



**ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**

Produzione di energia dalla depurazione delle acque

EnergyMed - Mostra d'Oltremare, Napoli, 29 marzo 2019

Alessandro Spagni



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*

ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**

Linee guida per la produzione di energia dalla depurazione delle acque: Cosa sono e non sono



Sommario



- ❑ La depurazione delle acque
 - Depurazione ed energia
 - Portate e caratteristiche
- ❑ Energia contenuta
 - Cinetica (idraulica)
 - Termica
 - Chimica
- ❑ Come stimare l'energia chimica
- ❑ Bilancio dell'energia chimica

La depurazione delle acque

Le acque di rifiuto sono «acque usate» non più utilizzabili per molti dei fini comuni e che possono avere un impatto per la salute dell'uomo e dell'ambiente

La depurazione ha l'obiettivo di trattare le acque di rifiuto (o reflue) salvaguardando la salute dell'uomo e la qualità ambientale

Secondo l'ISTAT la spesa nazionale per la gestione delle acque reflue è di circa 3 miliardi di Euro, pari a circa lo 0,2% del PIL

La depurazione delle acque reflue

	Portata (m ³ giorno ⁻¹)
Fiume Arno	~ 10 milioni
Acque reflue	~ 12-15 milioni
Fiume Tevere	~ 20 milioni



La depurazione delle acque reflue Energia

La gestione del ciclo idrico:

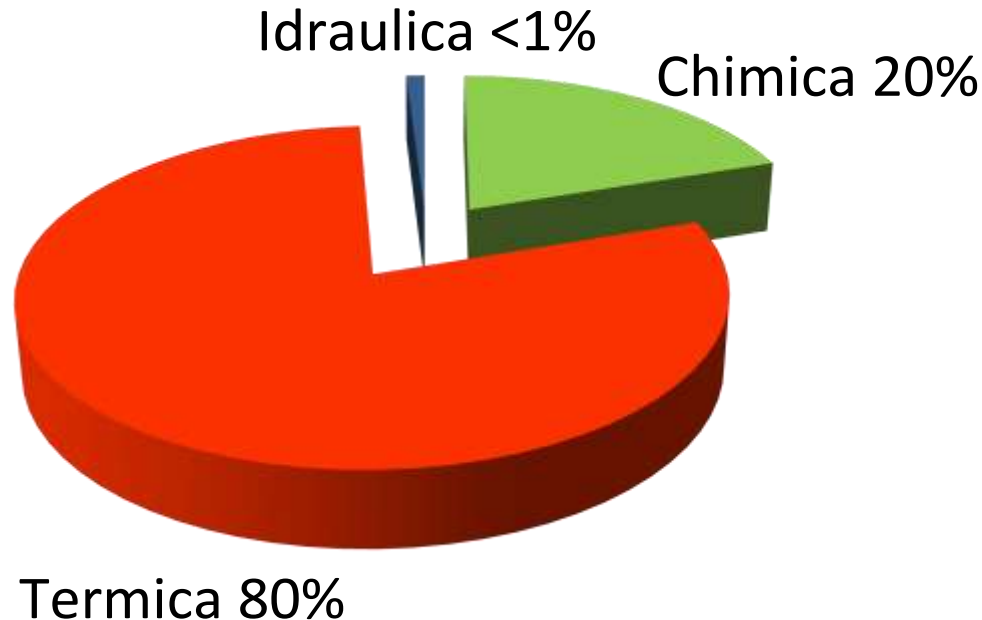
USA ~ 3% del fabbisogno energetico (US EPA, 2006)

Italia ~ 2-3% del fabbisogno energetico (Campanelli, 2013)

Italia ~ 1% per le acque reflue (Campanelli, 2013)

Le acque reflue contengono circa cinque-dieci volte l'energia necessaria al loro trattamento, assumendo un recupero del 100% (WERF, 2014).

Energia contenuta nelle acque reflue



Stima di ripartizione del contenuto totale di energia presente nei reflui, assumendo un recupero del 100% (WERF, 2014).

L'energia totale presente nelle acque di rifiuto prodotte annualmente in Italia ammonta a quasi il 2% del consumo nazionale di energia primaria.

