



**54^a 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***

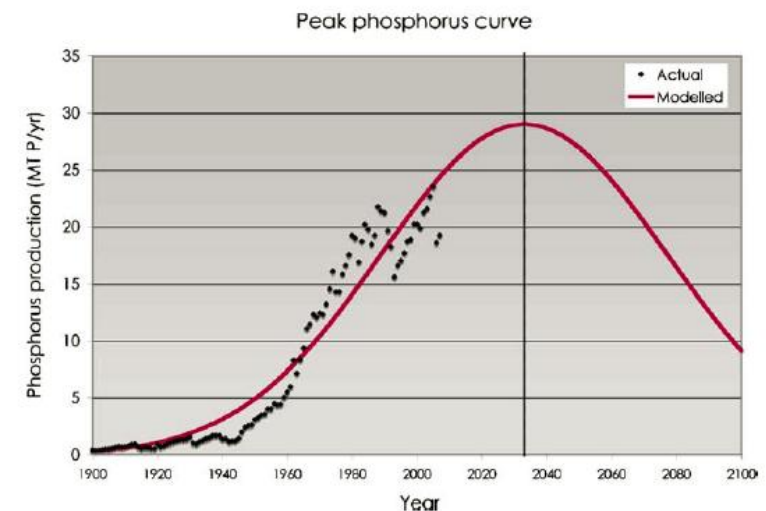
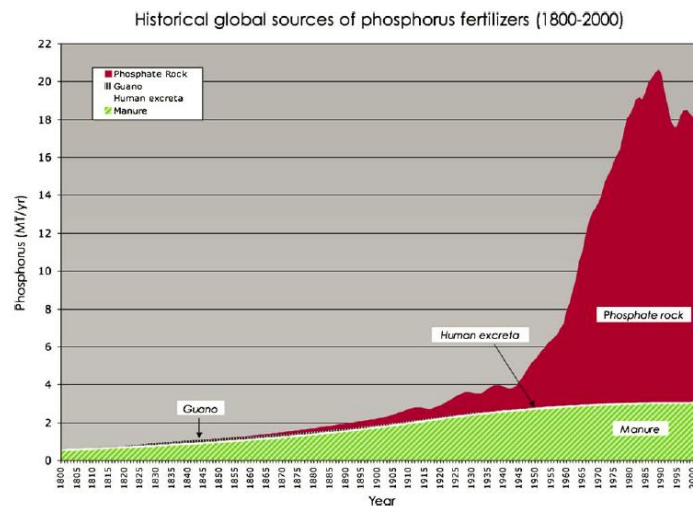
Università degli Studi di Trento

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?

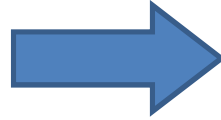
➔ Esempio del fosforo



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

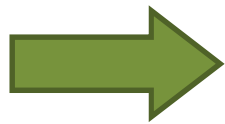


Il depuratore è **origine di risorse valorizzabili** → recupero centralizzato di energia e di materia prodotta in modo diffuso in un bacino

