricircolo è anche possibile dosare aria e/o ossigeno puro gassoso ottenendo, così, concentrazioni di ossigeno disciolto maggiori di quelle di saturazione dell'aria;
- Un pressostato, posizionato sul fondo del reattore, misura on-line le perdite di carico derivanti dalla crescita della biomassa e dai solidi, presenti nel refluo, trattenuti per filtrazione;
- Al raggiungimento di un determinato valore delle perdite di carico, si effettua l'operazione di lavaggio, eseguita con sola aria in pressione;
- L'elevata porosità del materiale di riempimento utilizzato (0,7-0,8) e le caratteristiche della biomassa che si sviluppa (elevata densità e compattezza) consentono di allungare significativamente la durata della fase di servizio, riducendo le frequenze di controlavaggio.

## SBBGR (Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor)

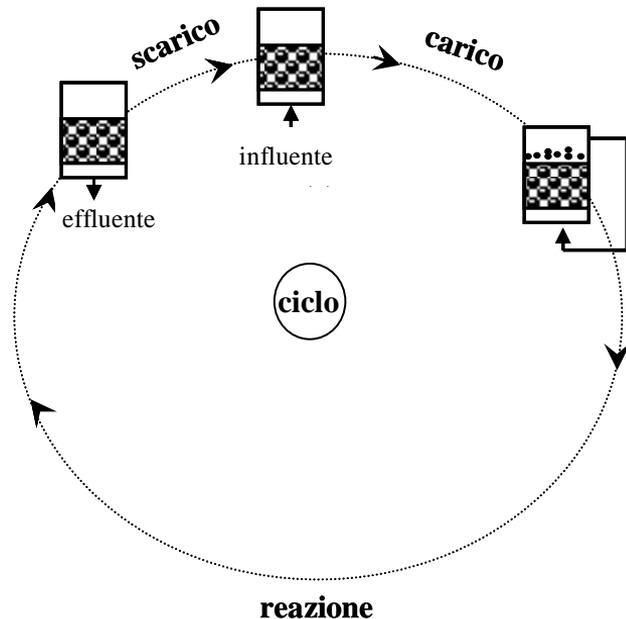
- Tali condizioni favoriscono, inoltre, un aumento sostanziale della concentrazione della biomassa all'interno del rettore (fino ad un ordine di grandezza maggiore di quelle presenti nei sistemi di trattamento tradizionali), con conseguente riduzione della produzione di fango (elevate età del fango).



**Foto con relativo ingrandimento di un campione di biomassa granulare ed uno di fanghi attivi**

# SBBGR (Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor)

- Il funzionamento di un sistema SBBGR è estremamente semplice e si basa su una successione di cicli di trattamento.
- Ciascun ciclo (vedi figura 8) è composto da tre fasi consecutive: carico (o riempimento), reazione e scarico;

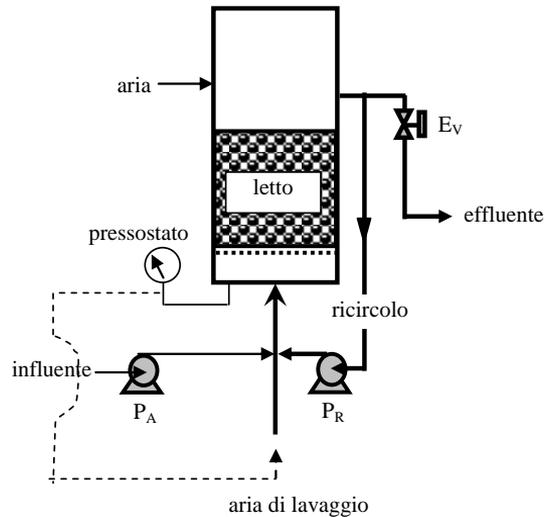


- Una pompa (PA) immette il refluo nel reattore durante la fase di riempimento.
- Alimentato il volume di influente prefissato, si attiva la pompa di ricircolo (PR) che fa fluire continuamente il refluo e l'ossigeno attraverso il letto del reattore, nel quale ha luogo la rimozione degli inquinanti ad opera della biomassa ivi presente (fase di reazione);
- Quando l'effluente è stato completamente allontanato dal sistema, l'impianto è pronto per un nuovo ciclo di trattamento uguale al precedente.

# TRATTAMENTI BIOLOGICI NON CONVENZIONALI

## SBBGR

L'SBBGR consente ulteriormente di ridurre la produzione di fango biologico:



- Si è osservata una produzione di fango di 0,1 kg (fango secco) per kg di COD rimosso, **5-6 volte più bassa** rispetto ai fanghi attivi convenzionali



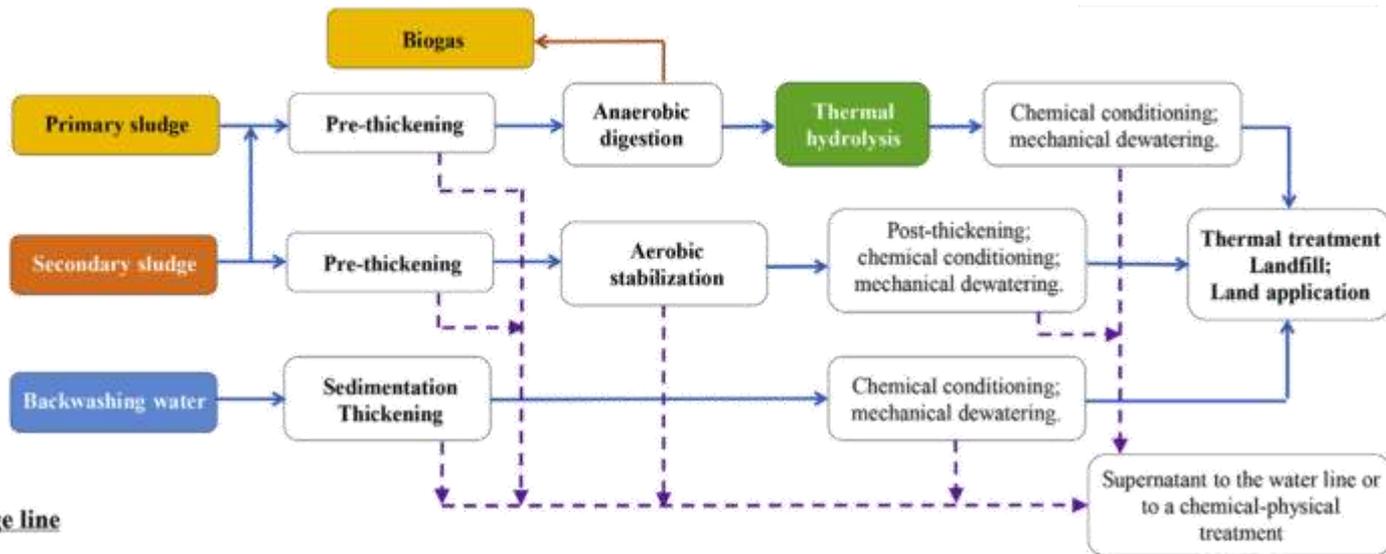
Water Research  
Volume 44, Issue 6, March 2010, Pages 1825-1832



