

ACQUE REFLUE

Le acque la cui qualità è stata compromessa dalle attività antropiche dopo il loro utilizzo in ambito domestico, agricolo ed industriale.



Le acque reflue sono caratterizzate dalla presenza di

- elevate concentrazioni di materiale organico derivante da scarichi agricoli ed industriali (industrie alimentari, impianti chimici e petrolchimici, ...);
- liquami (materiale fecale umano o animale);
- microrganismi patogeni;
- sostanze organiche ed inorganiche pericolose.

Per i tipi e le quantità di inquinanti che veicolano, le acque reflue possono essere **pericolose per la salute dell'uomo** ed arrecare **danni all'ambiente**, anche dal punto di vista estetico.

Le acque reflue non possono essere reimmesse tal quali direttamente nell'ambiente.



I recettori finali (suolo, fiumi, laghi, mari) non sono in grado di ricevere carichi inquinanti superiori alle proprie **capacità autodepurative** senza compromettere i delicati equilibri dei diversi ecosistemi.

Discharge of (a) **domestic sewage**, (b) **solid waste** in water, (c) **raw industrial sewage**, and (d) **agricultural sewage** in polluted Bahr El-Baker drain.

(Abd-Elaty et al., 2019. Integrated Modelling for Groundwater Contamination from Polluted Streams Using New Protection Process Techniques. Water, 11: 2321.)

Enormi quantità di acque reflue derivanti dalle attività antropiche

Consumo italiano medio di acqua potabile

stimato tra i 150 e i 350 litri *pro capite* al giorno
(US → 380-760 litri al giorno).

Per ridurre la diffusione di patologie e per salvaguardare la qualità dell'ambiente, è necessario sottoporre le acque reflue ad **idonei trattamenti fisici, chimici e biologici (microbiologici)**.

Impianti di depurazione

I comuni d'Italia sono 7904 (al 20 febbraio 2021)

Ogni comune possiede uno o più impianti di depurazione a servizio delle zone più densamente popolate.

La **potenzialità dell'impianto**, espressa in **abitanti equivalenti**, è rapportata al carico (quantitativo e qualitativo) che può essere prodotto dal territorio di competenza e che deve essere trattato dall'impianto destinatario.



Impianti di depurazione delle acque reflue urbane in esercizio (dati ISTAT – 2015)

Trattamento primario	Trattamento secondario	Trattamento terziario	Totale
9 984	5 604	2 309	17 897

Gli **impianti di depurazione** rappresentano una delle più vaste applicazioni dei microrganismi.



Il D.L.vo 152/06 (e ss.mm.ii.), a seconda della provenienza degli scarichi, definisce **3 diverse tipologie acque reflue**

ACQUE REFLUE DOMESTICHE

“acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche”.

ACQUE REFLUE URBANE

“acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato” (modifiche apportate dal D.L.vo 4/2008).

Di solito, gli **impianti di depurazione** sono strutturati per depurare sia reflui derivanti da **attività domestiche** che **industriali**.

Reflui derivanti dal metabolismo umano (liquami), acque chiare provenienti dalle attività domestiche, dalla ristorazione, da piccole attività artigianali di tipo alimentare, etc.

Industrie chimiche, petrolchimiche, farmaceutiche, alimentari, etc.

ACQUE REFLUE INDUSTRIALI

“qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici od impianti in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diversi dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento ...” (modifiche apportate dal D.L.vo 4/2008).

Per il **rilascio delle autorizzazioni allo scarico** in corso d'acqua superficiale, su suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e in falda viene considerata una ulteriore tipologia di acque reflue.

ACQUE REFLUE ASSIMILATE ALLE ACQUE REFLUE DOMESTICHE

*“sono assimilate alle acque reflue domestiche le acque reflue ... aventi caratteristiche qualitative equivalenti a quelle domestiche e indicate dalla **normativa regionale**”.*

➤ Nel caso di reflui industriali che veicolano sostanze tossiche o particolarmente pericolose è richiesto il passaggio in **impianti di pre-trattamento**, prima dell'immissione in fogna o negli impianti di depurazione (per non comprometterne il funzionamento).

CONTENUTO DELLE ACQUE REFLUE

Sostanze galleggianti

Oli, grassi, schiume e composti insolubili più leggeri dell'acqua.

Sostanze colloidali

Costituite da particelle di dimensioni tali da non poter essere separati dall'acqua con trattamenti meccanici.

Sostanze sospese

Sostanze insolubili di densità uguale o superiore a quella dell'acqua, mantenute in sospensione dalla turbolenza. Tali sostanze possono essere divise in **sedimentabili** e **non sedimentabili**.

Sostanze disciolte

Sostanze omogeneamente disperse allo stato molecolare o ionico nell'acqua.

Materiali biologici

Organismi animali e vegetali presenti nell'acqua. Virus, batteri (saprofiti e patogeni), funghi, alghe, parassiti.

© Rapho Agency/Photo Researchers, Inc.



Acque reflue

Solidi sospesi
(peli, limo, feci,
fibre vegetali)

Composti organici
biodegradabili
(grassi, proteine,
carboidrati)

Agenti patogeni, parassiti
(*Salmonella*, *Vibrio*,
Cryptosporidium, virus,
elminti)

Inquinanti prioritari
(benzene, fenolo, toluene,
tetracloruro di carbonio)

Composti organici resistenti
(solventi organici,
olio per motori, benzina)

Metalli pesanti
(cadmio, mercurio,
piombo, cromo)

Composti inorganici disciolti
(fosfato, nitrato, ammonio)

■ Contaminanti domestici
■ Inquinanti organici persistenti (POPs)

Solidi non volatili (o residuo fisso)

rappresentano il residuo che si ottiene dopo l'incenerimento in forno (muffola) alla temperatura di 600 °C.

Solidi volatili

aliquota dei solidi che a 600 °C gasificano e non rimangono come cenere.

Wessner, Dupont, Charles. Microbiologia. Zanichelli, 2015.

Per il loro **elevato carico inquinante**, le acque reflue non possono essere scaricate direttamente nell'ambiente.



Esse devono essere sottoposte a diversi trattamenti per

- rimuovere le **sostanze tossiche**
- ridurre il contenuto di **materiale organico ed inorganico**
- eliminare o ridurre gli **agenti biologici**.



Per valutare il carico inquinante di un refluo si può utilizzare la **richiesta biochimica di ossigeno (BOD o BOD₅)**.



Quantità di ossigeno, espressa in mg/L, necessaria ai microrganismi per ossidare (in 5 giorni a 20°C) la sostanza organica (ed inorganica) presente in un campione di acqua.

Di solito, le acque reflue domestiche possiedono un valore di **BOD** di ~200, mentre le acque reflue industriali possono raggiungere valori di 1500.



L'efficienza del trattamento dei reflui può essere espressa come **riduzione del BOD**.



Le acque reflue, dopo il passaggio negli impianti di depurazione, presentano valori di BOD notevolmente ridotti (fino a 95%) rispetto ai reflui grezzi in ingresso.



Solo dopo idoneo trattamento le acque reflue depurate (**effluente**), nel rispetto del D.lgs. 152/2006, possono essere rilasciate in **acque superficiali** (fiumi, laghi, etc.) o in sistemi di depurazione per la **produzione di acque potabili**.

L'impianto di depurazione deve essere opportunamente dimensionato al carico inquinante

Un impianto è, di solito, progettato per trattare le acque reflue per un periodo di 25-30 anni.