- 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:**

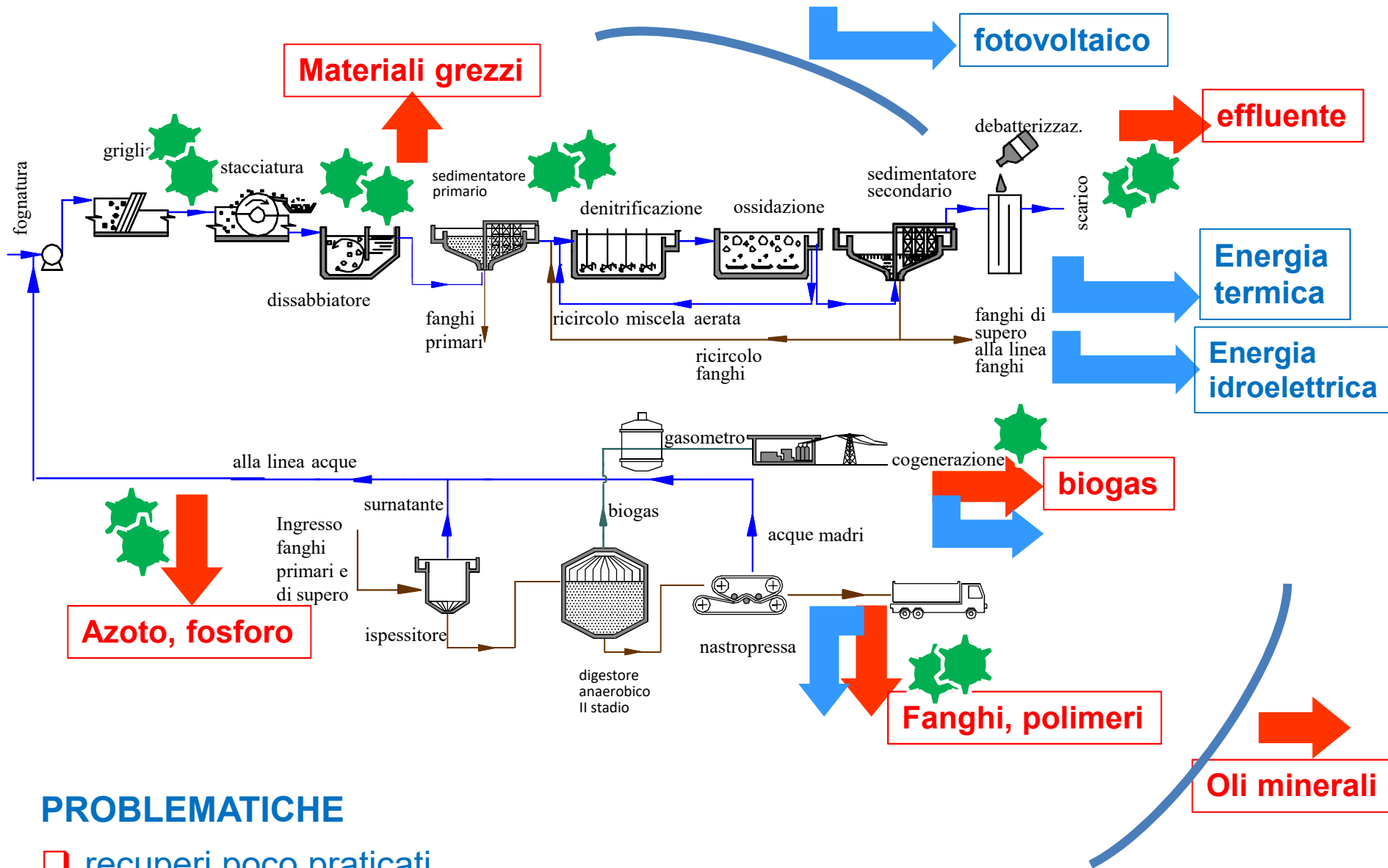
- Recupero energetico quasi esclusivamente da **biogas** nella digestione anaerobica
- copertura del **25-50%** del consumo energetico del depuratore, 0.3-0.6 kWh/m³
- tale recupero è **solo 1/10** del contenuto energetico della sostanza organica contenuta nel refluo



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

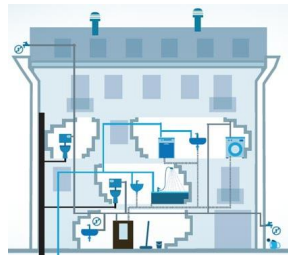
- ❑ recuperi poco praticati
- ❑ realizzati in molteplici punti, ma opportunità molto frammentate, non integrate

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⁻¹ d⁻¹ e un salto di 50 m
→ 10 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

