



**54<sup>a</sup> Giornata  
di Studio**

**IL RECUPERO DI  
RISORSE NEGLI  
IMPIANTI DI  
DEPURAZIONE:  
realtà e  
prospettive**

**24 maggio 2017**

# **POTENZIALITÀ TEORICHE DI RECUPERO DI MATERIA ED ENERGIA E INTERAZIONI**

**Paola Foladori**

***Dipartimento di Ingegneria  
Civile, Ambientale e Meccanica***

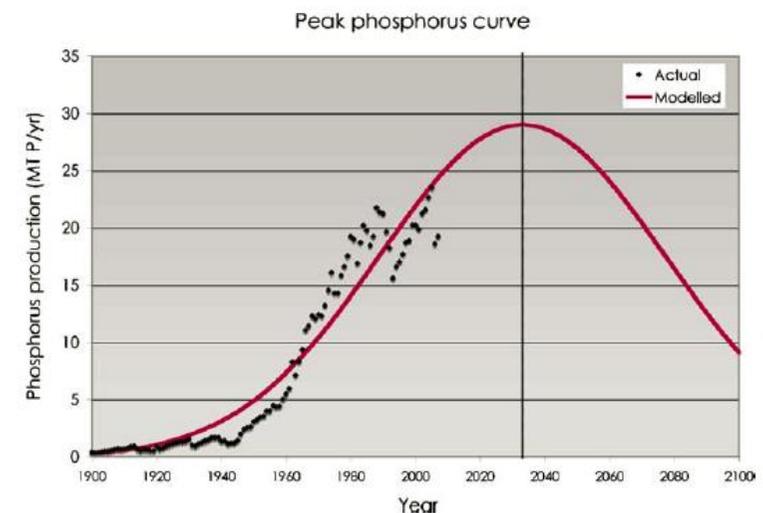
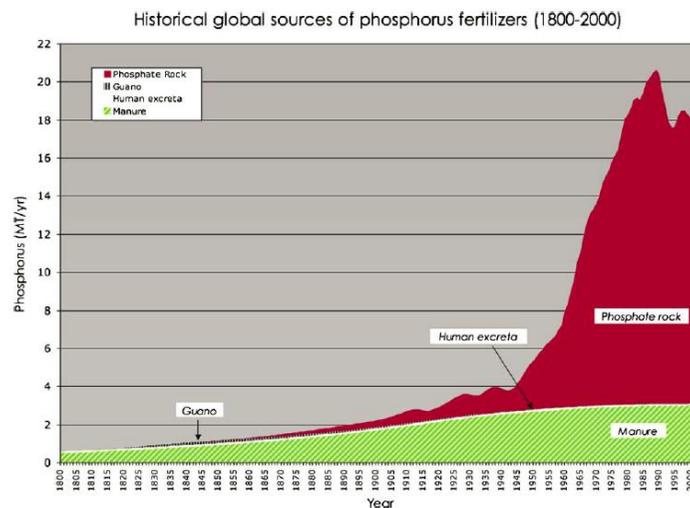
***Università degli Studi di Trento***

# COME SI DISTINGUE UN «INQUINANTE» DA UNA «RISORSA»?

□ dipende da:

- utilizzo potenziale che si può fare (N, P impattano sui corpi idrici ma sono utili per il riutilizzo agricolo)
- concentrazione nelle acque
- grado di purezza o contaminazione della risorsa da recuperare
- complessità delle operazioni di separazione dalle acque
- risorsa limitata sul pianeta?

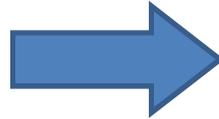
## ➔ Esempio del fosforo



# 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

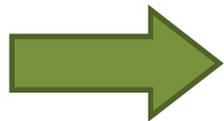


Il depuratore è **origine di risorse valorizzabili** → recupero centralizzato di energia e di materia prodotta in modo diffuso in un bacino