Energia chimica

Parametri di solito utilizzati per stimare il contenuto di sostanza organica

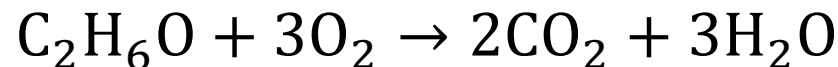
- ❑ Solidi volatili (SV);
- ❑ Solidi sospesi volatili (SSV);
- ❑ COD (chemical oxygen demand; domanda chimica di ossigeno);
- ❑ BOD (biochemical oxygen demand; domanda biochimica di ossigeno);
- ❑ ThOD (theoretical oxygen demand; domanda teorica di ossigeno);
- ❑ TOC (total organic carbon; carbonio organico totale).

Energia chimica

COD – domanda chimica di ossigeno

COD, esempio di unità di misura $\text{gO}_2 \text{ m}^{-3}$

Esempio con etanolo



3 moli di O_2 per ossidare 1 mole di etanolo.

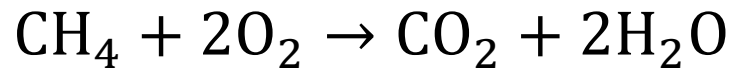
Pesi molecolari (46 e 32 per l'etanolo e l'ossigeno, rispettivamente), si ricava che per ossidare 1 g di etanolo servono 2,09 g di ossigeno.

Quindi, una soluzione di 1 g m^{-3} di etanolo corrisponde alla domanda teorica di ossigeno (ThOD) di $2,09 \text{ gO}_2 \text{ m}^{-3}$.

Energia chimica

COD – domanda chimica di ossigeno

Bilanciando in funzione del contenuto di COD, è possibile stimare le quantità di prodotti ottenibili.



2 moli di O₂ per 1 mole di CH₄;

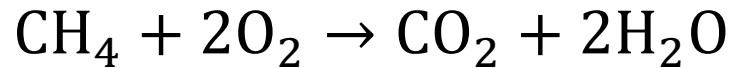
4 g di O₂ per ossidare 1 g di CH₄; quindi 1 g di CH₄ corrispondono ad 4 g di COD;

La rimozione di 1 g di COD da un refluo può determinare al massimo (bilancio di massa) la formazione di 0,25 g di CH₄ pari a 0,0156 mol.

Volume molare (22,414 L mol⁻¹ in condizioni standard), si ottengono 0,350 L

Ovvero dalla rimozione di 1 g di COD si possono ottenere al massimo 0,350 L di CH₄.