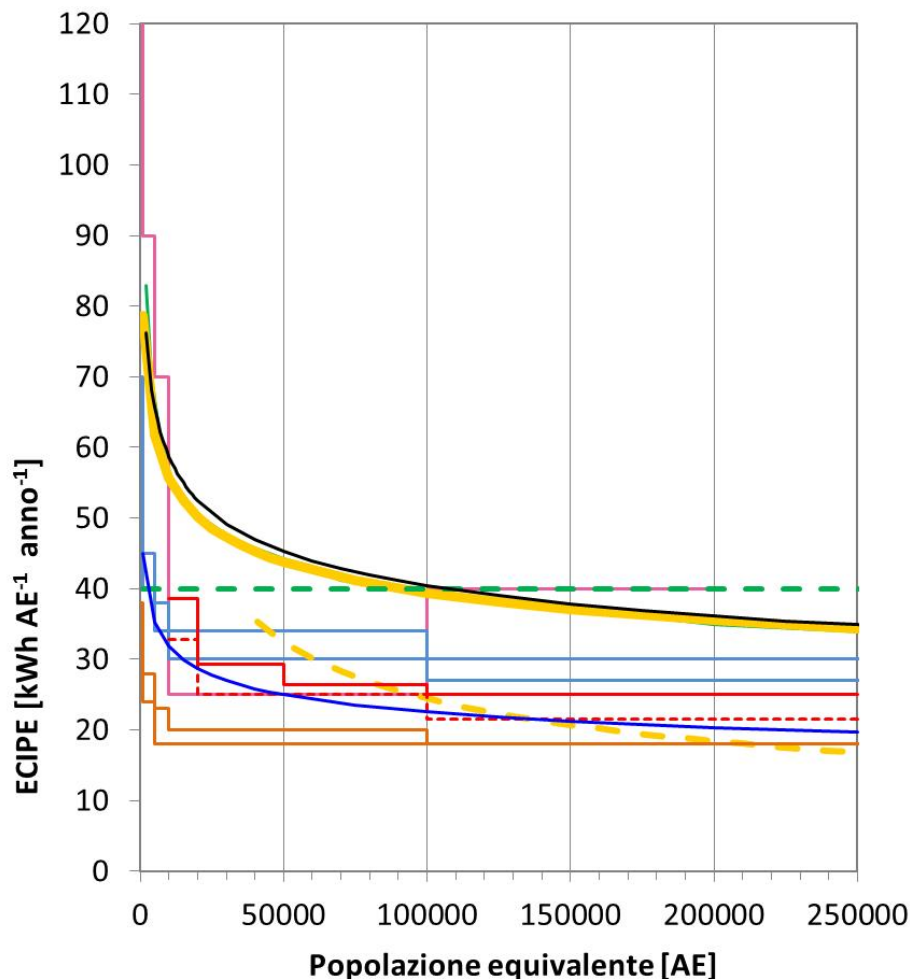
ESEMPIO – ENERGIA TERMICA
- con 200 L AE⁻¹ d⁻¹ e $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ e calore specifico 4.18 kJ kg⁻¹ K⁻¹
- oppure flusso di acque grigie di 40 L AE⁻¹ d⁻¹ e $\Delta T = 15^\circ\text{C}$
→ 254 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

ESEMPIO – ENERGIA CHIMICA
- Convers. stechiom. di COD in CH₄: 0.35 L metano/kgCOD cioè 3.48 kWh/kgCOD.
- Considerando 110 AE⁻¹ d⁻¹
→ 140 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

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⁻¹ d⁻¹ e un salto di 50 m
→ 10 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

ESEMPIO – ENERGIA TERMICA

- con 200 L AE⁻¹ d⁻¹ 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⁻¹ d⁻¹ e $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$