- 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:**

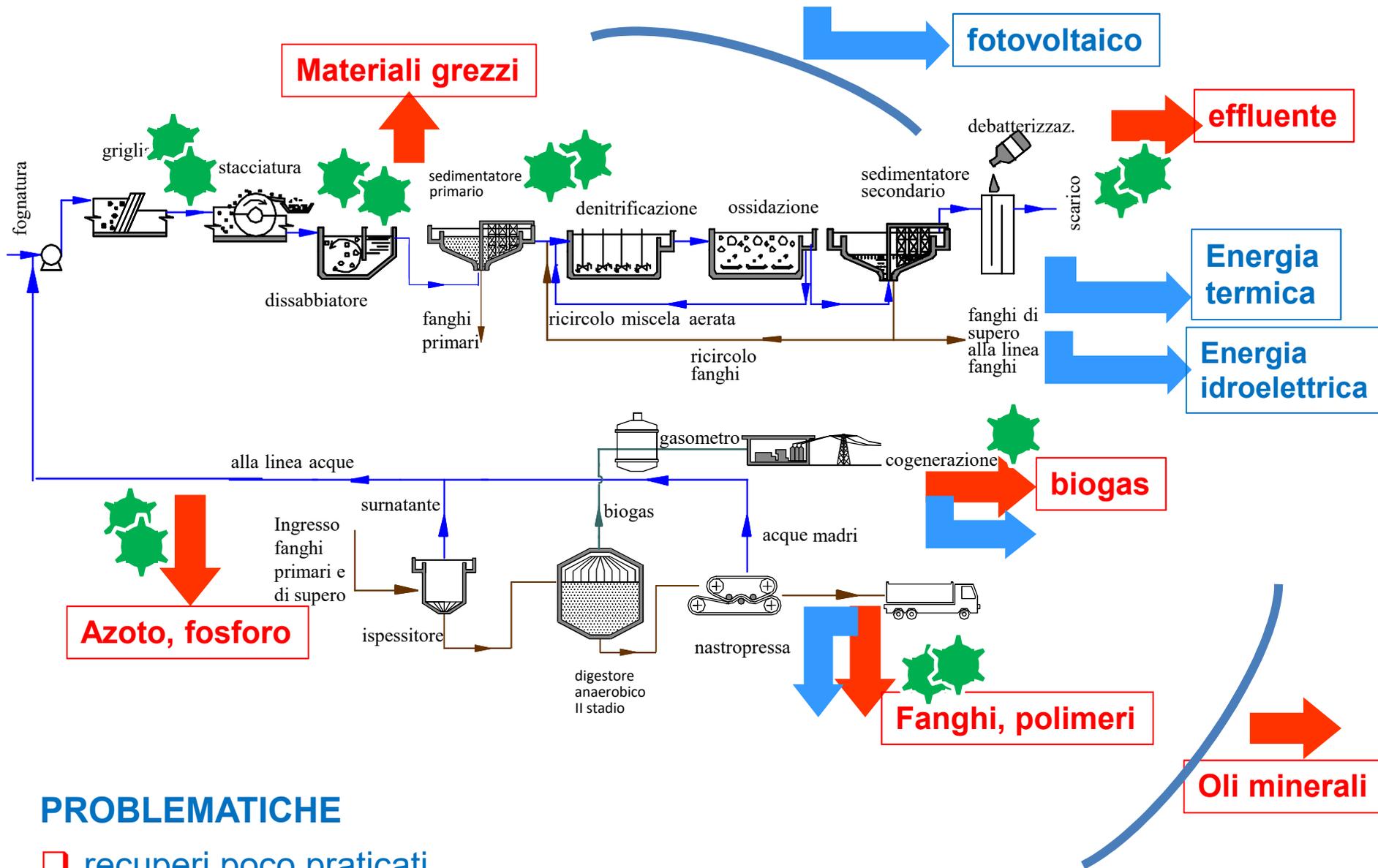
- Recupero energetico quasi esclusivamente da **biogas** nella digestione anaerobica
- copertura del **25-50%** del consumo energetico del depuratore, 0.3-0.6 kWh/m<sup>3</sup>
- tale recupero è **solo 1/10** del contenuto energetico della sostanza organica contenuta nel refluo



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

□ **possibili recuperi in futuro: 1. energia, 2. materiali e acqua.**

# Recuperi teorici di materia e di energia: *macro-flussi*



## PROBLEMATICHE

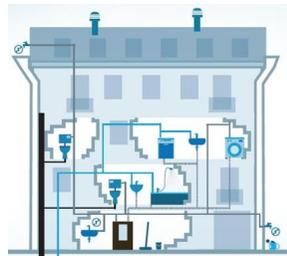
- ❑ recuperi poco praticati
- ❑ realizzati in molteplici punti, ma opportunità molto frammentate, non integrate

# ENERGIA: Quanta e quale tipo di energia nelle acque reflue?

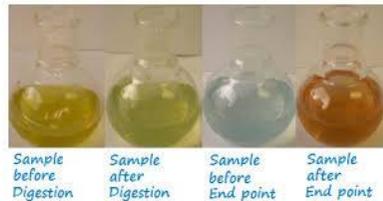
- **Energia potenziale:** dipende da topografia, quota geodetica



- **Energia termica:** acque grigie più calde rispetto ai recettori



- **Energia chimica:** principalmente contenuta nella sostanza organica



**ESEMPIO – ENERGIA POTENZIALE**  
con 200 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e un salto di 50 m  
→ 10 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