Conoscenza di diversi parametri:

- Carico idraulico (quantità di acque reflue → m³/giorno), considerando anche l'andamento temporale della portata e gli eventi meteorologici;
- Carico organico (BOD₅ o COD/m³ refluo);
- Carico di nutrienti (N, P, S);
- Presenza inquinanti (detersivi, oli, etc.)
- Presenza eventuali sostanze pericolose (metalli pesanti, sostanze cancerogene, sostanze mutagene, etc.)
- ...

COD (Chemical Oxygen Demand)



quantità di ossigeno (mg O₂/L) necessaria per l'ossidazione completa delle sostanze organiche ed inorganiche contenute in un campione di acqua.



- Dimensionamento delle vasche (assicurare idonei tempi di permanenza dei reflui in vasca) e degli impianti;
- Portate del riciclo dei fanghi;
- Fabbisogno di ossigeno nelle vasche di areazione;
- Dimensionamento bioreattori per produzione biogas;
- ...

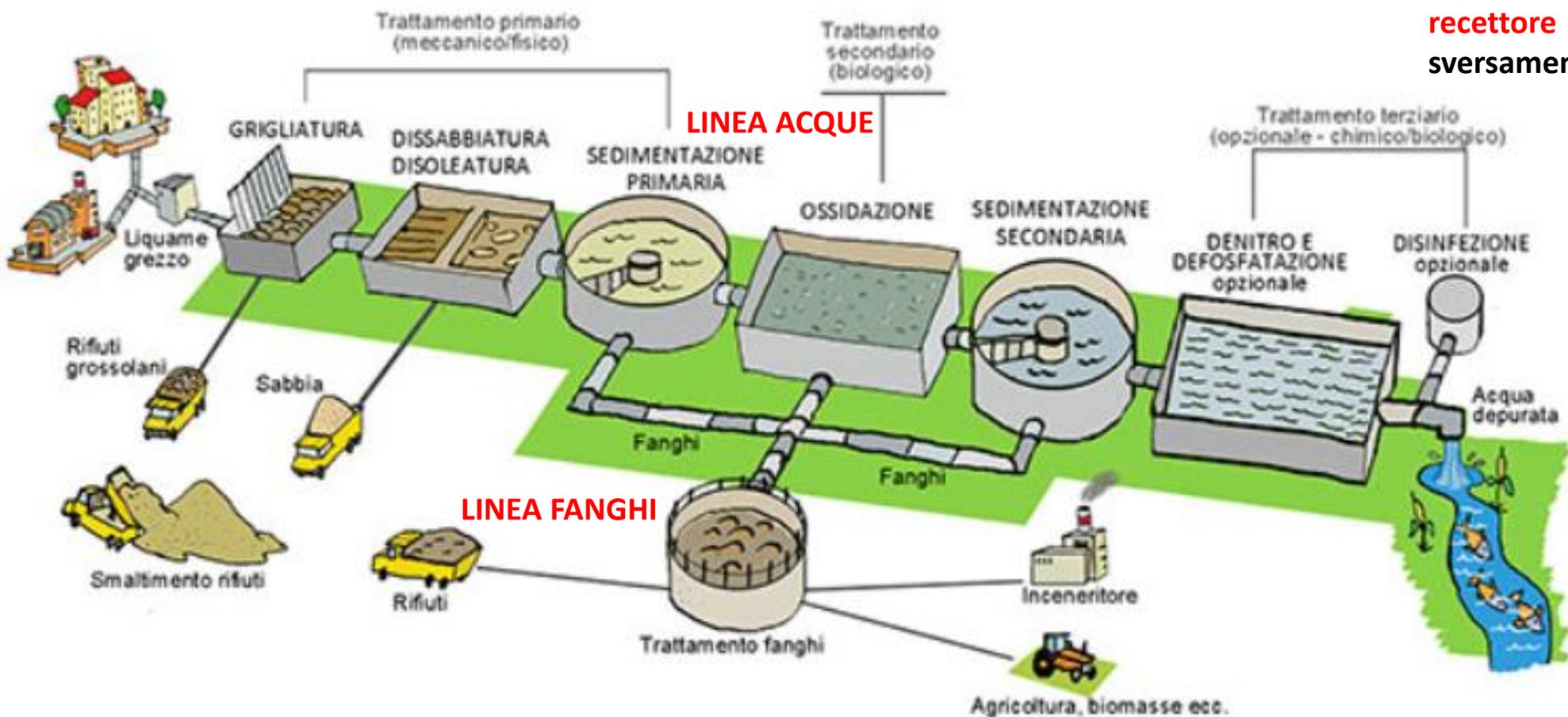
Impianto Di Depurazione Acerra



Per ridurre la contaminazione chimica e biologica, le acque reflue vengono convogliate in impianti in cui vengono sottoposte a diversi tipi di trattamenti:

- **Primario** Separazione dei materiali galleggianti e in sospensione (sedimentabili)
- **Secondario** Rimozione delle sostanze disciolte
- **Terziario** Trasformazione delle sostanze biodegradabili
Disinfezione per rimozione microorganismi ed agenti patogeni (prevenzione)
...

Gli impianti di depurazione sono basati su una successione di processi durante i quali dalle acque reflue vengono rimossi gli inquinanti (concentrandoli in fanghi), dando luogo a un **effluente finale di qualità compatibile con la capacità autodepurativa del corpo recettore** prescelto per lo sversamento.



TRATTAMENTO PRIMARIO

Mediante **trattamenti fisici** vengono separati materiali solidi e particolato organico ed inorganico.

La **grigliatura**, utilizzando una serie di griglie, consente di trattenere le particelle sospese aventi dimensioni superiori ad 1-2 millimetri. Il materiale trattenuto (mozziconi, pezzetti di plastica e metallo e materiale organico vario) viene inviato ad un compattatore per mezzo di una coclea.

La **dissabbiatura** consente di rimuovere le sabbie medie e fini trasportate dal liquame; la separazione avviene fisicamente in apposita vasca, con asporto delle sabbie mediante coclea. Le sabbie estratte sono raccolte in cassoni contenitori.

La **disoleatura** avviene in apposite zone di calma per consentire la rimozione di sostanze oleose, più leggere dell'acqua.



Il refluo è mantenuto in leggera agitazione mediante insufflazione di aria, in modo da favorire la sedimentazione delle particelle più pesanti, mentre la materia organica, più leggera, deve essere sottoposta alla fase di trattamento biologico.

Dopo le fasi di grigliatura, dissabbiatura e disoleatura, il refluo viene pompato nella vasca di sedimentazione primaria.

Nel corso della **sedimentazione primaria** il refluo viene lasciato decantare: i solidi sedimentano sul fondo della vasca di sedimentazione.



Durante il trattamento primario, le acque possono essere addizionate di **reattivi flocculanti** (sali di alluminio o ferro, etc.) per favorire la formazione di fiocchi di sostanza organica. Tali fiocchi si separano dall'acqua per gravità e, quindi, inviati o alla linea trattamento fanghi.