→ 254 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

ESEMPIO – ENERGIA CHIMICA

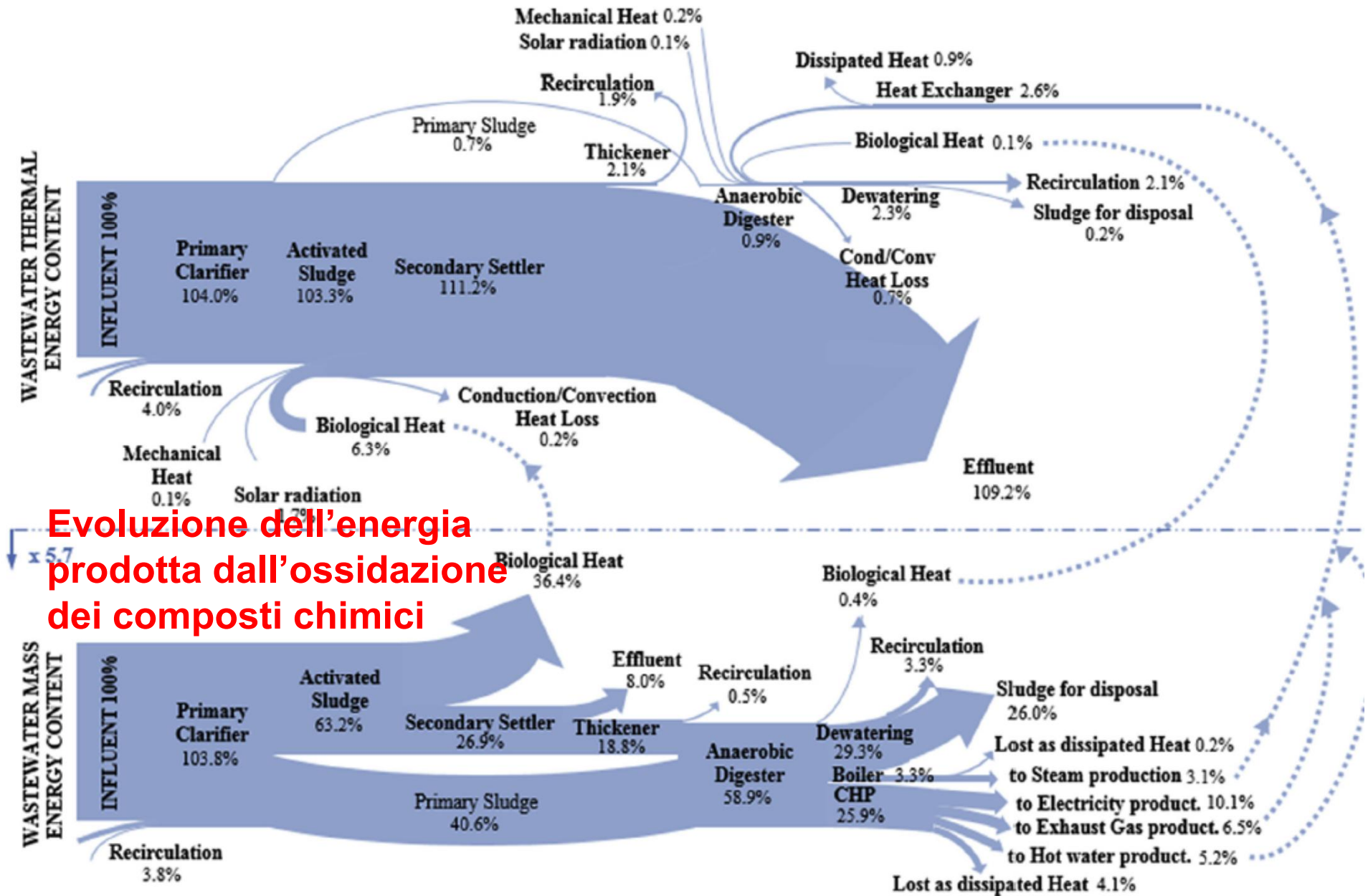
- Convers. stechiom. di COD in CH₄: 0.35 L metano/kgCOD cioè 3.48 kWh/kgCOD.
- Considerando 110 AE⁻¹ d⁻¹