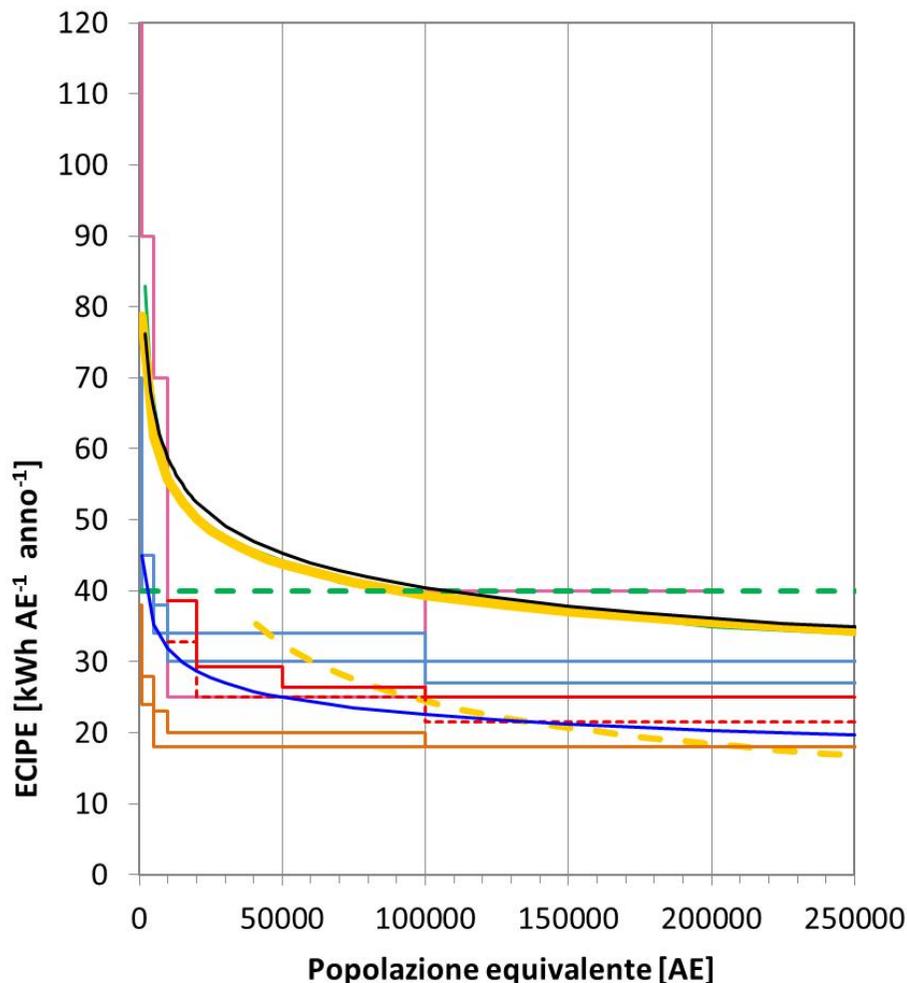
**ESEMPIO – ENERGIA TERMICA**  
- con 200 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e  $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$  e calore specifico 4.18 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>  
- oppure flusso di acque grigie di 40 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e  $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$   
→ 254 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

**ESEMPIO – ENERGIA CHIMICA**  
- Convers. stechiom. di COD in CH<sub>4</sub>: 0.35 L metano/kgCOD cioè 3.48 kWh/kgCOD.  
- Considerando 110 AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>  
→ 140 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

Attenzione! Valori teorici (dipende da rendimenti!)

# ENERGIA: confronto con energia ELETTRICA consumata nell'impianto

## ENERGIA ELETTRICA CONSUMATA IN IMPIANTI DI DEPURAZIONE (dataset internazionali e benchmark)



ESEMPIO – ENERGIA POTENZIALE  
con 200 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e un salto di 50 m  
→ 10 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

ESEMPIO – ENERGIA TERMICA

- con 200 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e  $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$  e calore specifico  $4.18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- oppure flusso di acque grigie di 40 L AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e  $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$