Acqua con solidi in fase di sedimentazione

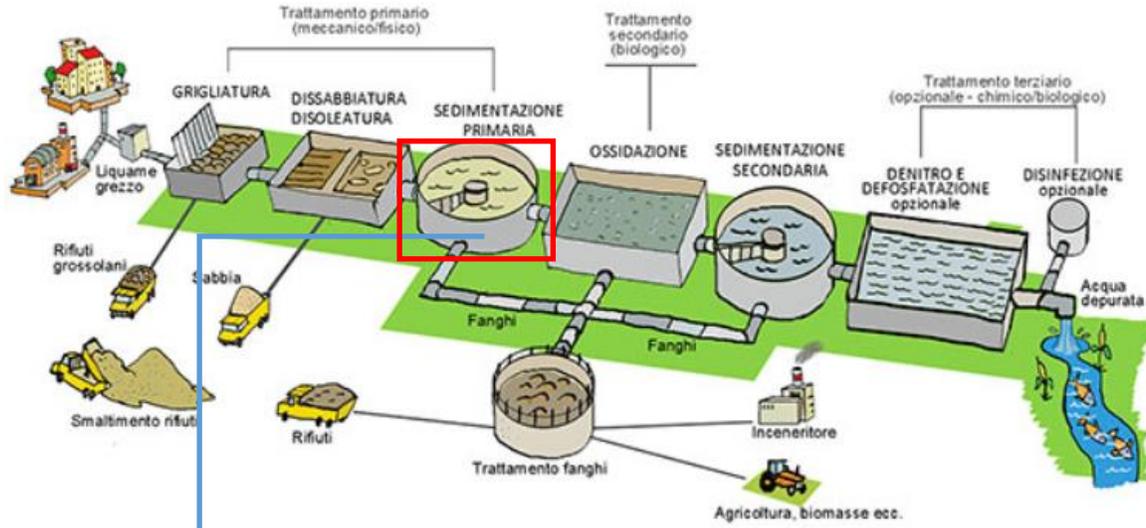
Acqua priva di solidi da inviare al trattamento secondario

Brock – Biologia dei microrganismi – IV ediz., Pearson.

Dopo il trattamento primario, le acque risultano ancora abbastanza inquinate, in quanto ancora ricche di **nutrienti** e di **sostanza organica**, sia in forma solubile che particellata.



Se scaricate nell'ambiente possono favorire la **crescita anche di microrganismi indesiderati** e peggiorare ulteriormente la qualità dell'acqua.



Nel caso di impianti che effettuano solo la sedimentazione primaria, l'effluente (ancora inquinato e con valori di BOD elevati) viene scaricato nell'ambiente.

Per ridurre ulteriormente il carico inquinante le **acque**, dal sedimentatore primario, vengono pompate ai sistemi di **trattamento secondario**, basati sulla digestione microbica aerobica, mentre i **fanghi** vengono avviati alla linea trattamento fanghi (anaerobica).

TRATTAMENTO SECONDARIO (aerobico)

Mediante **trattamento biologico** le acque, con ridotto carico organico, vengono sottoposte a reazioni di degradazione ossidativa effettuate dai microrganismi, in condizioni aerobiche.

Il trattamento secondario più utilizzato è il **SISTEMA A FANGHI ATTIVI a colture sospese**.

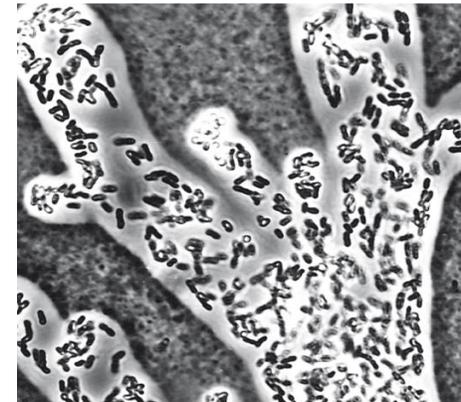


John M. Martinico e Deborah O. Jung

L'aerazione e la forte agitazione all'interno della vasca consente l'ossidazione della sostanza organica sulla superficie dei flocculi.

Le acque, immesse in grandi vasche, vengono continuamente aerate e mantenute in forte agitazione. Durante questa fase, **batteri mucilluginosi aerobi**, in particolare **Zoogloea ramigera**, producono sostanze polimeriche extracellulari che portano alla formazione di **masse aggregate (flocculi)**.

Per la completa ossidazione della sostanza organica, i reflui, di solito, permangono nella vasca di ossidazione per **5-10 ore**. La maggior parte della sostanza organica solubile viene adsorbita dai flocculi ed incorporata dalle cellule microbiche. In condizioni ottimali (2 mg/L O₂ e T = 25-32 °C) **abbattimento del BOD fino al 95%** rispetto al refluo in ingresso.



Ai flocculi mucilluginosi polisaccaridici, si associano batteri filamentosi, funghi, protozoi, piccoli animali.

↓
A livello dei flocculi avviene l'**ossidazione della sostanza organica**.

Durante il trattamento secondario, in condizioni aerobiche, diverse componenti del refluo possono essere utilizzate dai microrganismi come fonti di energia, di carbonio, di azoto, di zolfo, etc.



Produzione di prodotti di scarto o utili per produrre biomassa



Nitrificazione

Negli affluenti degli impianti di depurazione l'azoto è presente soprattutto sotto forma di ammoniaca ed azoto organico.

Molti microrganismi chemiolitotrofi effettuano l'ossidazione dei composti azotati ridotti (nitrificazione). L'ossidazione completa viene effettuata da due gruppi diversi di batteri:

ammonio-ossidanti e nitrito-ossidanti.

Ammonio-ossidanti

Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosovibrio



Nitrito-ossidanti

Nitrobacter, Nitrospira, Nitrococcus



complessivamente

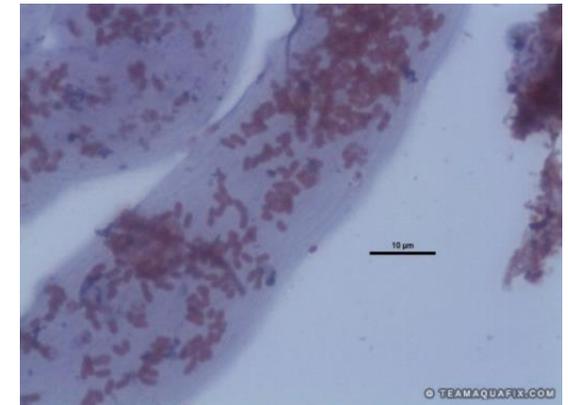
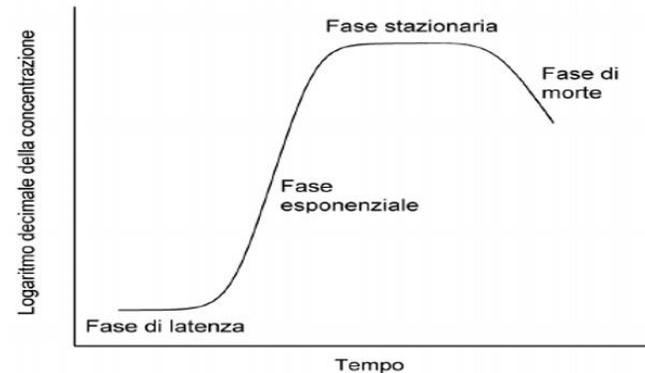
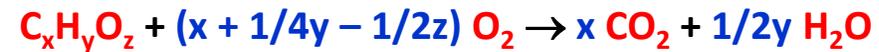


Ossidazione carbonio organico

La sostanza organica del refluo (carboidrati, proteine, lipidi, alcoli, etc.) può essere utilizzata dai microrganismi come fonte di energia e di carbonio.

Parte del carbonio organico viene trasformato in biomassa (fino al 50%).

Zoogloea, Flavobacterium, Alcaligenes, Aeromonas, Pseudomonas, Bacillus, ...