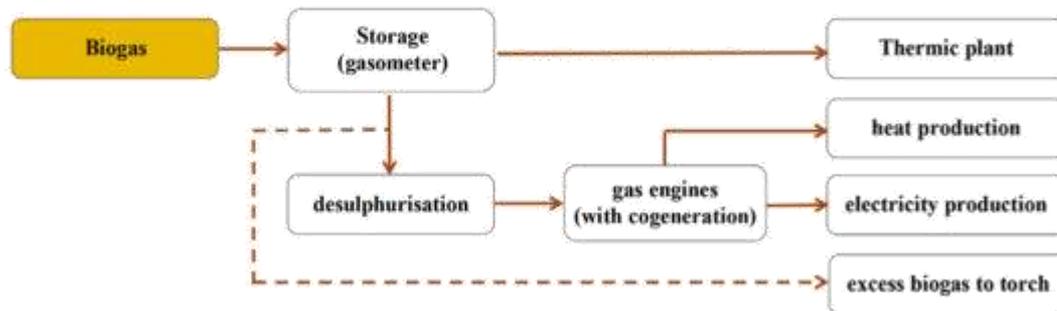
SBBGR technology for minimising excess sludge production in biological processes

Claudio Di Iaconi <sup>a</sup>, Marco De Sanctis <sup>b</sup>, Simona Rossetti <sup>b</sup>, Roberto Ramadori <sup>b</sup>