→ 254 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

ESEMPIO – ENERGIA CHIMICA

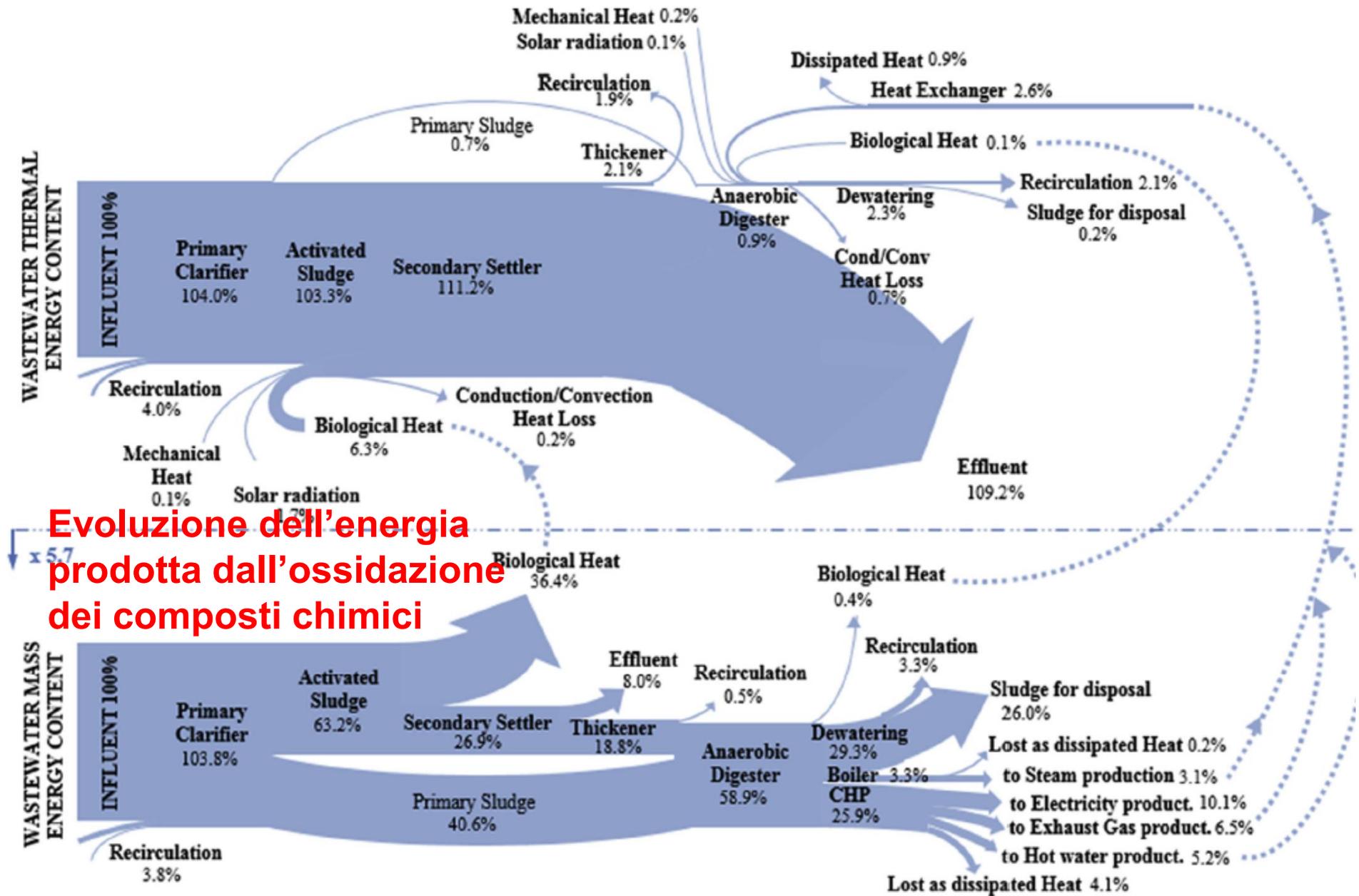
- Convers. stechiom. di COD in CH<sub>4</sub>: 0.35 L metano/kgCOD cioè 3.48 kWh/kgCOD.
- Considerando 110 AE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>