→ 140 kWh AE⁻¹ anno⁻¹

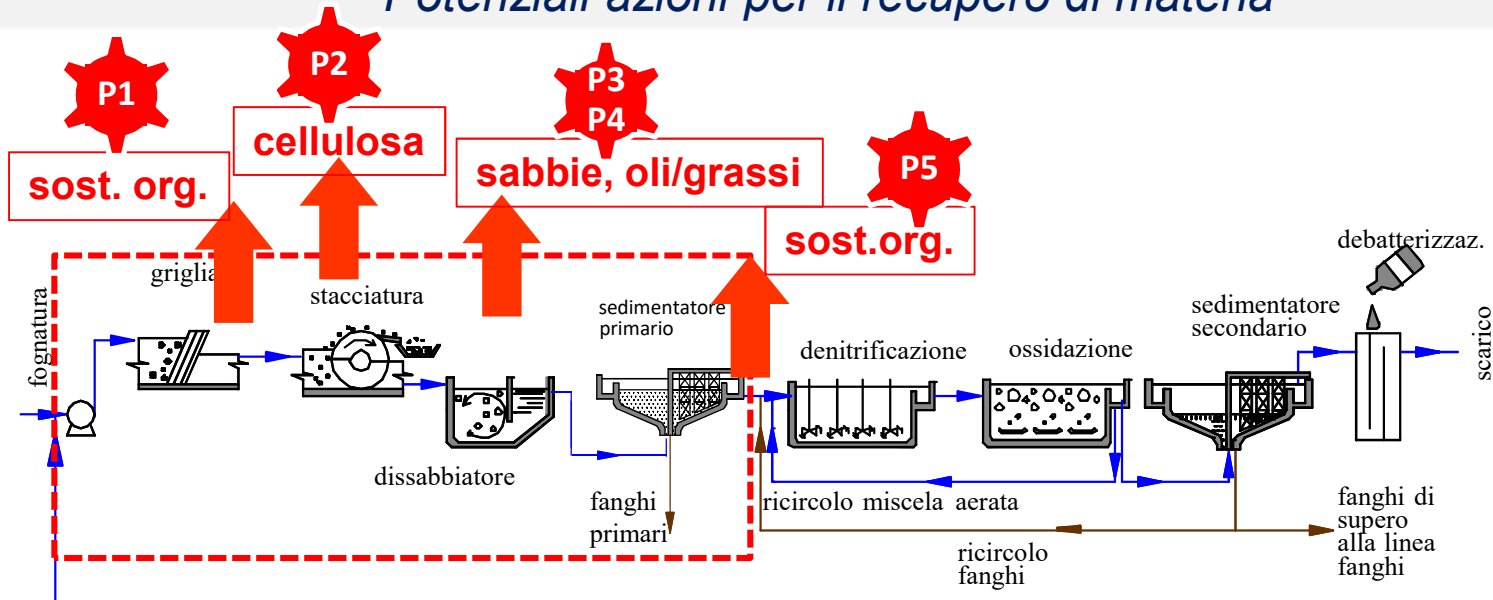
POSSIBILTA' ENERGY-SELF SUFFICIENT

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

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



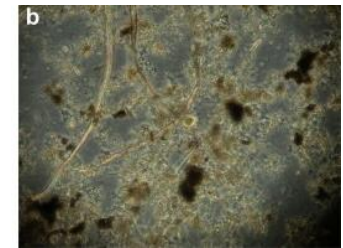
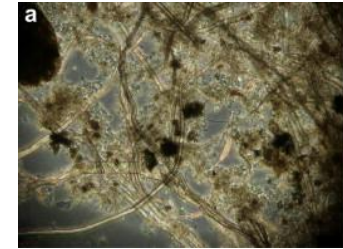
RECUPERO CELLULOSA DA MICROGRIGLIATURA:

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:

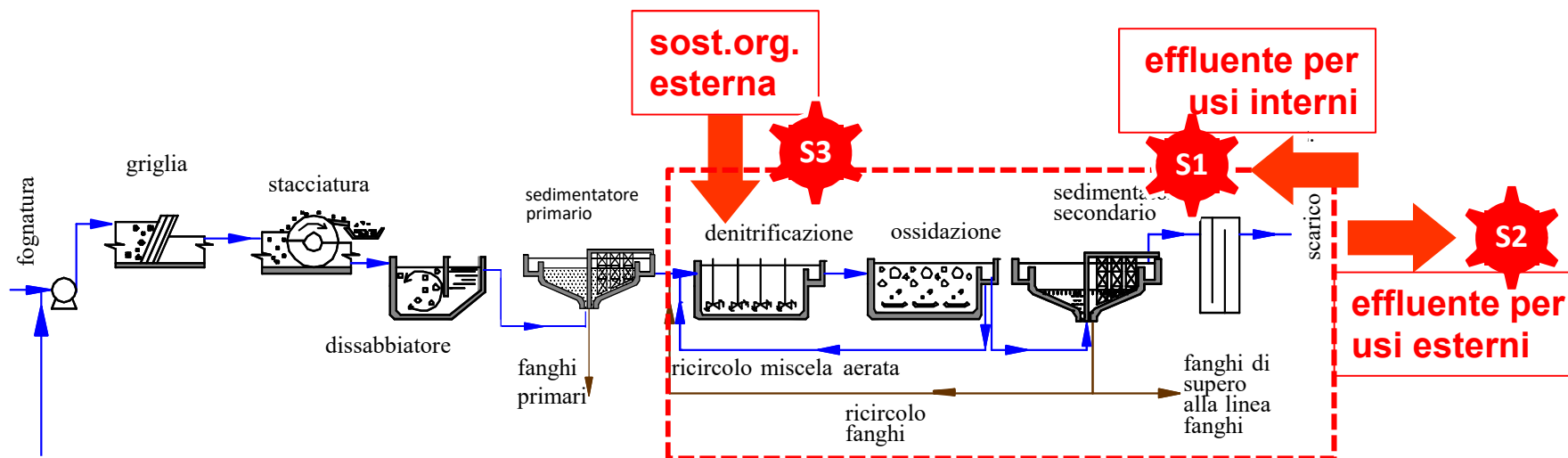
1. ottenere un materiale inerte (perdita al fuoco < 3%) per opere civili
2. recuperare sost.org. biodegradabile nell'acqua di lavaggio sfruttabile per denitrificazione