# Linea fanghi



(b) Sludge line

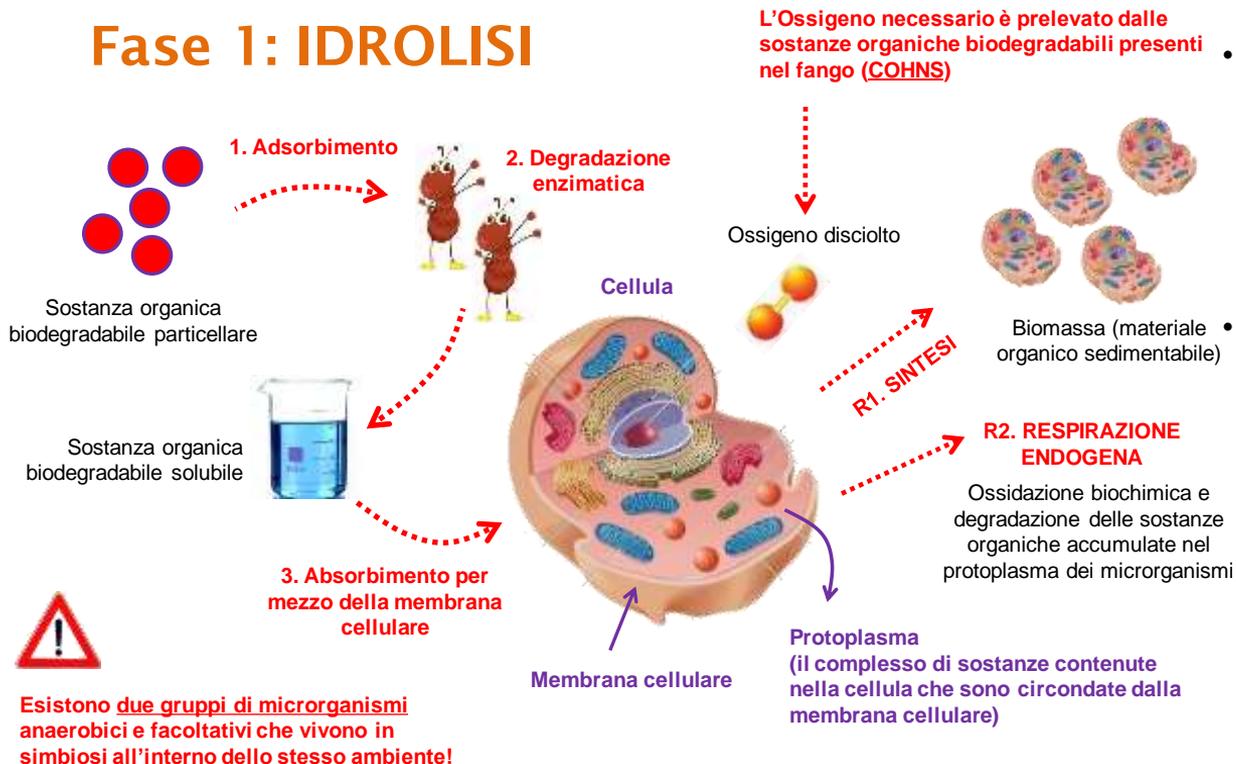


(c) Biogas line



# Digestione anaerobica e idrolisi termica

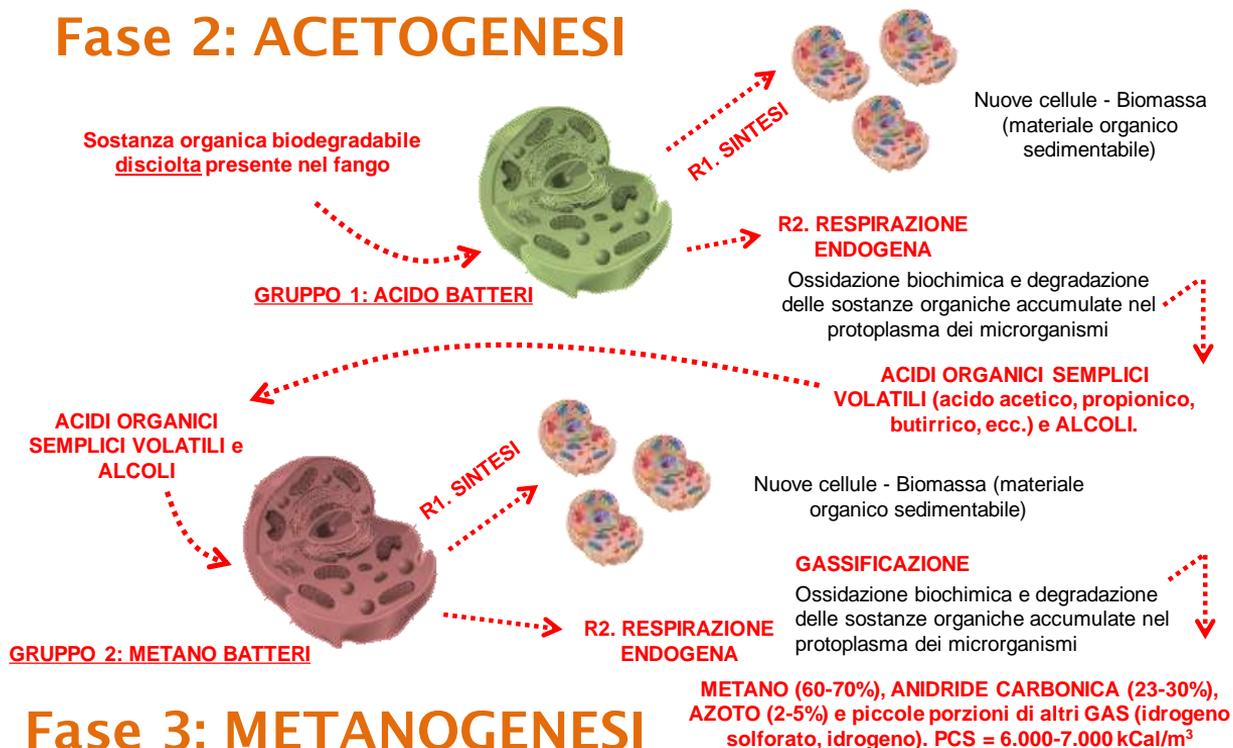
## Fase 1: IDROLISI



- La fase di idrolisi avviene prioritariamente all'interno dei convenzionali digestori anaerobici, e condiziona notevolmente le successive fasi di acidogenesi e metanogenesi;
- Nel processo di idrolisi le componenti organiche vengono infatti frazionate e sciolte nell'acqua grazie alla rottura delle strutture cellulari del fango stesso: i composti derivanti dal processo (soprattutto acidi organici) vengono trasformati in biogas nelle successive fasi di digestione;

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Fase 2: ACETOGENESI



## Fase 3: METANOGENESI

- Dato il più basso tasso di crescita dei metanobatteri rispetto ai produttori di acidi (acidobatteri), l'andamento del loro sviluppo è fattore limitante nello sviluppo generale delle reazioni biologiche di stabilizzazione del fango;
- Pertanto, la stabilizzazione del fango avverrà soltanto se nel digestore si sviluppino condizioni tali da consentire la vita dei metano batteri.
- Per tale motivo, sarà necessario garantire un pH sufficientemente alcalino (> 6,2), assenza di ossigeno disciolto nel reattore, alimentazione del digestore più progressiva possibile, massa di fango efficacemente miscelata.

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

- La digestione anaerobica può sfruttare tre fasce ben distinte di temperatura, che condizionano le volumetrie necessarie al trattamento: (1) Psicofila; (2) Mesofila; (3) Termofila.

## Digestione termofila

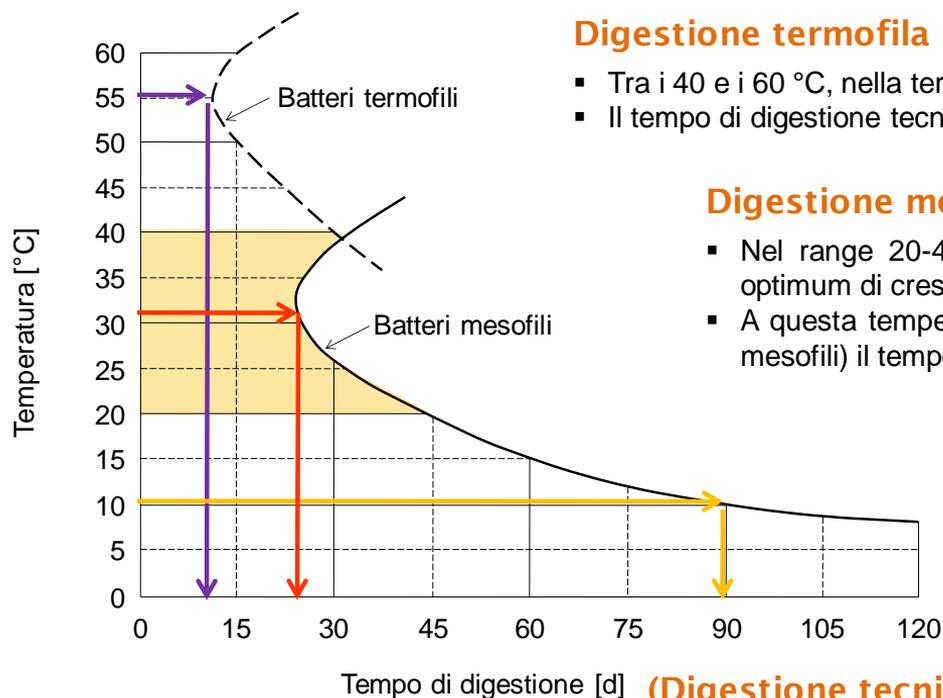
- Tra i 40 e i 60 °C, nella terza fascia di temperatura, prevalgono i batteri termofili.
- Il tempo di digestione tecnica è in genere inferiore a 15-20 giorni.

## Digestione mesofila

- Nel range 20-40 °C, prevalgono i batteri mesofili, che hanno un optimum di crescita a 32 °C.
- A questa temperatura (che è la temperatura operativa dei digestori mesofili) il tempo di digestione tecnico scende a circa 25 giorni.

## Digestione psicofila

- I batteri psicofili si sviluppano entro i 20 °C e sono responsabili della digestione a freddo;
- La digestione del fango avviene in circa 90 giorni.



Tempo di digestione [d] (Digestione tecnica del fango)

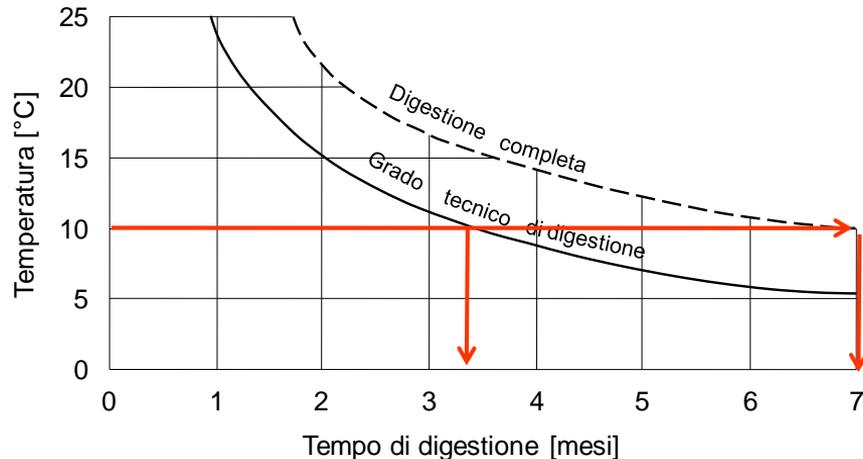
**Classificazione dei digestori**

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## “Digestione tecnica” del fango