→ 140 kWh AE<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>

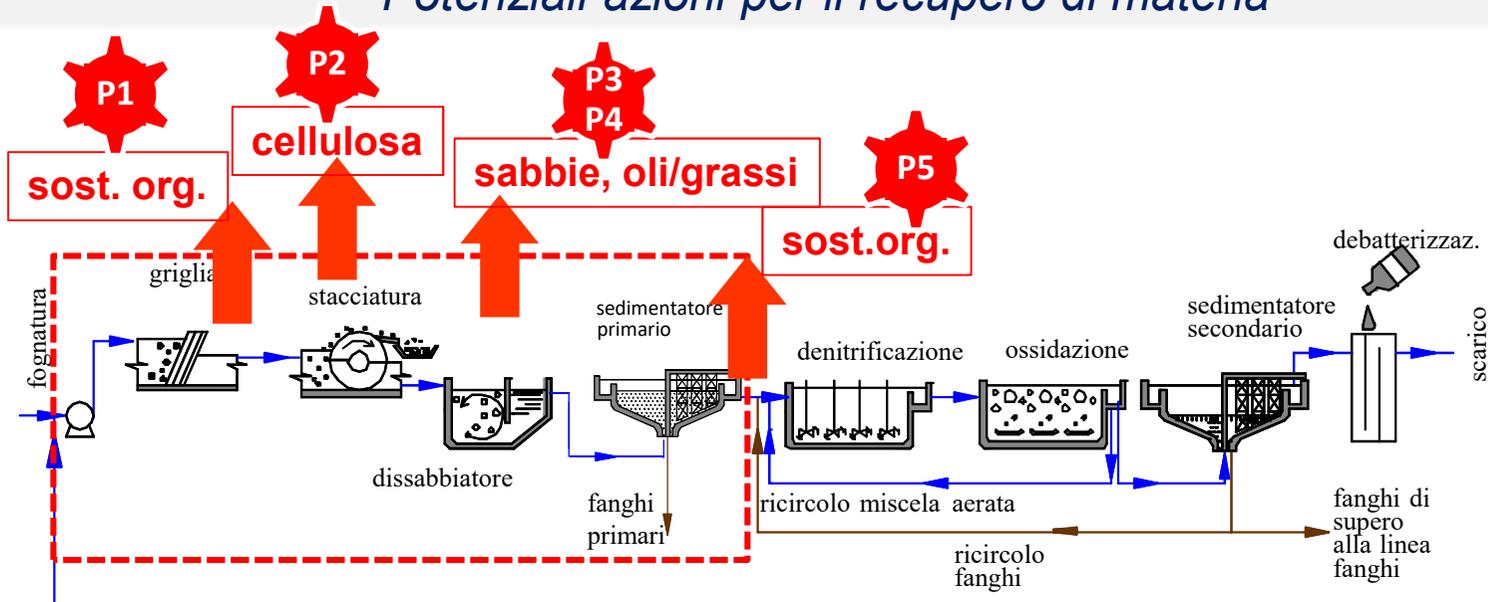
POSSIBILTA' ENERGY-SELF SUFFICIENT

Attenzione! Valori teorici

# Evoluzione di energia termica totale



# Evoluzione dell'energia prodotta dall'ossidazione dei composti chimici



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

✓ Questi recuperi possono essere problematici per l'elevata impurezza dei materiali



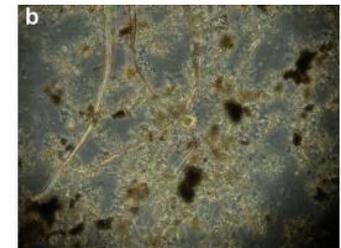
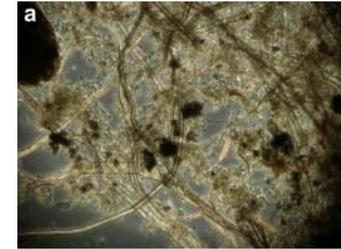
### RECUPERO CELLULOSA DA MICROGRIGLIATURA:

**AZIONE:** Separazione materiali con microgriglie (<0.35 mm)

**OBIETTIVI:**

1. recupero di fibre di cellulosa (da carta tissue)
2. togliere COD lentamente/non biodegradabile dall'ossidazione ed avviarlo a digestione anaerobica

**IN PRATICA:** microgrigliatura molto fine, poco applicata, processo in fase di sviluppo



*Ruiken et al., 2012*



### RECUPERO INERTI DA DISSABBIATORE:

**AZIONE:** Lavaggio sabbie + classificazione

**OBIETTIVI:**

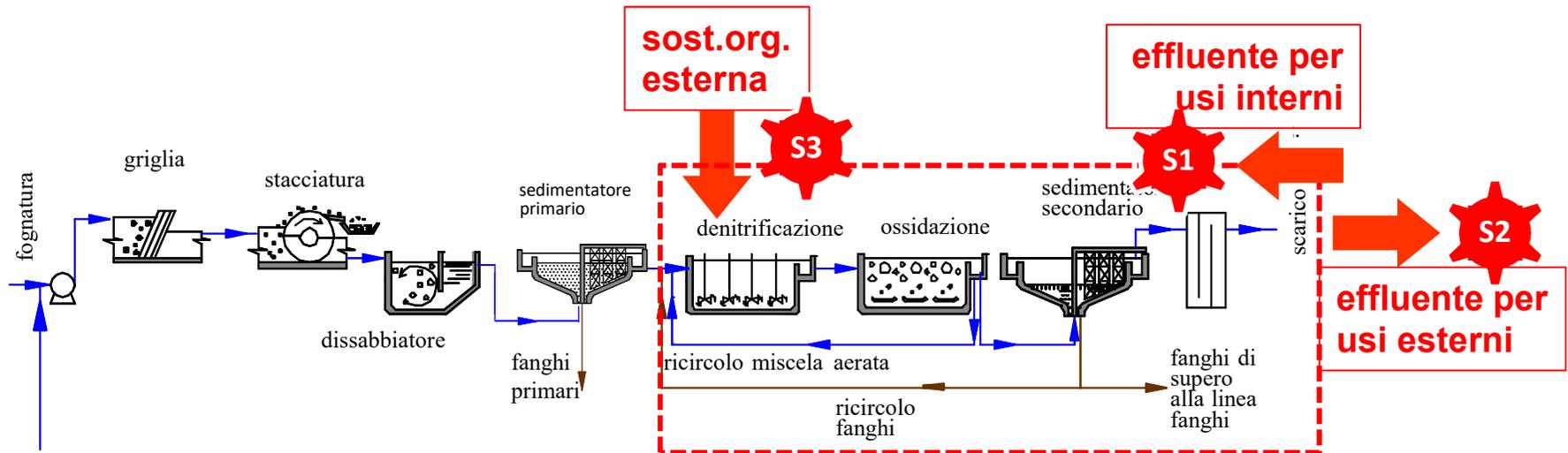
1. ottenere un materiale inerte (perdita al fuoco < 3%) per opere civili
2. recuperare sost.org. biodegradabile nell'acqua di lavaggio sfruttabile per denitrificazione