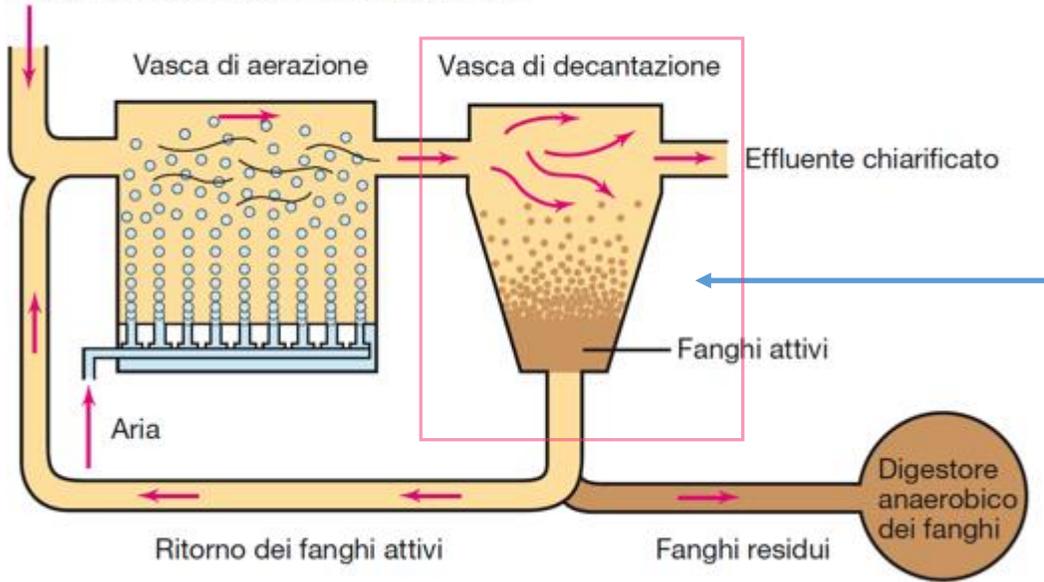
Fiocco di fango attivo costituito da EPS e microrganismi, in particolare *Zoogloea ramigera*.

Producendo acidità, nel corso di questo processo è necessario il **controllo del pH** e eventualmente aggiungere CaCO_3 .



Dopo il trattamento biologico nella vasca di ossidazione, i reflui vengono pompati nella vasca di **sedimentazione secondaria (chiarificatore)**.

Brock - Biology of Microorganisms (15th Edition) - Madigan, Bender, Buckley, Sattley
Acque reflue dopo il trattamento primario

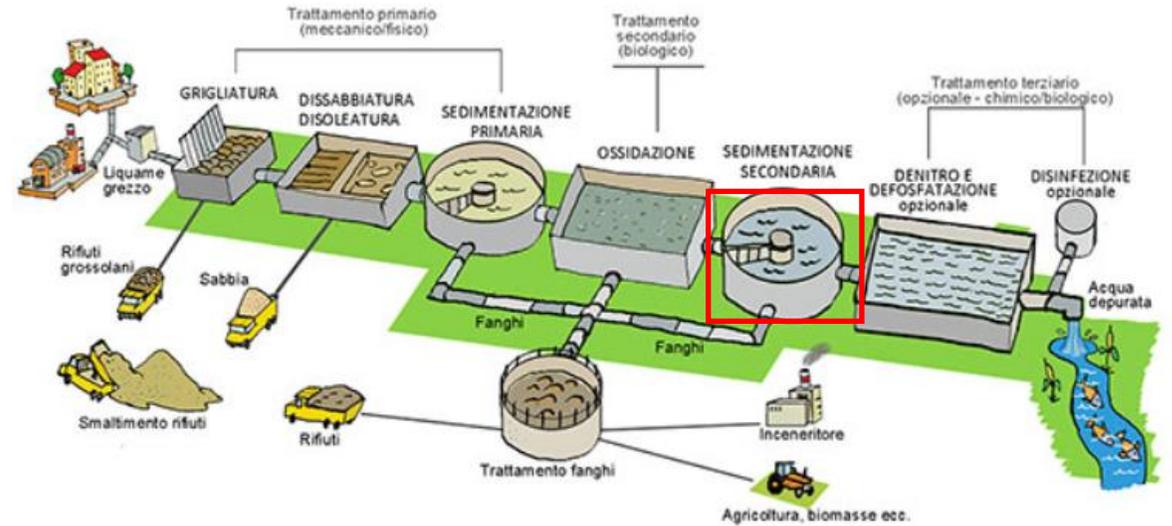


Ricircolo dei fanghi attivi

Parte dei fanghi precipitati sul fondo della vasca di sedimentazione secondaria viene reintrodotta nella vasca di ossidazione. Tali fanghi costituiscono un **reinoculo per le nuove acque reflue**.

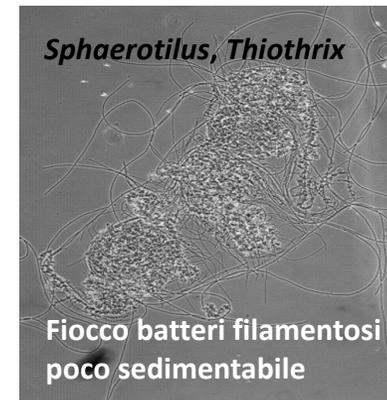
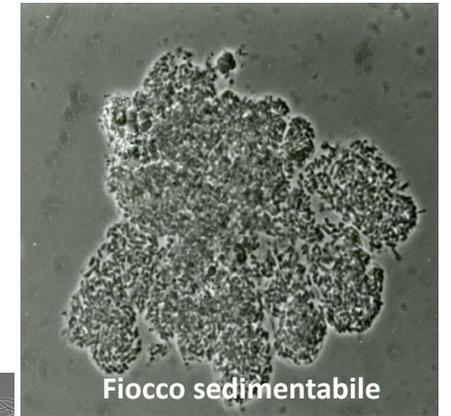
Parte dei fanghi viene avviata alla linea fanghi.

I **fanghi** possono essere avviati al trattamento in **digestori anaerobici** oppure sottoposti ad essiccazione (incenerimento) o utilizzati come fertilizzanti.



Durante la fase di sedimentazione secondaria, i **floculi** formati durante la fase di ossidazione precipitano sul fondo della vasca.

Fanghi secondari



Bulking (rigonfiamento)

CRITICITÀ RELATIVE AL TRATTAMENTO SECONDARIO A FANGHI ATTIVI

Crescita dispersa: mancanza adesione tra i batteri, con conseguente inibizione della bioflocculazione.

Alterazione probabilmente dovuta alla presenza di sostanze tensioattive o tossiche.

Fiocchi pin point: fiocchi di dimensioni molto ridotte (a punta di spillo) che danno origine ad un effluente torbido (non dovuto a batteri filamentosi). Alterazione dovuta a carenza di sostanza organica o presenza di sostanze tossiche.

Rising sludge: risalita e galleggiamento dei fanghi dovuto ai processi di denitrificazione che avvengono sul fondo dei sedimentatori secondari.

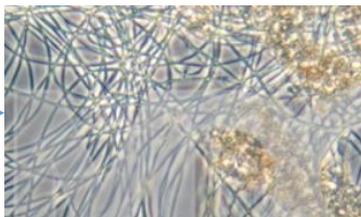


Bulking viscoso o filamentoso: elevata produzione di materiale extracellulare da parte dei batteri o predominanza di batteri filamentosi



produzione fiocchi di aspetto gelatinoso.