### Digestione tecnica del fango

- La digestione del fango nel grafico precedente è in senso tecnico.
- Per **digestione tecnica s'intende una digestione parziale** ma accettabile ai fini di un corretto smaltimento.
- Invece, la **digestione completa prevede la mineralizzazione completa di tutte le sostanze organiche biodegradabili.**



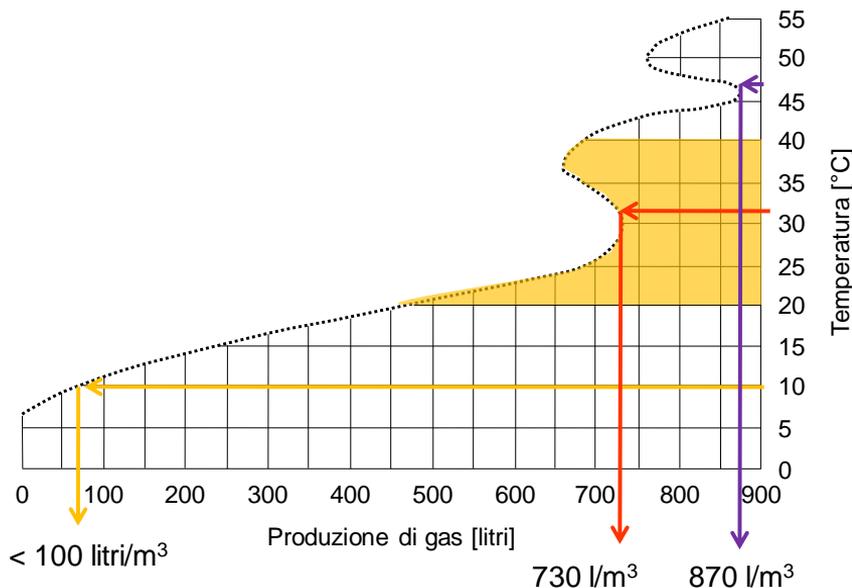
- Alla temperatura di 10°C, il tempo di digestione tecnico è intorno ai 3 mesi (**90 giorni**).
- Mentre, il tempo di digestione completa è oltre **6 mesi**.

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Produzione di gas biologico

### Produzione del gas biologico

- Come ben noto, maggiore è la temperatura nel reattore è più velocemente si sviluppano le reazioni in gioco. Conseguentemente, la produzione di gas biologico (o biogas), uno degli output della digestione anaerobica, **s'incrementa all'aumentare della temperatura d'esercizio nel reattore.**

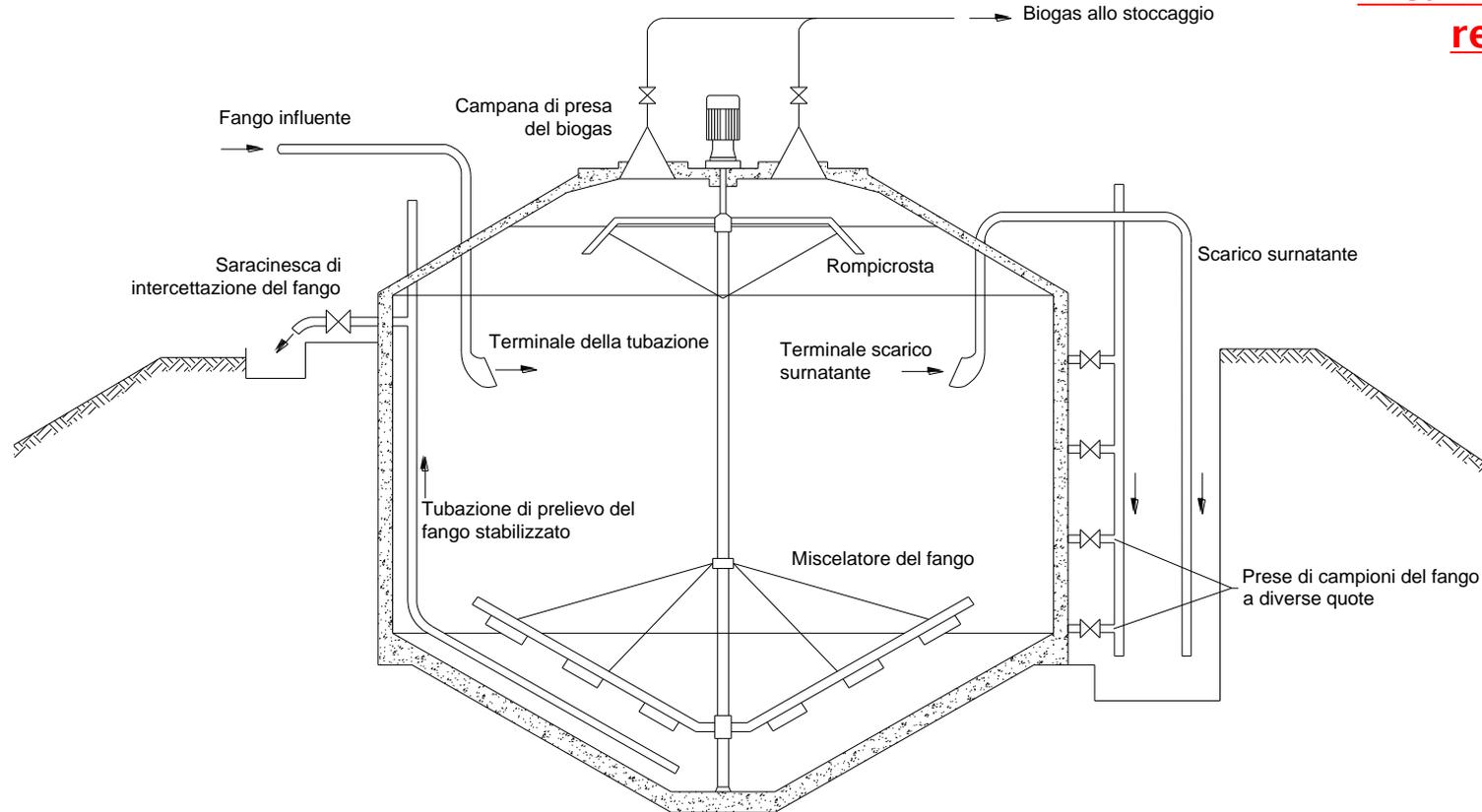


#### Considerazioni su Digestione termofila

- Se s'intende privilegiare la **velocità di digestione** si può operare a **55 °C** (con un tempo di digestione tecnica inferiore a 15 giorni);
- Mentre se si vuole favorire la **produzione di biogas**, senza ricorrere a temperature particolarmente elevate, **che richiedono efficienti sistemi di coibentazione**, si può anche operare intorno ai **45 °C**, con tempi di digestione tecnica di circa **20 giorni**.