IN PRATICA:

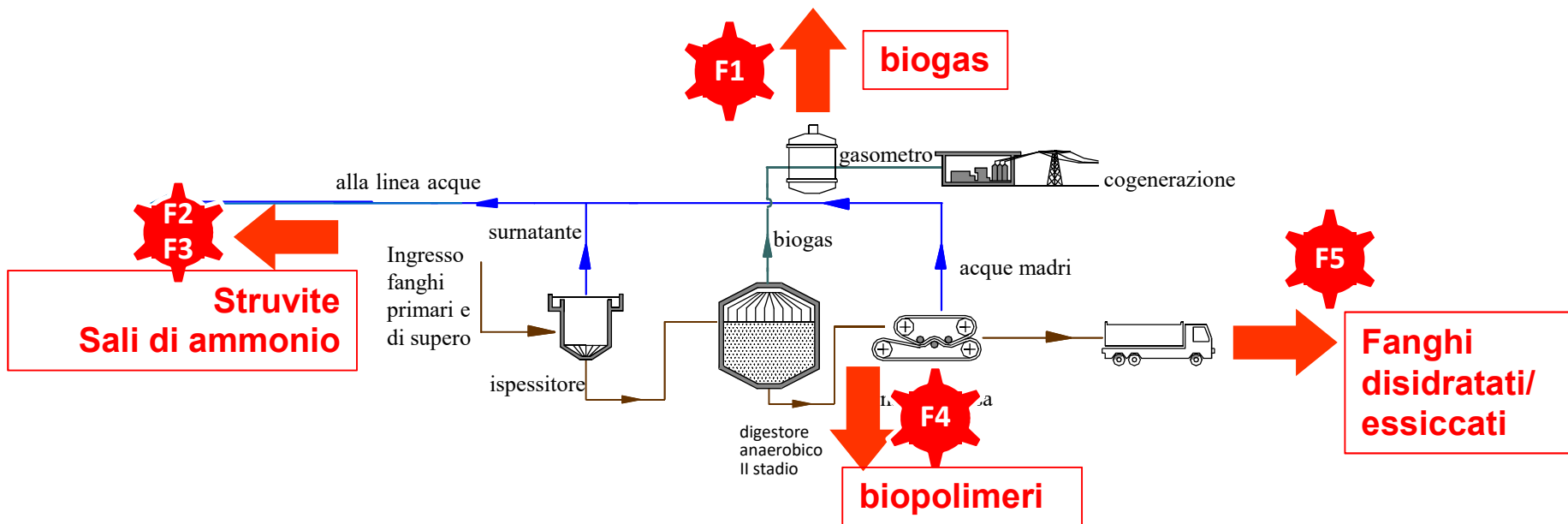
- mancanza di destinazione per sabbie
- impianti di recupero poco utilizzati

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)	Effluente depurato	Vari usi, risparmio della risorsa acqua	Molte applicazioni
S2	Uscita	Usi esterni	Effluente depurato	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	Sostanza organica	Sostituzione di substrati puri	Maturo