COD ed energia

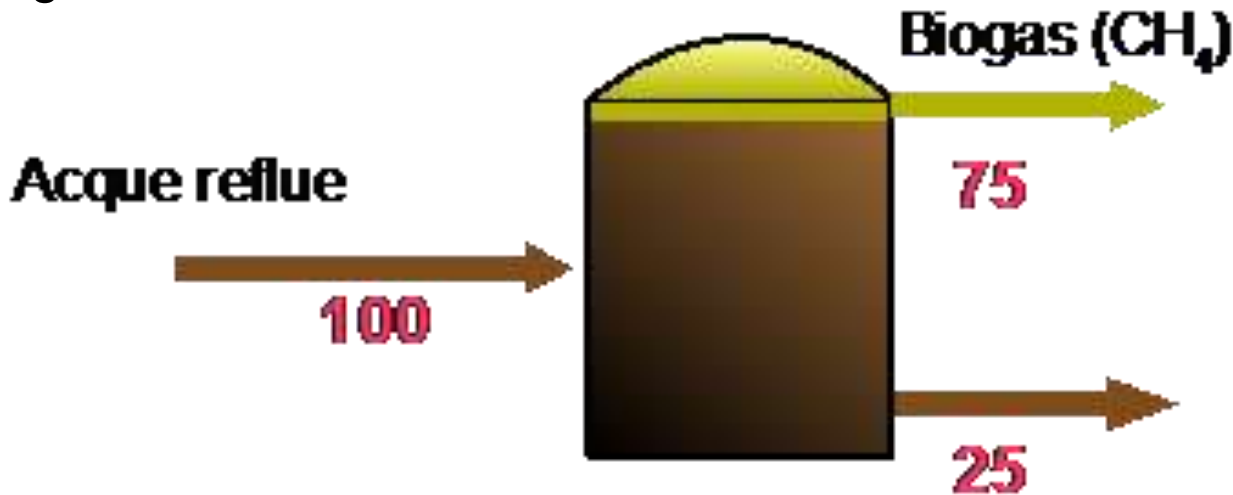


Potere calorifico superiore del CH_4 è pari a $55,50 \text{ MJ kg}^{-1}$ ($35,16 \text{ MJ Nm}^{-3}$).

Quindi, dalla rimozione di 1 di COD dai reflui, ipotizzando di produrre metano in rapporto pari al bilancio di massa si possono ottenere $13,88 \text{ kJ gCOD}^{-1}$.