Alterazione dovuta, di solito, a carenza di nutrienti.



Foaming: produzione di schiume biologiche di colore marrone sulla superficie dei sedimentatori e delle vasche di ossidazione (sovraccrescita di batteri filamentosi), in genere diversi da quelli responsabili del bulking.



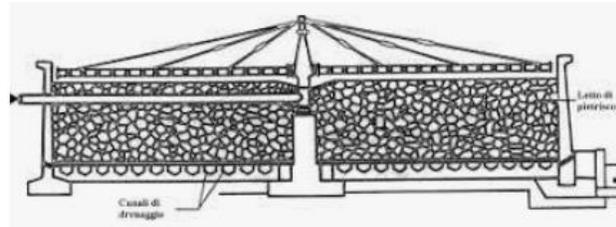
Il trattamento secondario, oltre che a **colture sospese** può essere effettuato anche a **colture adese**

- a supporto mobile: **dischi biologici**
 - a supporto fisso: **letti percolatori**
- acque reflue da piccole comunità

TRATTAMENTO SECONDARIO A DISCHI BIOLOGICI (biodischi) detto anche CBR (Contattore Biologico Rotante)



TRATTAMENTO SECONDARIO A LETTO



L'acqua da depurare viene spruzzata su un letto poroso, costituito da materiale grossolano (pietrisco), sul quale è adeso un **film biologico (biofilm)**.

Il refluo fluisce lungo lo strato di pietrisco del letto percolatore ed, entrando in contatto con il biofilm, va incontro a trasformazioni biochimiche che consentono l'abbattimento degli inquinanti.

Svantaggi: presenza insetti, emissione cattivi odori per condizioni anaerobiche (ispessimento del biofilm), intasamento del letto percolatore.

Sistema di depurazione biologica a **biomassa adesa a supporto mobile**: una serie di dischi in polistirene o polietilene, parzialmente immersi nel liquame, ruotano lentamente attorno ad un asse (2-5 giri/minuto).

la superficie dei biodischi viene alternativamente a contatto con l'aria e con la fase liquida.

I dischi sono immersi, per il 40% del loro diametro, in una vasca dove scorrono continuamente i liquami.



Durante la rotazione, sui dischi si forma un **biofilm** che, quando raggiunge un certo spessore (2-5 mm), si comincia a distaccare.

I fiocchi distaccati vengono trasportati dal refluo nella vasca di **sedimentazione secondaria**, dove vengono eliminati sotto forma di fanghi.

TRATTAMENTO TERZIARIO

Il trattamento terziario (chimico-fisico, fisico-biologico, combinato) tende a migliorare ulteriormente l'effluente derivante dal trattamento secondario.

Ulteriore rimozione

- Sostanza organica
- Solidi sospesi
- Nutrienti organici ed inorganici (ammoniacca, nitriti, nitrati, **fosforo**)
- Sostanze tossiche

Costi elevati!

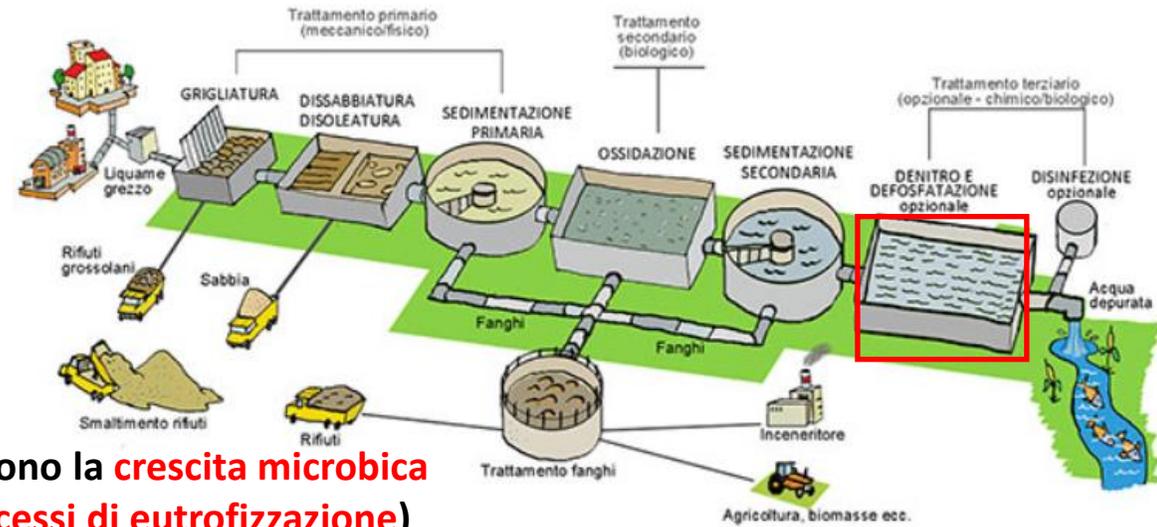
Sostanze che favoriscono la **crescita microbica** (possono indurre **processi di eutrofizzazione**)

I trattamenti secondari, di solito, riescono a rimuovere fino al 20% del P presente nel liquame grezzo.

L'aggiunta di calce o sali di Fe o Al, sotto forma di cloruri o solfati, permette di rimuovere fino al 90% del P disciolto presente nell'effluente secondario.

Le sostanze insolubili che si formano (fosfato di calce, fosfato ferrico FePO_4 , complessi idrossido e fosfato ferrici, etc.), precipitano e vengono allontanate sotto forma di fanghi.

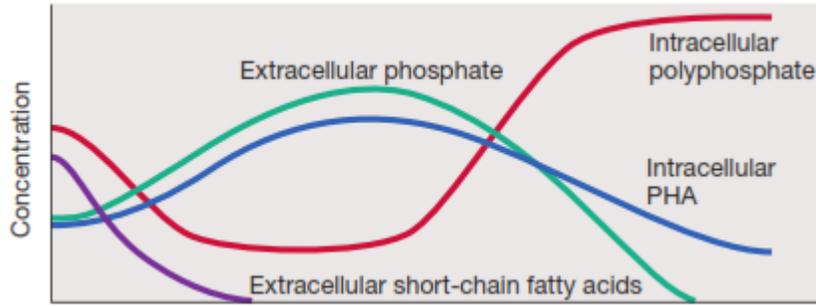
Durante la fase anaerobica, i batteri accumulatori di fosforo sfruttano energia accumulata sotto forma di **polifosfati** per formare polioidrossialcanoati (PHA) dagli acidi grassi, con liberazione di ortofosfato solubile (PO_4^{3-}). Durante la fase aerobica, i PHA accumulati vengono utilizzati per fornire energia e C per la crescita microbica. L'energia serve anche a formare **polifosfato intracellulare** utilizzando l'ortofosfato solubile. La biomassa microbica, infine, viene rimossa dal refluo.