**IN PRATICA:**

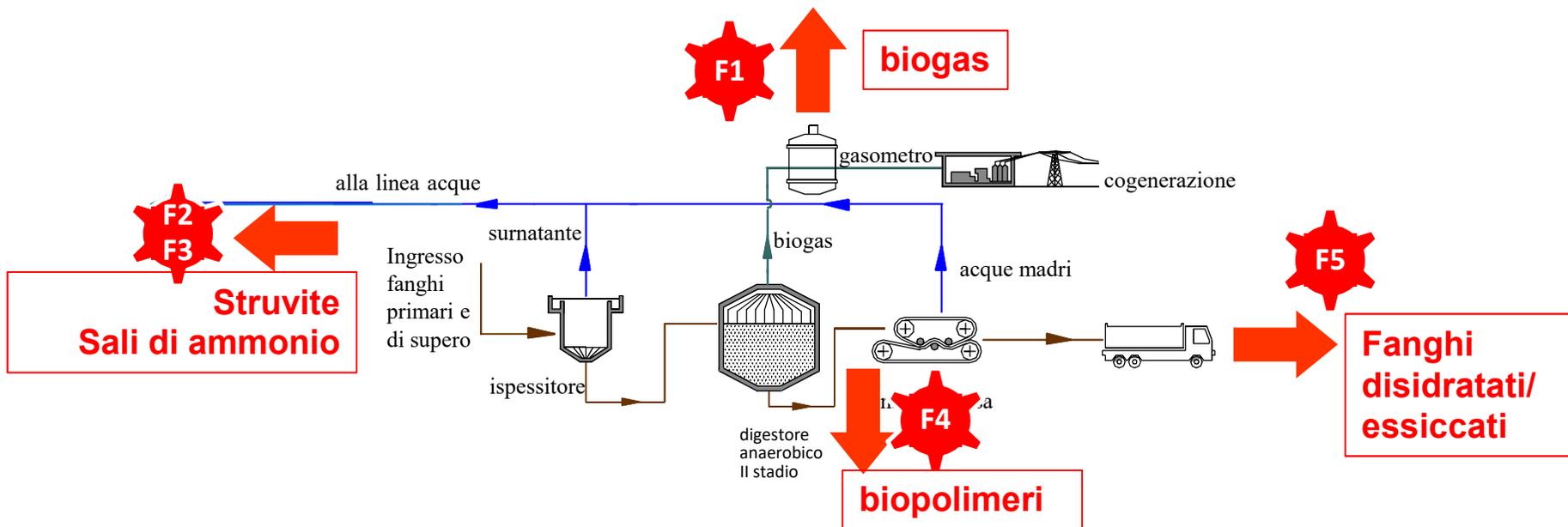
- mancanza di destinazione per sabbie
- impianti di recupero poco utilizzati

Un caso reale di recupero in impianto centralizzato (ARENIS®, Gruppo SMAT)





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

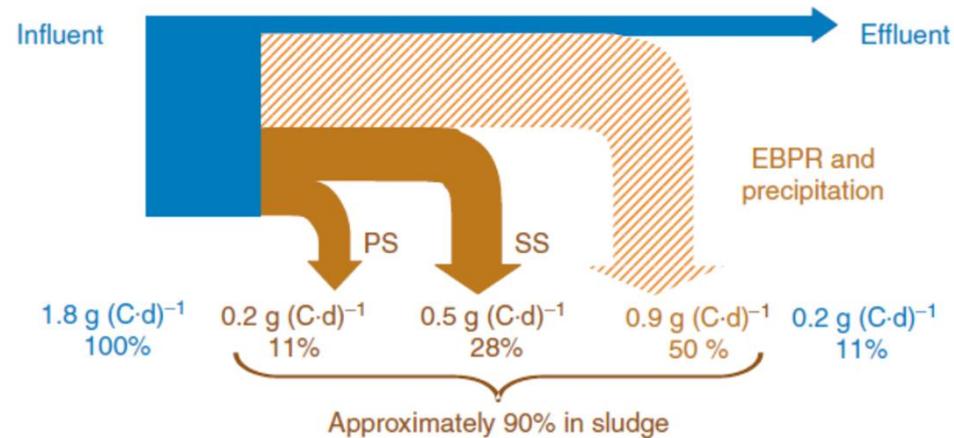


N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
F1	Digestione anaerobica	Produzione di biogas	<b>Biometano</b>	Generazione di vettore energetico	Molte applicazioni a scala reale
F2	Surnatanti della linea fanghi	Precipitazione fosforo	<b>Fosforo (struvite)</b>	Impiego come 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