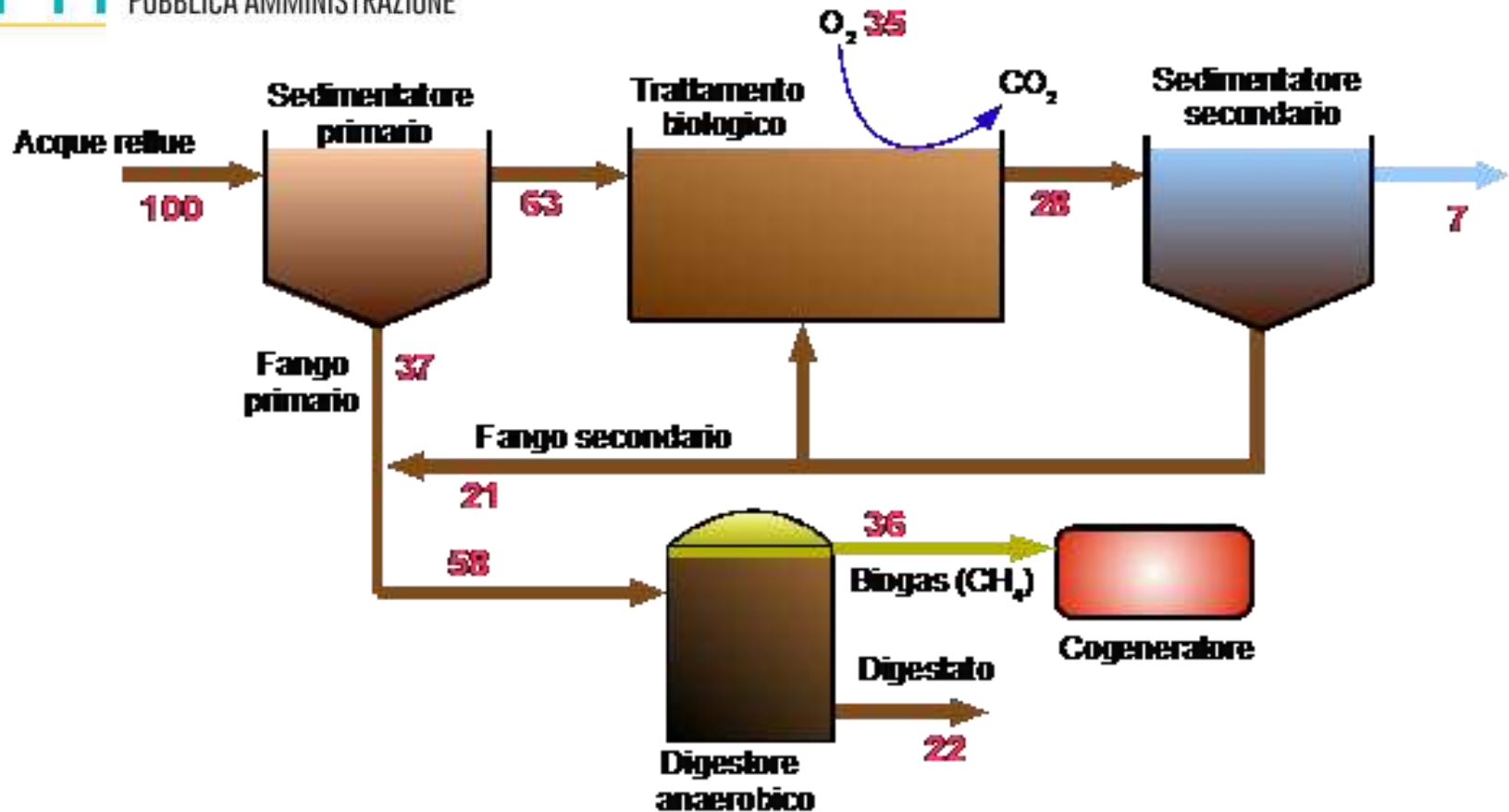
Flusso del COD e bilancio di massa

La rimozione del COD, ovvero la differenza della massa di COD che entra ed esce dal flusso liquido corrisponde al COD che è «convertito» in energia



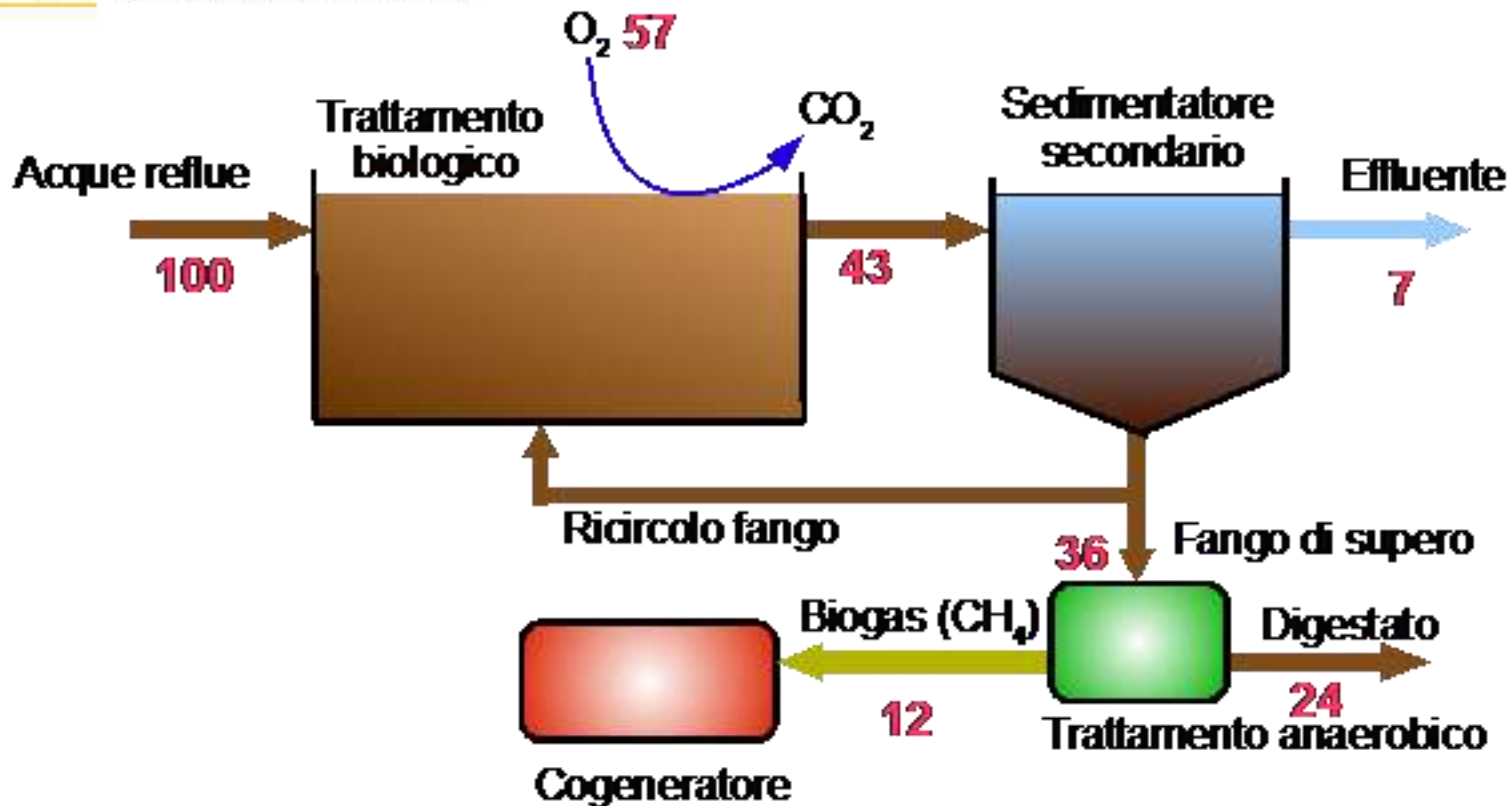
Esempio ipotetico di flusso di COD (in rosso) in un impianto di digestione anaerobica di trattamento reflui