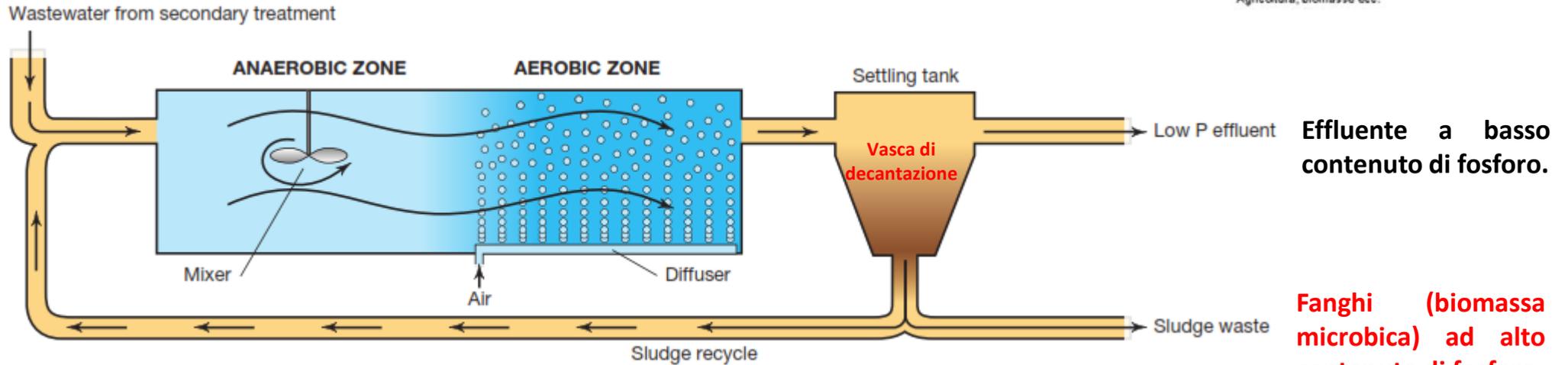
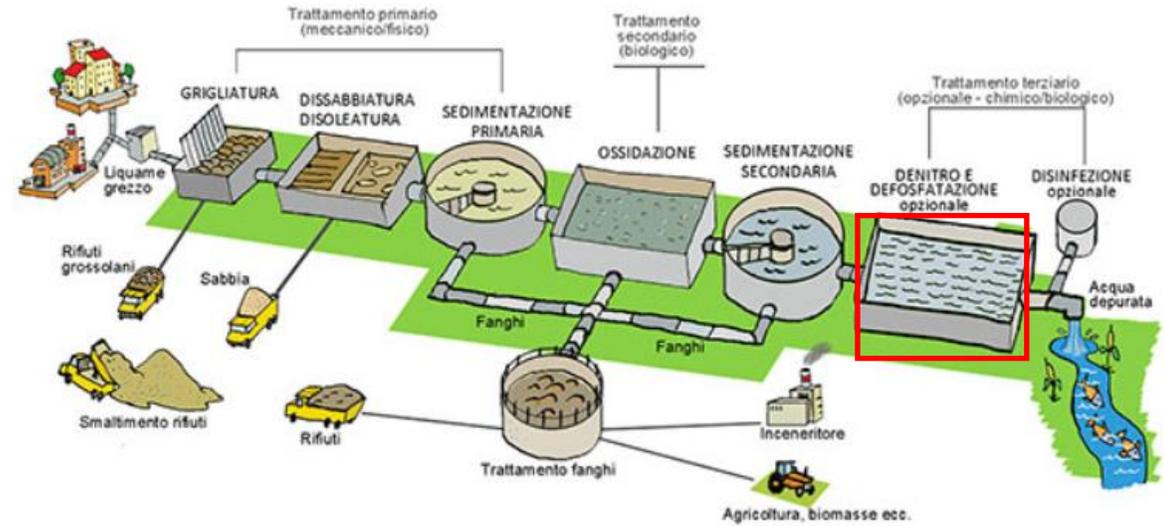
La rimozione del **fosforo** può avvenire per **via chimica o biologica**

La rimozione per via biologica (**rimozione biologica potenziata del fosforo, EBPR**) impiega **batteri accumulatori di P** in bioreattori anaerobici ed aerobici.





Concentrazioni di diverse specie chimiche durante il processo di **rimozione biologica potenziata del fosforo**.



Durante la **fase anaerobica** i microrganismi, sfruttando l'energia dei polifosfati, inglobano acidi grassi a catena corta per formare PHA e rilasciano, sotto forma di ortofosfato solubile (PO_4^{3-}), le scorte interne di polifosfato.

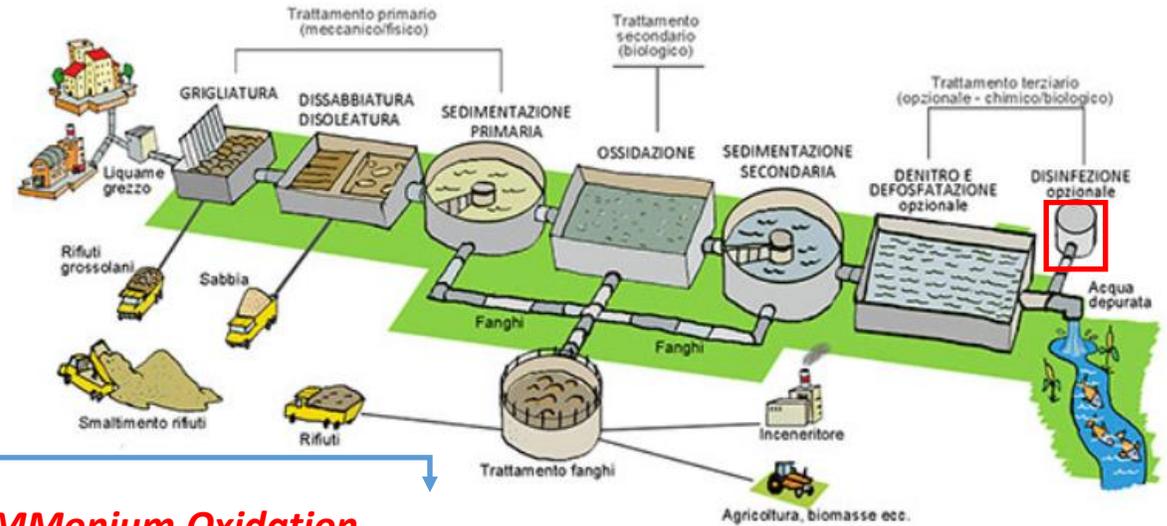
Durante la **fase aerobica** i microrganismi, metabolizzando i depositi di PHA, inglobano l'ortofosfato solubile presente nel refluo e riformano i polifosfati intracellulari.



DENITRIFICAZIONE

Il **nitrato**, prodotto durante la fase aerobica, viene utilizzato dai batteri come accettore di elettroni (denitrificazione) in condizioni di **ridotte concentrazioni di ossigeno** (*Pseudomonas*, *Thauera*, *Azoarcus*, *Xantomonas*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus*, ...).

La rimozione dell'azoto dal refluo proveniente dal trattamento secondario può essere effettuato sfruttando due diversi processi microbici.



Denitrificazione

La riduzione del nitrato porta alla formazione di azoto molecolare (N_2) ed ossido nitroso (N_2O).

e^- ed H^+ ricavati dall'ossidazione di sostanza organica o inorganica (H_2S)



Alcuni batteri possono ridurre NO_2^- ad NH_3 (riduzione dissimilativa)

ANAerobic AMMonium Oxidation

In condizioni anaerobiche, l'azoto può essere rimosso mediante i **batteri anammox**.

Lo ione ammonio NH_4^+ (donatore di elettroni) viene utilizzato per ridurre il nitrito NO_2^- (accettore di elettroni) derivante da una parziale nitrificazione.



Questo processo può convertire fino all'80% circa dello ione ammonio presente nel refluo.