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

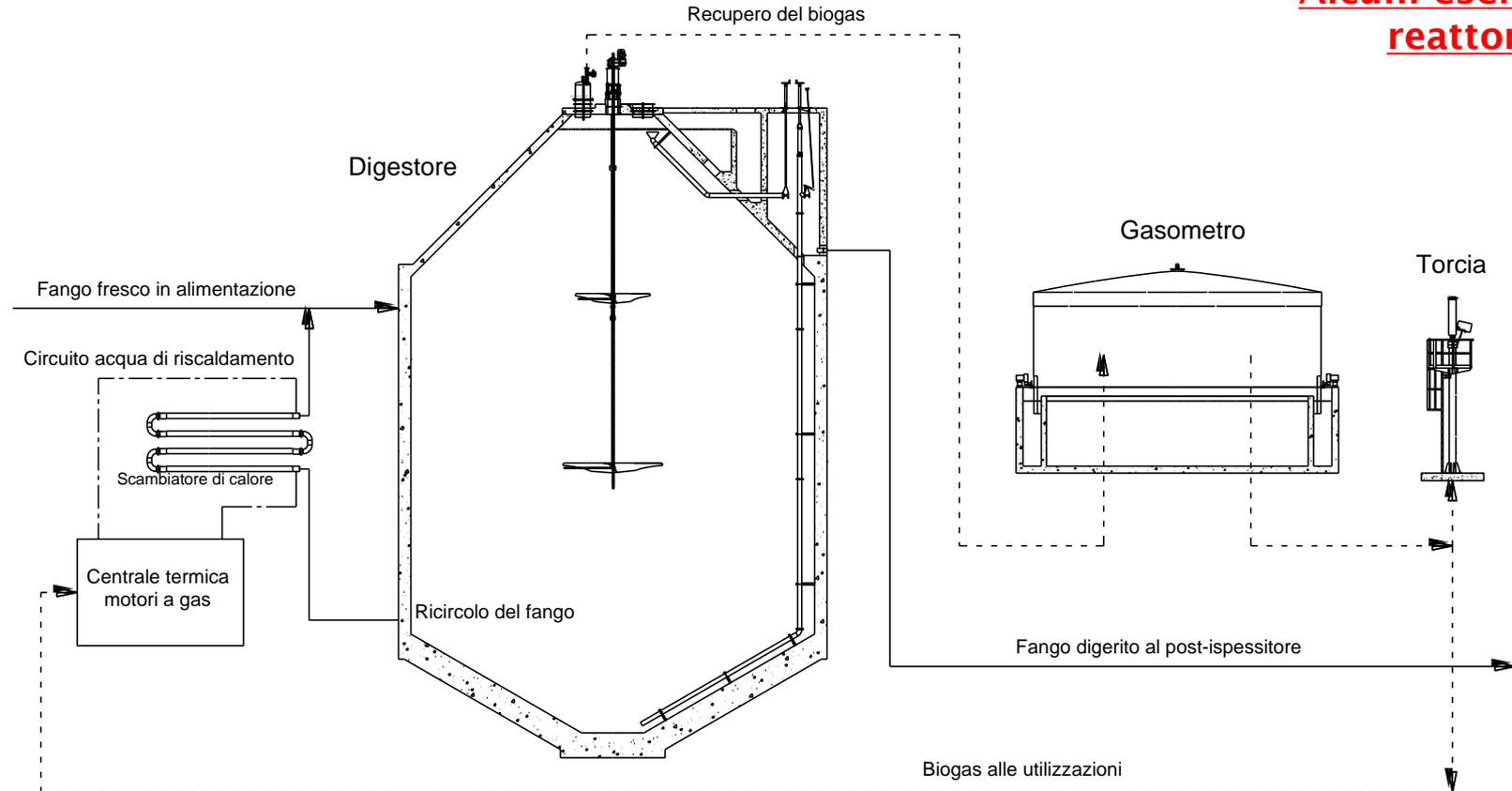
## Alcuni esempi di reattori



Digestione a singolo stadio psicrofila (digestione fredda)