Flusso del COD e bilancio di massa



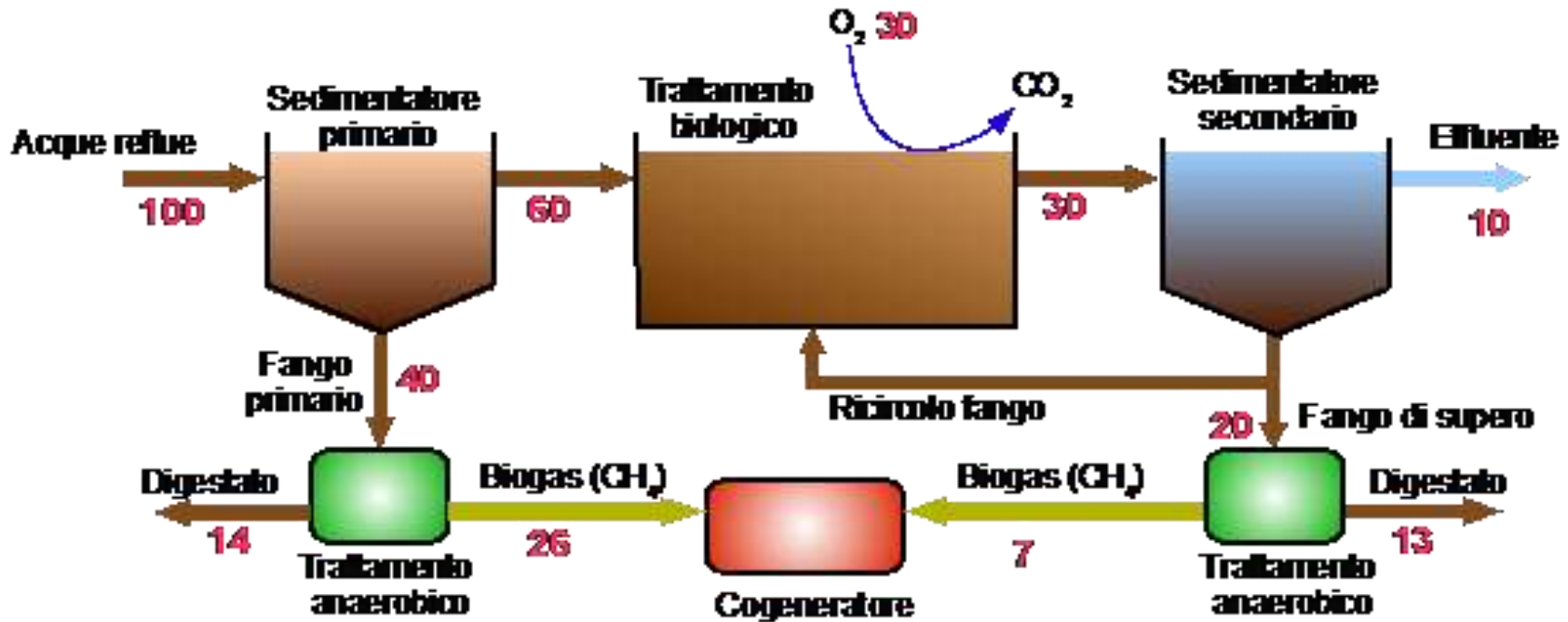
Esempio ipotetico di flusso di COD (in rosso) in un impianto convenzionale di trattamento reflui