Oltre alla produzione di N_2 e di N_2O , parte dell'azoto viene utilizzato per produrre **biomassa**

DISINFEZIONE

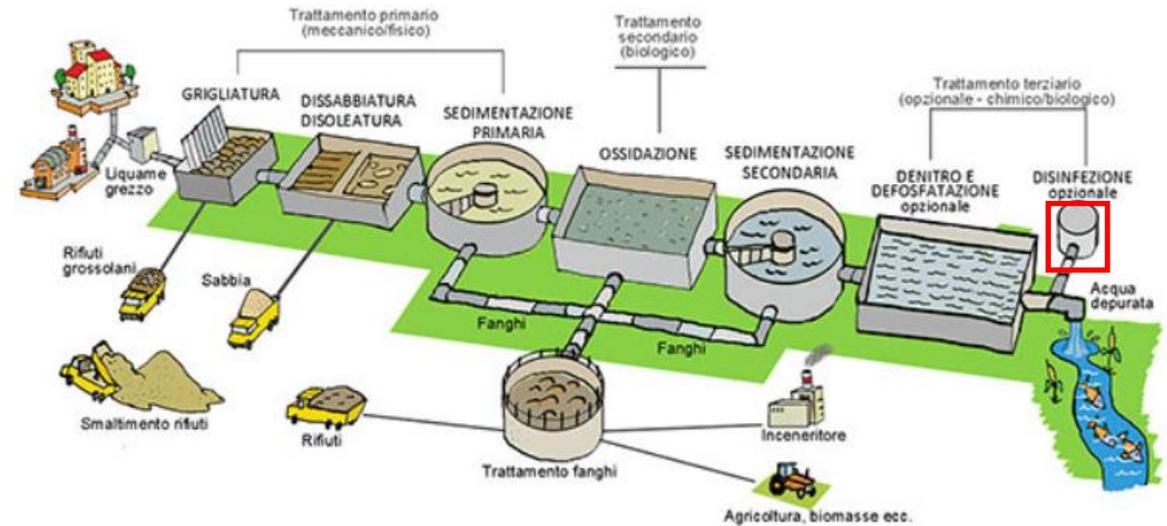
La disinfezione è finalizzata all'eliminazione di microrganismi patogeni (virus, batteri, funghi, parassiti) dalle acque reflue, già sottoposte ai trattamenti secondari, prima dell'immissione nei corpi recettori.

Le tecniche di disinfezione variano in funzione del **destino finale delle acque depurate:**

- Irrigazione in agricoltura
- Irrigazione ad uso paesaggistico
- Riciclo e riuso delle acque a scopo industriale
- Ricarica delle falde sotterranee
- Usi ricreativi/ambientali
- Riutilizzo urbano potabile e non potabile
- ...

Necessità di sistemi di disinfezione

- efficienti
- a bassa formazione di derivati tossici
- Economici
- ..



Fase particolarmente importante in caso di

- **Reflui provenienti da ospedali o cliniche**
- **Effluenti riversati in ambienti marino-costieri (effetti su mitilicoltura e balneazione)**

Trattamenti chimici: cloro gas, ipoclorito di sodio, biossido di cloro, ozono, acido peracetico;
trattamenti meccanici: ultrafiltrazione;
Trattamenti fisici: raggi ultravioletti.

I disinfettanti a base di cloro portano alla formazione di composti organo-alogenati (clorammine, derivati clorurati aromatici e alifatici).

Le tecniche di disinfezione variano in funzione del destino finale delle acque depurate.

Il **D.Lgs. 152/99** introduceva il concetto di "**RIUSO**" delle acque reflue trattate;

Il **D.Lgs. 258/00** modificava alcuni articoli del 152/99 ed all'art. 26 ed attribuiva al **Ministero dell'Ambiente e del Territorio** il compito di emanare un decreto per favorire il recupero ed il successivo riutilizzo delle acque reflue trattate.

Il **D.M. 185/03** ha definito le **norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue** in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 152/99.

Il **Decreto 2 maggio 2006**, emanato in attuazione dell'articolo 99 del **D.lgs. 152/2006**, in vigore il 29 aprile 2006, ricalca in gran parte le disposizioni già vigenti in virtù del Dm 185/2003 relative a "**destinazioni d'uso**" e "**requisiti di qualità**" necessari per il riutilizzo delle acque recuperate.

Come **indicatore di qualità**, è previsto un unico parametro microbiologico (come il 152/99):

Escherichia coli

D.lgs. 152/99 → 5.000 UFC/100 mL

D.M. 185/03

- **10 UFC/100 mL (80% dei campioni)**
- **100 UFC/100 mL (concentrazione max)**

Per il parametro **Salmonella** il valore limite (**assenza**) è da riferirsi al 100% dei campioni. Il riutilizzo deve, quindi, essere sospeso ove nel corso dei controlli si rilevi presenza di **Salmonella**.

Sostanze organiche azotate totali		mg/L	0,01
Tensioattivi totali		mg/L	0,5
Pesticidi clorurati (ciascuno)		mg/L	0,0001
Nota 2			
Pesticidi fosforati (ciascuno)		mg/L	0,0001
Altri pesticidi totali		mg/L	0,05
Parametri microbiologici	Escherichia coli	UFC/100mL	10 (80% dei campioni)
	Nota 3		100 valore puntuale max
	Salmonella		assente

Il **DM 2 maggio 2006** stabilisce **destinazioni d'uso** e **requisiti di qualità** delle acque reflue ai fini del riutilizzo:

- **irriguo;**
- **civile (lavaggio strade, reti duali);**
- **industriale (processo, raffreddamento, lavaggio).**

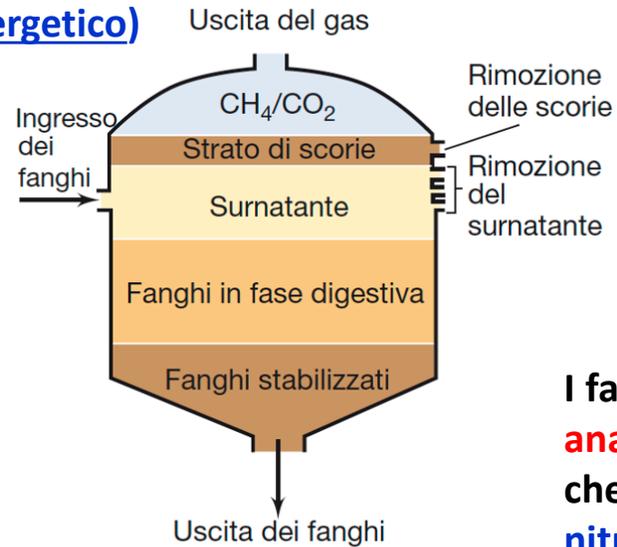
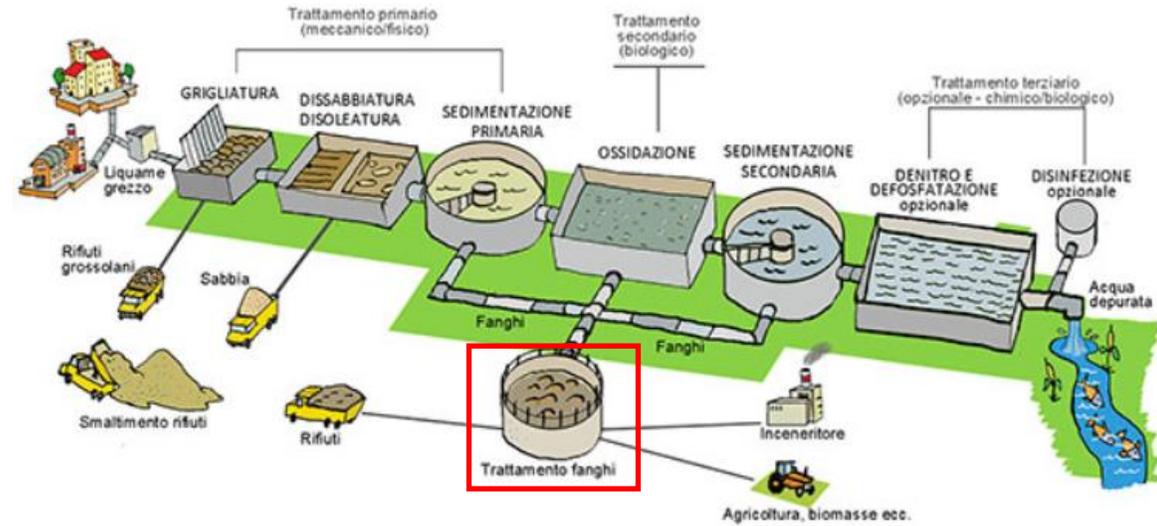
FANGHI PRIMARI E SECONDARI