## Risorse N e P nei fanghi da impianti convenzionali

- AZOTO NEI FANGHI = SOLO 10% DELL'INGRESSO

- FOSFORO NEI FANGHI = 90% DELL'INGRESSO



### RECUPERO DI AZOTO E FOSFORO:

AZIONE: recupero N e P dai surnatanti della digestione anaerobica

OBIETTIVI: 1. recupero di P mediante cristallizzazione come struvite  
 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  → fertilizzante a lento rilascio

2. recupero di N per stripping e produzione di solfato di ammonio  
 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  oppure come struvite → per produrre fertilizzanti

IN PRATICA: soluzione tecnicamente fattibili, ma oggi non perseguibili per costi/limiti di mercato.



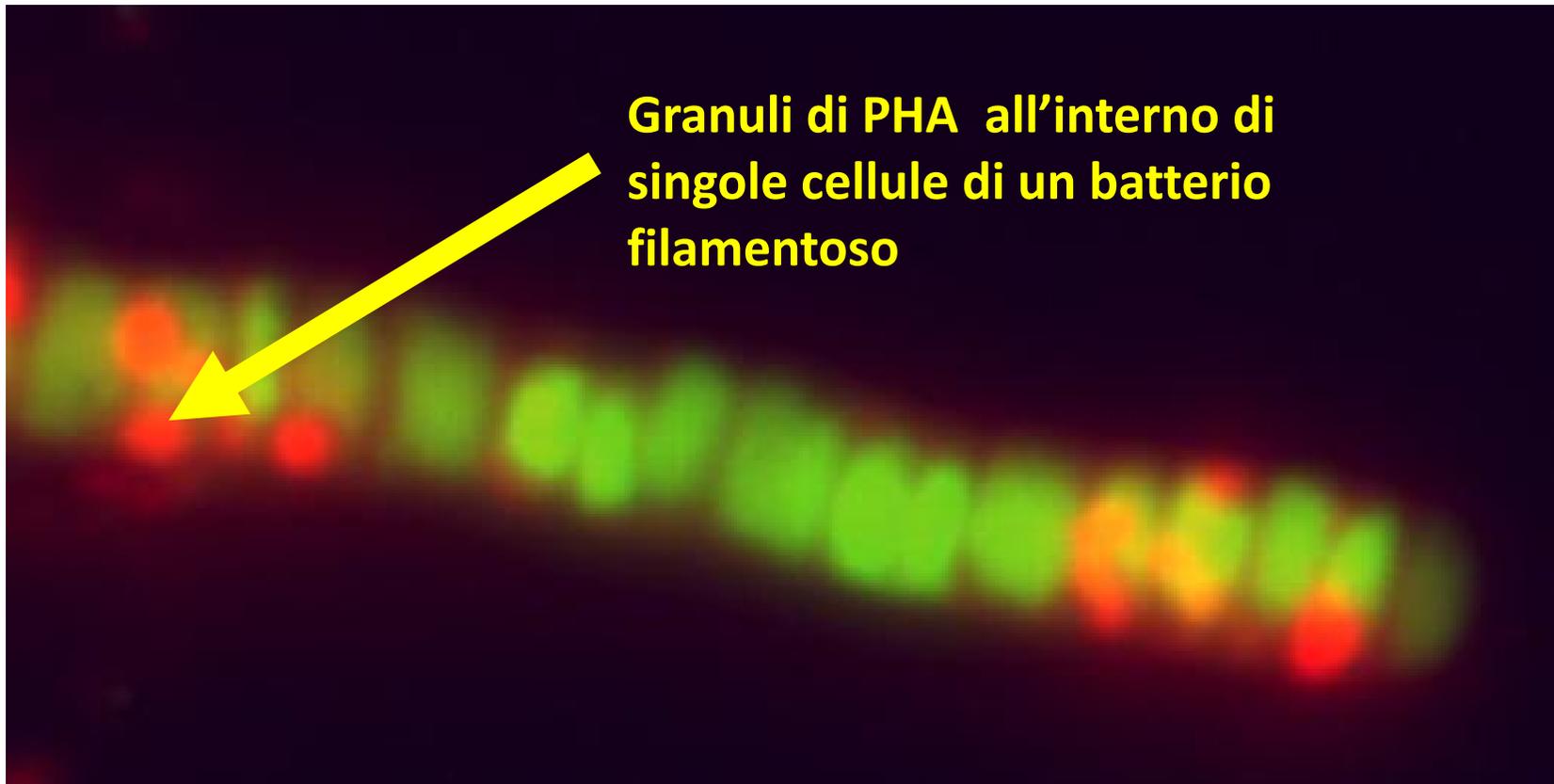


## **RECUPERO DI BIOPOLIMERI:**

**AZIONE:** produzione di biopolimeri come poliidrossialcanoati (PHA)

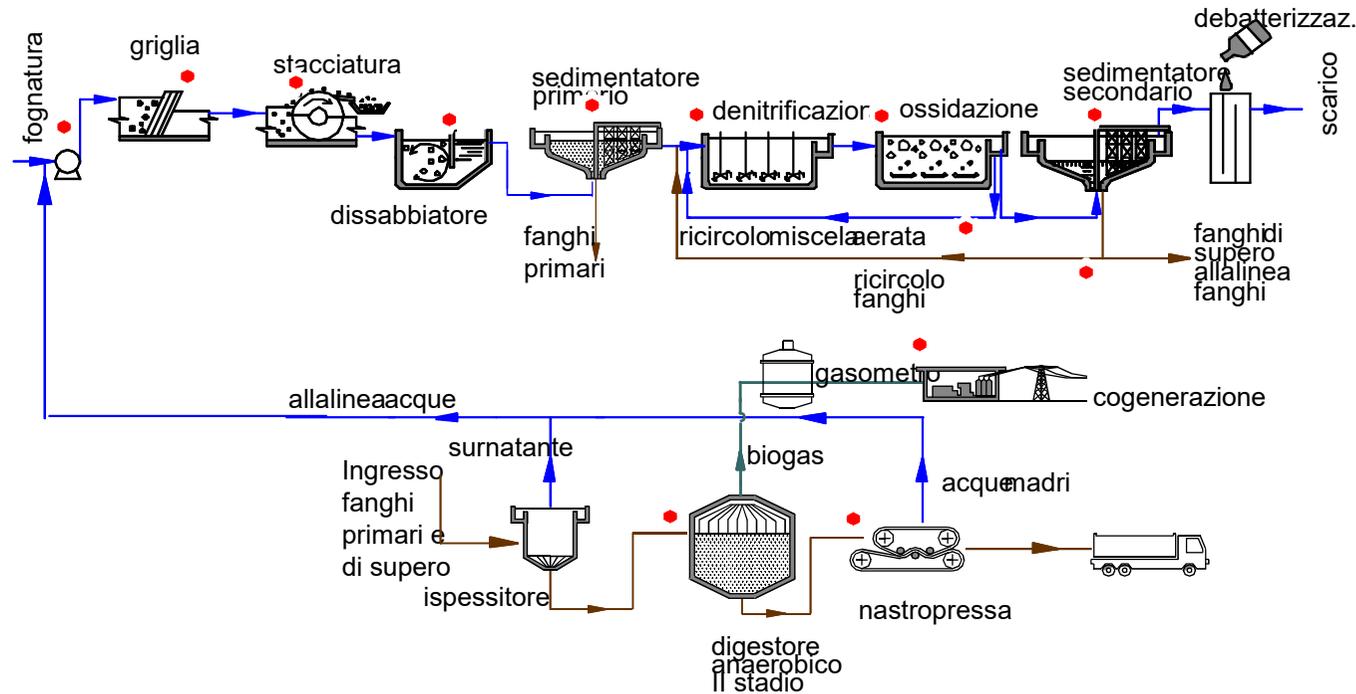
**OBIETTIVI:** 1. prospettive nella produzione di plastiche biodegradabili al posto di quelle sintetiche non biodegradabili

**IN PRATICA:** in fase di sviluppo, non esistono applicazioni a scala reale



# MATERIA

## Altri comparti ausiliari Potenziali azioni per il recupero di materia



Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