Flusso del COD e bilancio di massa



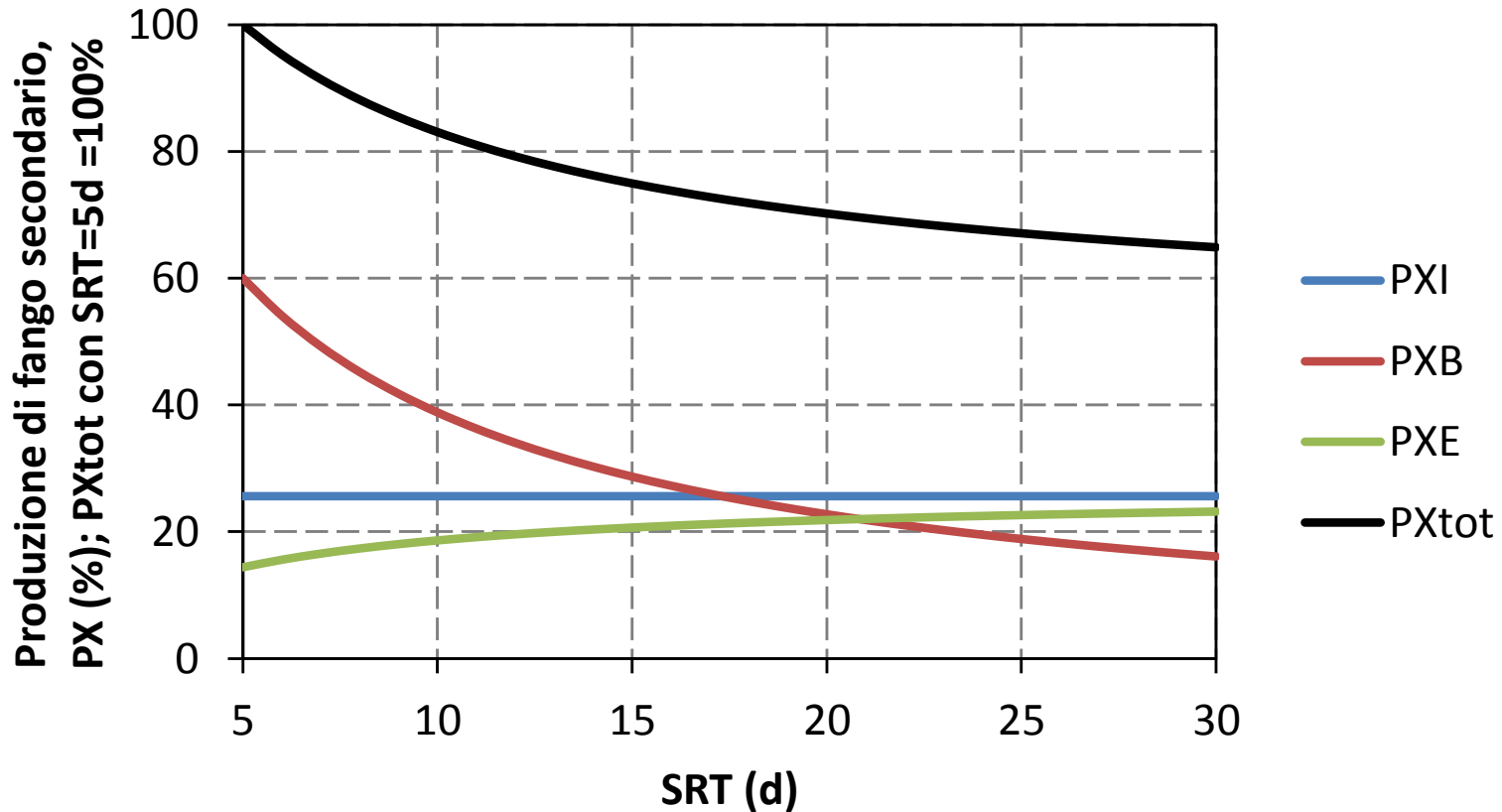
Esempio ipotetico di flusso di COD (in rosso) in un impianto convenzionale di trattamento reflui