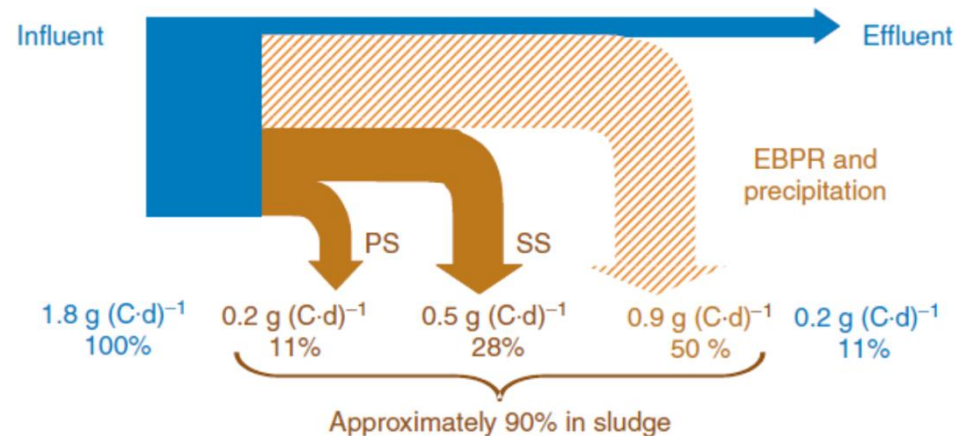


N.	Comparto	Azione	Tipo di recupero	Obiettivo del recupero	Livello di sviluppo
F1	Digestione anaerobica	Produzione di biogas	Biometano	Generazione di vettore energetico	Molte applicazioni a scala reale
F2	Surnatanti della linea fanghi	Precipitazione fosforo	Fosforo (struvite)	Impiego come fertilizzante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