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

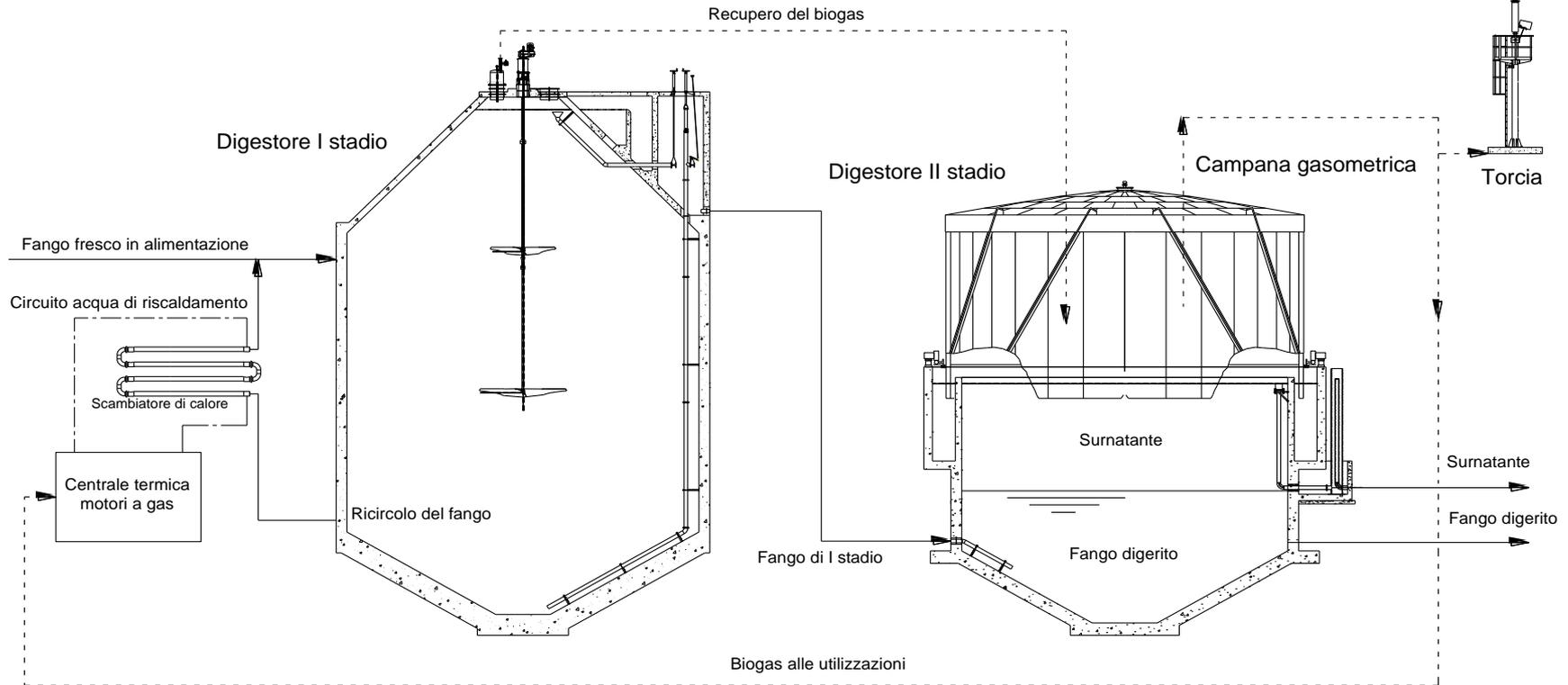
**Alcuni esempi di reattori**



**Digestione a singolo stadio riscaldata (reattore mesofilo)**

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

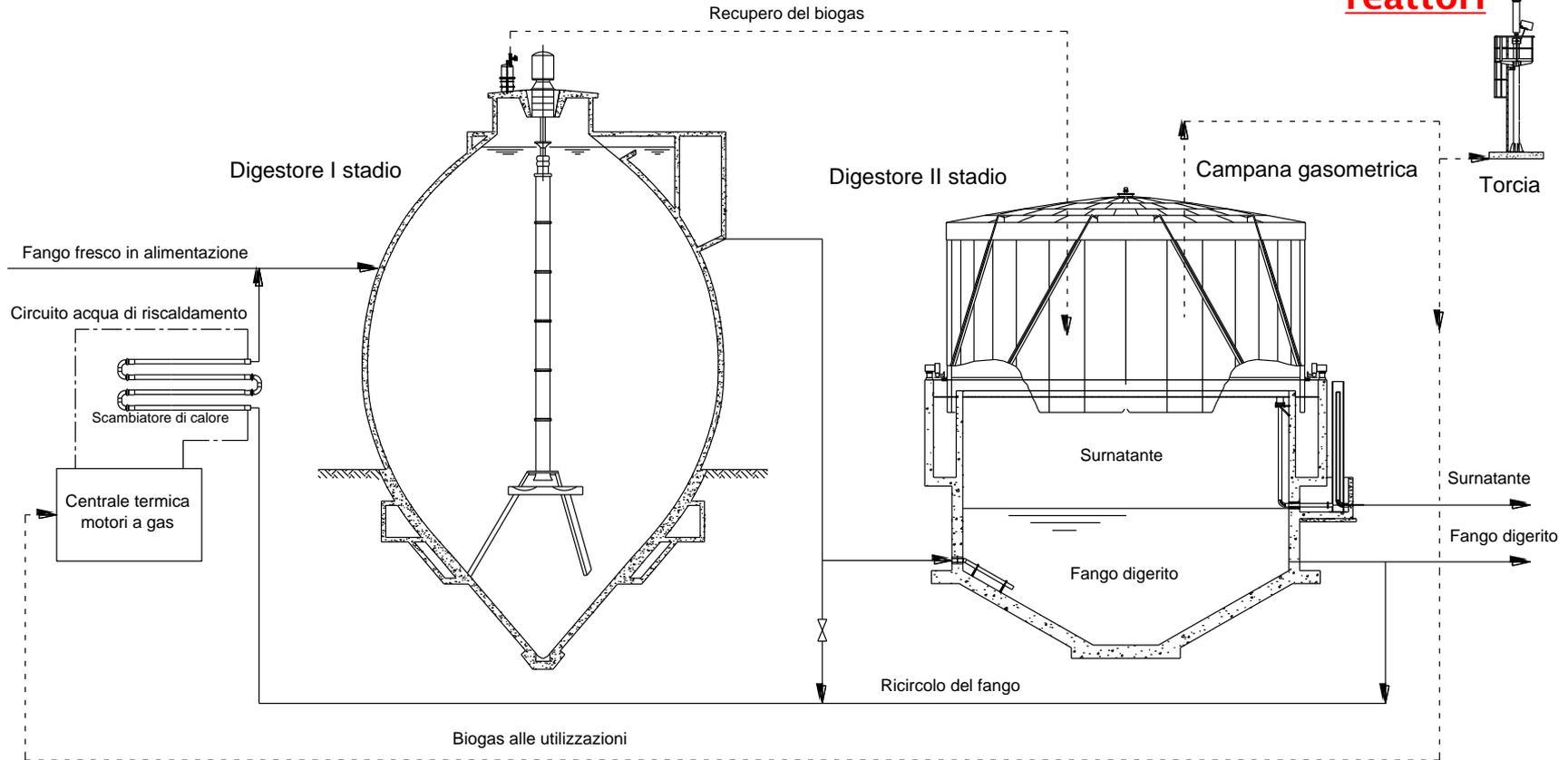
## Alcuni esempi di reattori



**Digestione a doppio stadio riscaldata senza ricircolo**

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Alcuni esempi di reattori



**Digestione a doppio stadio con ricircolo dei fanghi e con campana gasometrica realizzata sul digestore del secondo stadio**

## Digestione anaerobica e idrolisi termica

- La fase di idrolisi può essere accelerata mediante processi di disintegrazione che possono essere condotti per via meccanica, termica o chimica;
- Il processo di idrolisi termica sfrutta le variazioni di temperatura e pressione operativa all'interno di appositi reattori, al fine di favorire la disintegrazione delle componenti organiche;
- Tale processo può essere applicato secondo due differenti modalità, a seconda della tipologia di impianto e in particolare degli obiettivi che si vogliono raggiungere tramite la sua implementazione:
  - **A monte della digestione anaerobica**, se la priorità è quella di aumentare le prestazioni del comparto di digestione;
  - **A valle della digestione anaerobica**, se la priorità è quella di privilegiare la disidratabilità del fango e ridurre il volume in uscita dalla linea.

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a monte

- L'idrolisi termica applicata a monte della digestione produce, in alimentazione al digestore, una quantità di substrato solubile maggiore di quella che è normalmente raggiunta all'interno di un digestore tradizionale;
- La digestione metanigena si dimostra dunque più veloce e produce una quantità maggiore di biogas;
- Il fango sottoposto ad idrolisi termica subisce una riduzione della viscosità, consentendo l'alimentazione del successivo comparto di digestione con un flusso caratterizzato da concentrazioni di sostanza secca pari al 10-12 %;
- Inoltre, l'idrolisi, incrementando la solubilità del fango, assicura un aumento della velocità delle reazioni biologiche di degradazione della materia organica e di produzione di metano, con un abbattimento del tempo di permanenza minimo del fango nei digestori (15 giorni contro gli usuali 18-21 gg).