Vari	Recupero di oli esausti da apparecchiature elettromeccaniche	<b>Oli lubrificanti</b>	Rigenerazione oli, recupero energetico	consorzio oli usati

## CONCLUSIONI

- ❑ Impianto di depurazione non è mero sistema “end of pipe” → nuova concezione:
  - convogliamento con le acque reflue di vari elementi valorizzabili (sabbie, oli, sostanza organica, nutrienti, energia termica...)
  - prodotti ex-novo valorizzabili nel depuratore (biopolimeri, fanghi, effluenti secondari/terziari, biogas, energia idroelettrica,...)
  
- ❑ Stato dell'arte: varie opportunità teoriche per il recupero di materia ed energia
  
- ❑ Stato attuale: poche/rare applicazioni a livello tecnologico
  
- ❑ Limiti per l'applicazione sono molteplici:
  - incompleta conoscenza delle opportunità
  - elevati costi impiantistici/operativi del recupero, non ancora recuperabili con la vendita delle risorse recuperate
  - non maturità delle tecnologie a scala reale, pochi casi di studio
  - mancanza di effettiva destinazione dei materiali recuperati
  - accettazione a livello sociale



**54<sup>a</sup> Giornata  
di Studio**

**IL RECUPERO DI  
RISORSE NEGLI  
IMPIANTI DI  
DEPURAZIONE:  
realtà e  
prospettive**

**24 maggio 2017**

***Grazie per l'attenzione***