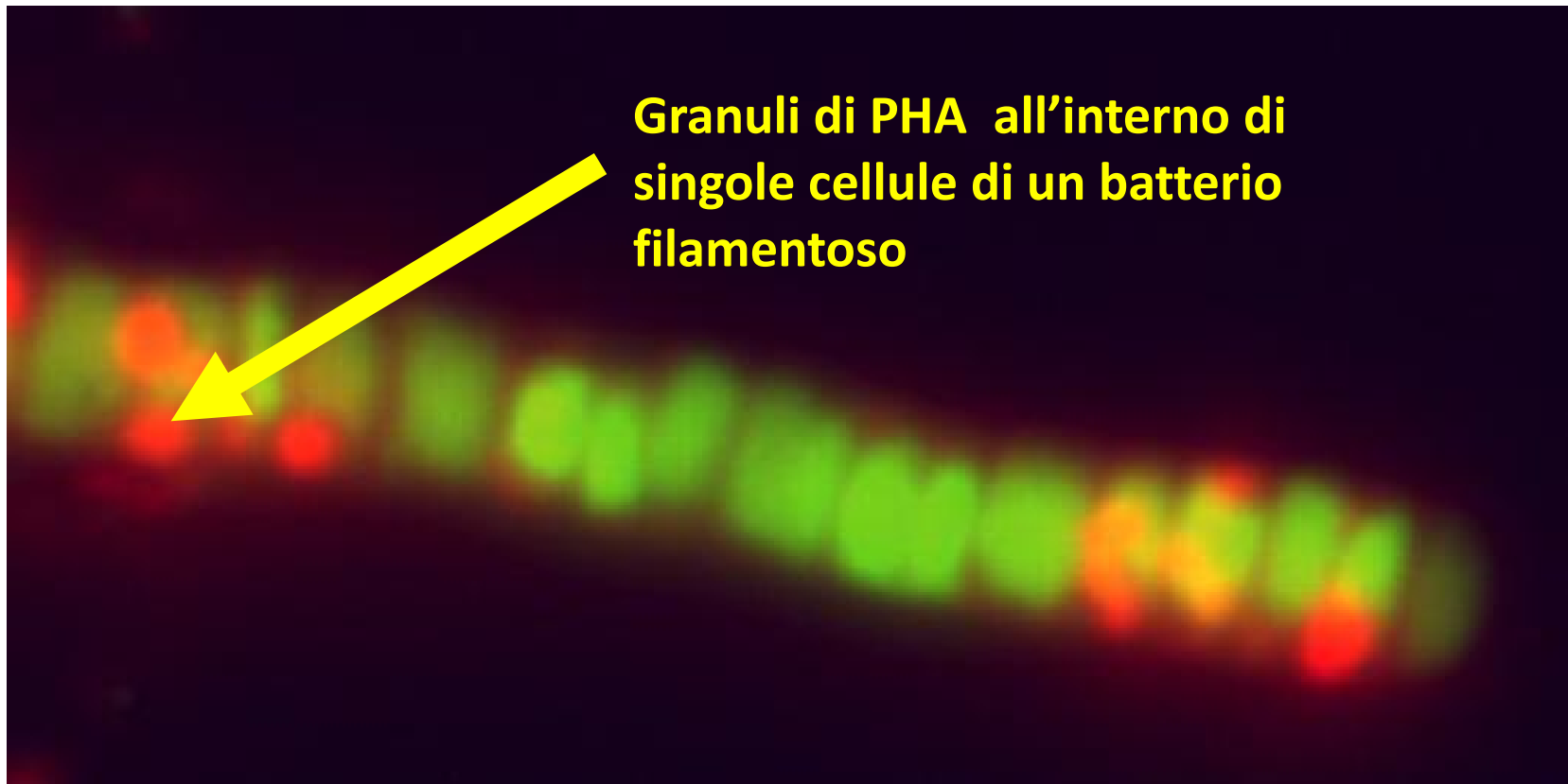


RECUPERO DI BIOPOLIMERI:

AZIONE: produzione di biopolimeri come poliidrossialcanoati (PHA)

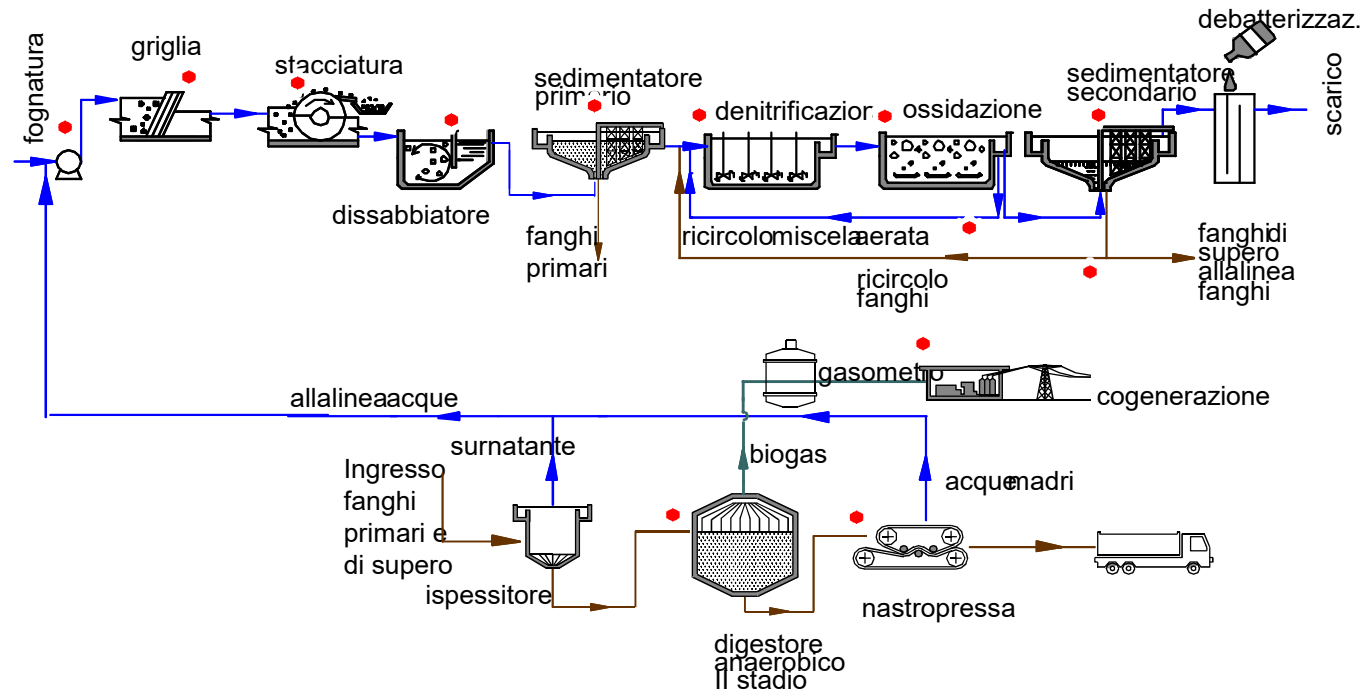
OBIETTIVI: 1. prospettive nella produzione di plastiche biodegradabili al posto di quelle sintetiche non biodegradabili

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	Oli lubrificanti	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^a Giornata
di Studio**

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

24 maggio 2017

Grazie per l'attenzione