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a monte

- Nel processo brevettato THP<sup>®</sup> (Thermal Hydrolysis Process) per l'idrolisi termica a monte della digestione, i fanghi vengono riscaldati ad una temperatura di 170°C alla pressione di 8 bar per un tempo di circa 45 minuti;
- Il processo viene realizzato in una unità modulare compatta composta da differenti reattori in serie, di seguito riportati:
  - **Pre-disidratazione e stoccaggio del fango**  
(il fango è disidratato fino ad ottenere un secco nel range 15-20%);
  - **Riscaldamento del fango nel pulper**  
(miscelato con acqua calda e vapore riciclato dai reattori e dal serbatoio flash);
  - **Idrolisi termica nel reattore**  
(170°C, pressione 8-12 bar per un tempo di circa 30- 45 minuti).

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a monte

- **Raffreddamento del fango idrolizzato;**
  - In seguito all'idrolisi, il fango è inviato al serbatoio flash, in cui la pressione e la temperatura del fango idrolizzato diminuiscono a causa del flussaggio del vapore al pulper.
  - Da ultimo il fango viene quindi avviato ad uno scambiatore di calore per riportare la sua temperatura a quella corretta per l'invio alla digestione mesofila (che non necessiterà più di ulteriore riscaldamento attraverso gli scambiatori di calore.
  - La concentrazione del fango viene in questa fase corretta affinché sia compresa tra il 10 e il 12% di sostanza secca.
  - L'energia rilasciata dallo scambiatore è usata per scaldare le acque che devono essere fornite allo stadio del pulper e come acqua d'alimentazione per il generatore di vapore.

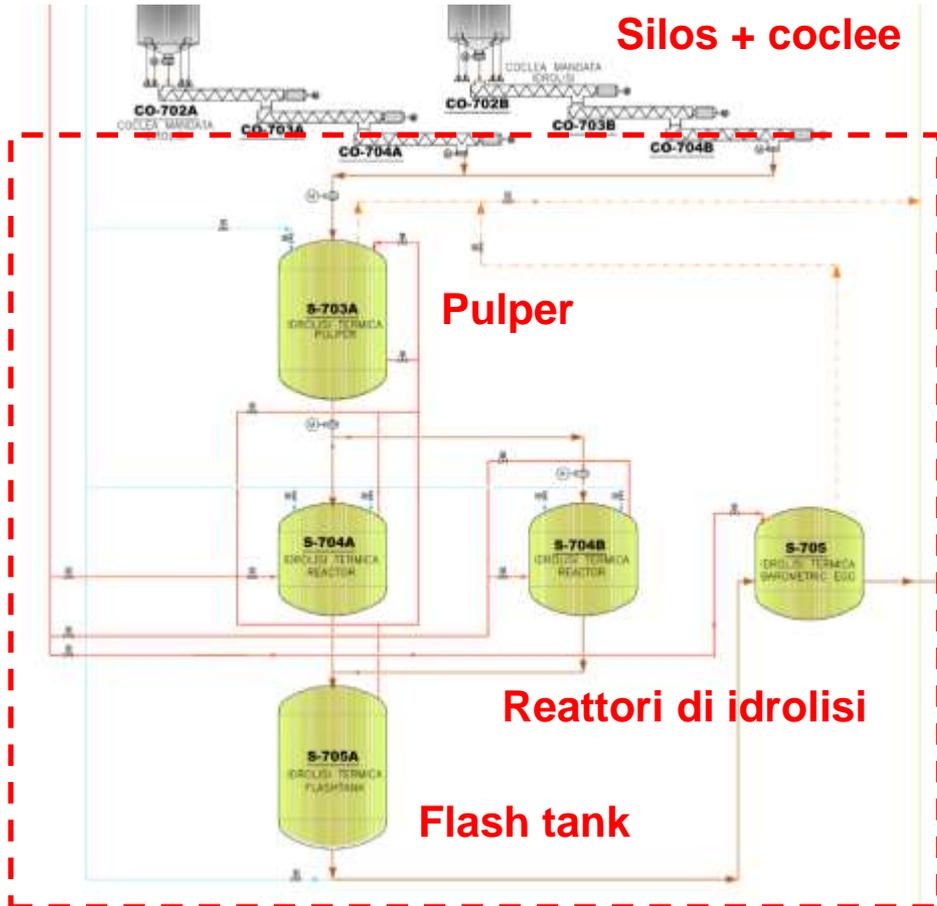
# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a monte

- **Digestione anaerobica (mesofila)**
  - Il fango idrolizzato viene dunque inviato ad un digestore convenzionale, ove viene stabilizzato anaerobicamente e successivamente recapitato alla disidratazione finale tramite la quale si possono ottenere valori di concentrazione in secco fino al 40%.
- **Disidratazione finale del fango digerito.**