Flusso del COD e bilancio di massa Gestione impianto



Esempio ipotetico di flusso di COD (in rosso) in un impianto convenzionale di trattamento reflui

Flusso del COD Gestione impianto



Effetto gestione dell'impianto sulla quantità di produzione di fango da inviare in digestione anaerobica

$$X = 300 + 65 = 365 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right)$$

$$S = 100 + 35 = 135 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right)$$

La portata di fango (Q_{fp}) estratta dal sedimentatore primario è

$$Q_{fp} = \frac{5000}{100} = 50 \left(\frac{m^3}{d} \right)$$

La quantità di sostanza organica particolata estratta dal sedimentatore primario è pari a (eq. 17):

$$Q_{fp} \cdot X_{fp} = 5000 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 365 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) - [5000 \left(\frac{m^3}{d} \right) - 50 \left(\frac{m^3}{d} \right)] (1 - 0,5) \cdot 365 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) = 921625 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

La quantità di sostanza organica totale (particolata più solubile) estratta nel fango del sedimentatore primario è (eq. 16):

$$Q_{Mfp, COD} = 921625 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right) + 50 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 135 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) = 928375 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

Di questa sostanza organica solo una frazione è biodegradabile (eqq. 18 e 19)

$$Q_{fp} \cdot X_{s, fp} = 5000 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 300 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) - [5000 \left(\frac{m^3}{d} \right) - 50 \left(\frac{m^3}{d} \right)] (1 - 0,5) \cdot 300 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) = 757500 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

$$Q_{M_{biodeg, fp, COD}} \left(\frac{g_{COD}}{d} \right) = 757500 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right) + 50 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 100 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) = 762500 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

Dai risultati si nota che la quantità di sostanza organica solubile estratta dal sedimentatore primario è generalmente molto ridotta (nel caso specifico inferiore all'1%) rispetto a quella particolata per cui potrebbe essere trascurata.

4.2.1.2. Fango secondario

La quantità di sostanza organica solubile può essere calcolata utilizzando le equazioni 26 e 28; avendo questa componente un effetto estremamente ridotto sulla produzione di metano (perché la frazione biodegradabile è molto ridotta, eq. 28), è trascurata in questo esempio.

La produzione di fango secondario è calcolata con le equazioni 29, 30, 31.

$$P_{X_{P_{Sec}}} = \frac{4950 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 0,67 [150 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) + 100 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right)]}{1 + 0,24 \left(\frac{1}{d} \right) \cdot 10 \left(d \right)} = 243860 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

$$P_{X_{F_{Sec}}} = 243860 \cdot 0,24 \left(\frac{1}{d} \right) \cdot 0,2 \cdot 10 \left(d \right) = 117053 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