# Impianto di depurazione di Genova DAC: idrolisi termica

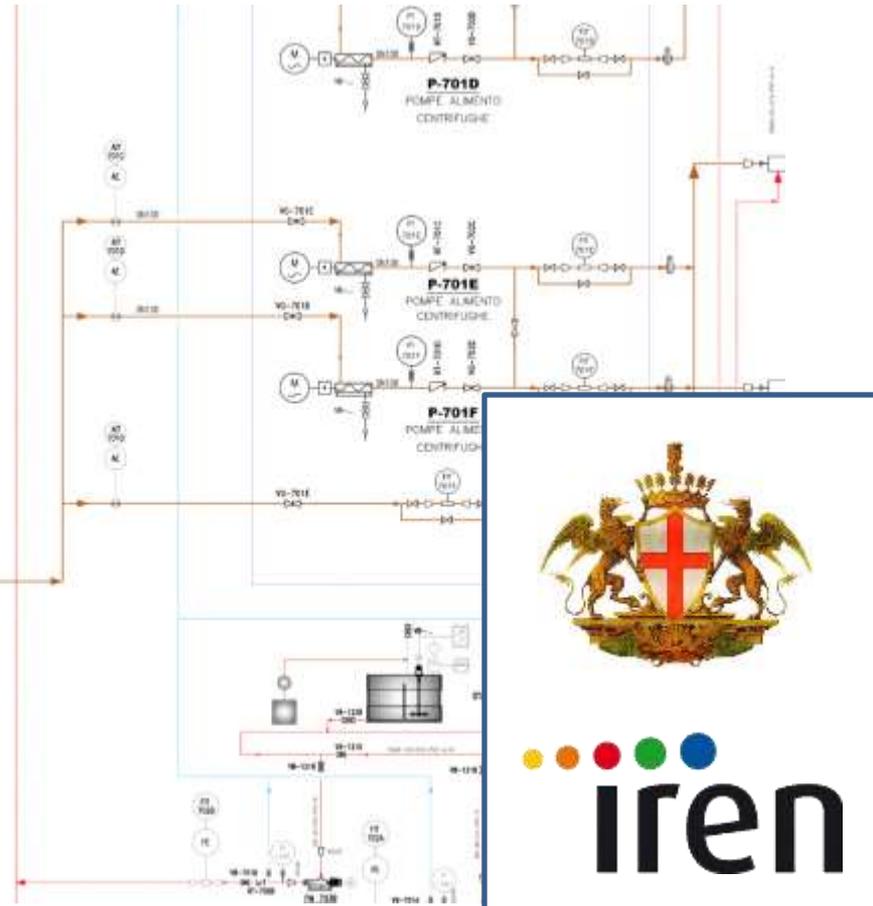
Silos + coclee



Pulper

Reattori di idrolisi

Flash tank

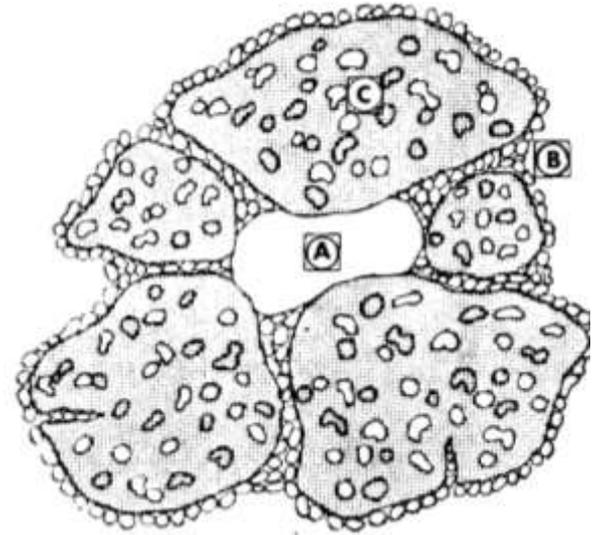


iren

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a valle

- L'applicazione dell'idrolisi termica a valle della digestione è finalizzata ad ottenere concentrazioni di secco più elevate nel fango in uscita dal trattamento, con conseguente riduzione del volume di fango da smaltire e dei relativi costi associati;
- Il fango risulta essere molto più facilmente ed efficacemente disidratabile a causa del rilascio dell'acqua particellare e alla elevata temperatura alla quale avviene la disidratazione meccanica finale;
- Il fango digerito viene alimentato all'unità di idrolisi termica e successivamente ad un apposito comparto di disidratazione finale.

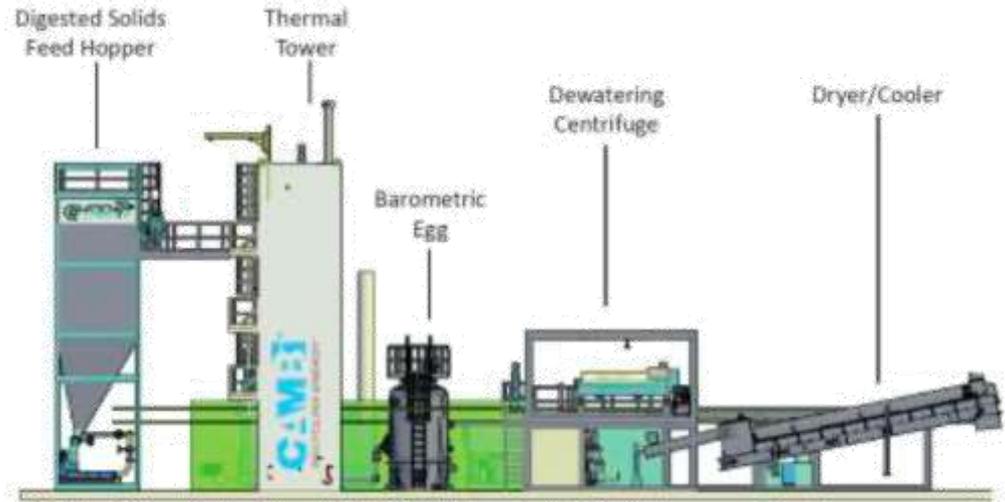


- **(A) = Acqua interparticellare (o "libera")**
  - 70-75%
  - (Gravità o disidratazione naturale)
- **(B) = Acqua interstiziale (o "legata")**
  - 20%
  - Condizionamento e filtrazione
- **(C) = Acqua particellare (o "cellulare")**
  - 5-10%
  - Essiccamento termico

# Digestione anaerobica e idrolisi termica

## Idrolisi termica a valle

- Pre-disidratazione meccanica al fine di ottenere una concentrazione in secco pari al 16%;
- Sistema di alimentazione al pulper (Digested solids feed hopper);
- Unità di trattamento termico (Thermal Tower);
- Sistema di alimentazione alla centrifugazione finale (Barometric egg);
- Centrifugazione finale (Dewatering Centrifuge);
- Sistema di raffreddamento del fango in uscita (Dryer/Cooler).



Durante il processo di idrolisi, condotto a temperatura di 165°C e pressione di 6 bar, le strutture cellulari del fango vengono disintegrate e disciolte nell'acqua. Il fango passa al successivo serbatoio flash, in cui subisce un rapido decremento della pressione e si realizza il trasferimento del vapore al pulper.

## CONCLUSIONI

- Le recenti conoscenze in campo tecnologico tendono a trasformare la visione di un «normale» impianto di depurazione così come lo conosciamo;
- Ad oggi, ci sono varie opportunità teoriche per il recupero di materia ed energia; di contro, ancora limitate sono le applicazioni a livello tecnologico;
- Tra i principali colli di bottiglia ci sono la non maturità delle tecnologie a scala reale, la mancanza di effettiva destinazione dei materiali recuperati e accettazione a livello sociale;
- Emergono nuove opportunità di ottimizzazione degli impianti esistenti quali SBBGR, Idrolisi termica dei fanghi.

# BISOGNA IMPARARE A CAMMINARE PRIMA DI CORRERE!



**Recenti misure di infrazione  
della Comunità Europea nei  
riguardi dell'ITALIA**





Politecnico di Bari

**Dr. ing. Sabino DE GISI**  
**Prof. ing. Michele NOTARNICOLA**  
**DICATECh, Politecnico di Bari**  
**Via E. Orabona n. 4, 70125 Bari**

**[sabino.degisi@poliba.it](mailto:sabino.degisi@poliba.it)**

*Sabino De Gisi, Michele Notarnicola – Tecnologie non convenzionali il trattamento delle acque reflue urbane nell'ottica dell'economia circolare  
BARI, 20/11/2019 convegno: Ottimizzazione del processo di trattamento delle acque reflue: l'efficienza nelle soluzioni progettuali e nella gestione operativa*