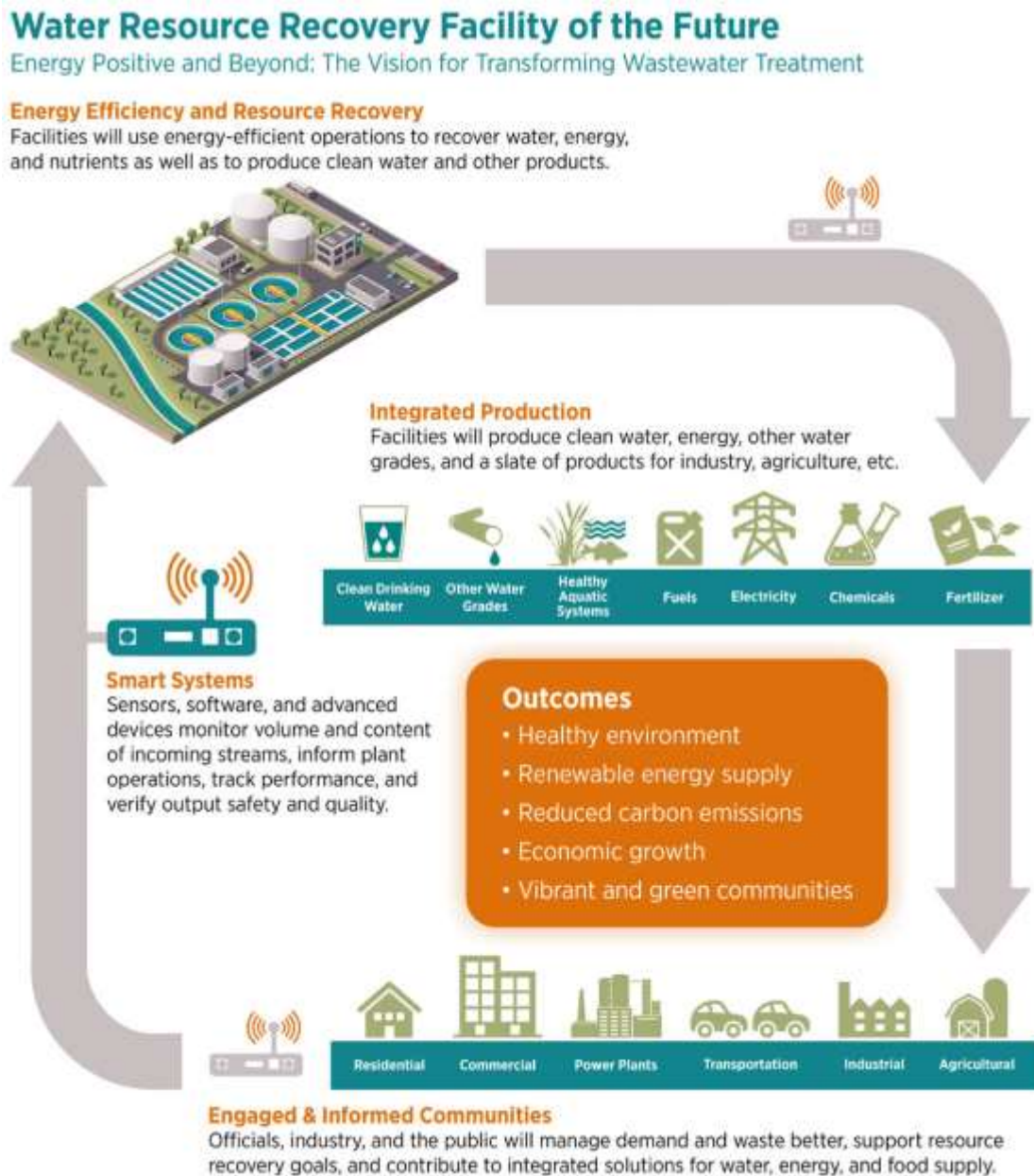
$$P_{X_{COD}} = 4950 \left(\frac{m^3}{d} \right) \cdot 32,5 \left(\frac{g_{COD}}{m^3} \right) = 160875 \left(\frac{g_{COD}}{d} \right)$$

La produzione di COD particolato che viene inviato al digestore anaerobico è pari a 521,788 (243860+117053+160875) $\frac{kg_{COD, particolato}}{d}$. Di questa quantità solo una frazione ridotta e costituita dalla biomassa (X_b), la quale può essere fermentata nel digestore anaerobico per produrre metano:

Dalle equazioni appena ottenute si nota che la quantità maggiore di sostanza organica biodegradabile diretta verso il digestore anaerobico proviene dal sedimentatore primario. In questi calcoli è stato trascurato il flusso di sostanza organica solubile in quanto trascurabile. Volendola calcolare, è sufficiente conoscere il flusso di fango di supero

Conclusioni

NSF (National Science Foundation), U.S. DOE (U.S. Department of Energy), and U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2015. *Energy-Positive Water Resource Recovery Workshop Report*. Workshop Date: April 28–29, 2015. Arlington, VA.



Grazie per l'attenzione

Alessandro Spagni
ENEA, SSPT-USER-T4W
Bologna



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agencia per la
Coesione Territoriale*

ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020