fanghi biologici, derivanti dai sedimentatori

Processi di STABILIZZAZIONE

T Trattamenti biologici che permettono di degradare la sostanza organica presente nei fanghi e di stabilizzarli biologicamente.

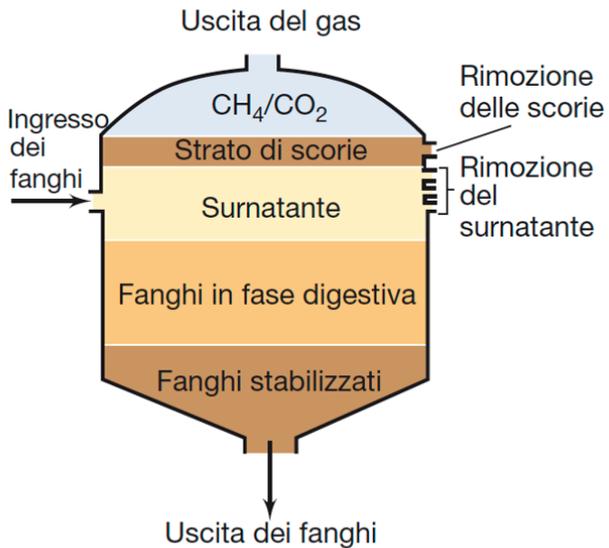
- Processi aerobici
- Processi anaerobici (recupero energetico)



Digestore anaerobico (bioreattore)

I fanghi vengono stabilizzati, all'interno di **digestori anaerobici**, in seguito all'attività di microrganismi che utilizzano accettori di elettroni diversi dall' O_2 : **nitrato** (NO_3^-), **nitrito** (NO_2^-), **solfo** (SO_4^{2-}).

Alla fine del processo, in seguito a reazioni di fermentazione e di respirazione anaerobica, il carbonio è ritrovabile in parte in forma ossidata (CO_2) ed in parte in forma ridotta (CH_4).



Il trattamento dei fanghi all'interno del digestore anaerobico si basa su 3 tipi di reazioni:

- **Idrolisi**
- **Fermentazione**
- **Metanogenesi**

Idrolisi

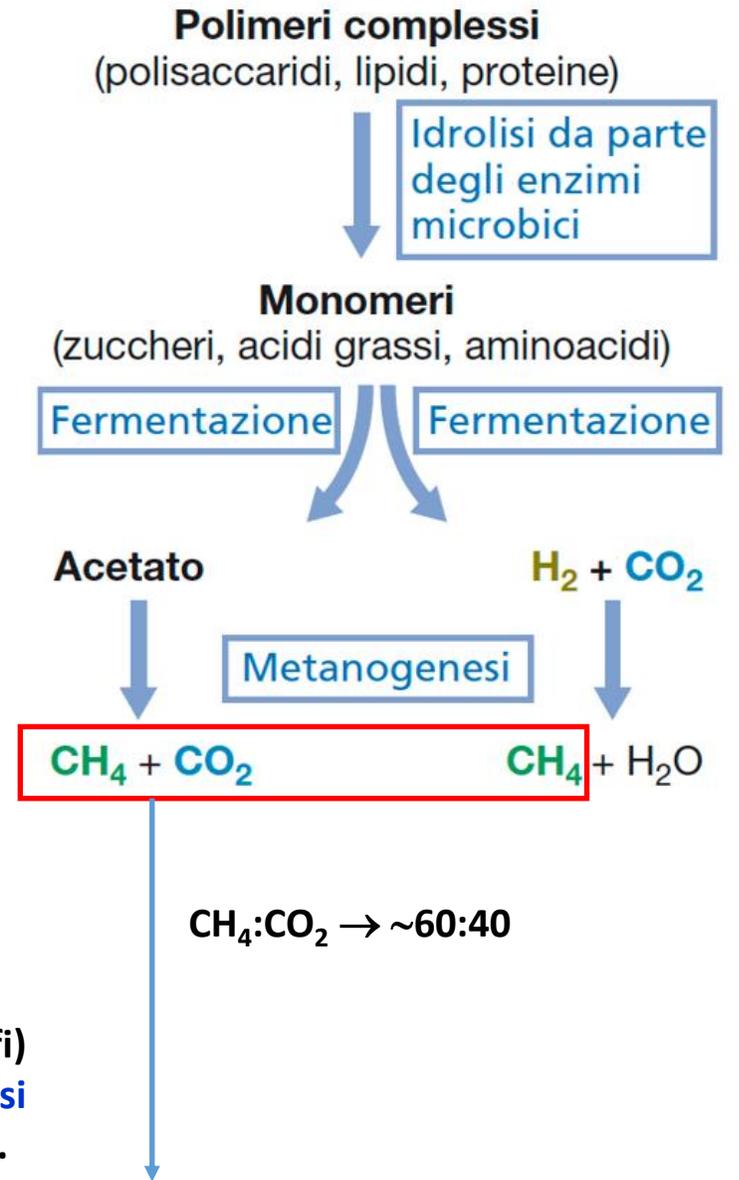
Le **macromolecole** (polisaccaridi, lipidi, proteine, acidi nucleici), attraverso **esoenzimi** sintetizzati dai microrganismi, vengono idrolizzati a **monomeri** (zuccheri, acidi grassi, aminoacidi, nucleotidi).

Fermentazione

I **monomeri**, derivanti dall'idrolisi delle macromolecole, attraverso processi microbici fermentativi vengono trasformati in acidi organici (**acido acetico**), **CO₂** ed **H₂**.

Metanogenesi

I **batteri metanogeni** (acetoclastici ed idrogenotrofi) utilizzando come substrati i **prodotti dei processi fermentativi**, portano alla formazione di **metano (CH₄)**.



Fango di spurgo + **BIOGAS**

β-ossidazione degli acidi grassi

Gli **acidi grassi a catena lunga** vengono degradati, in seguito al distacco progressivo di 2 atomi di carbonio in posizione α e β rispetto al carbossile ad opera del coenzima A, con produzione di **acidi organici a catena corta** (**acido propionico, acido butirrico, acido valerico, ...**).

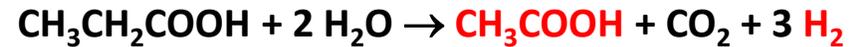
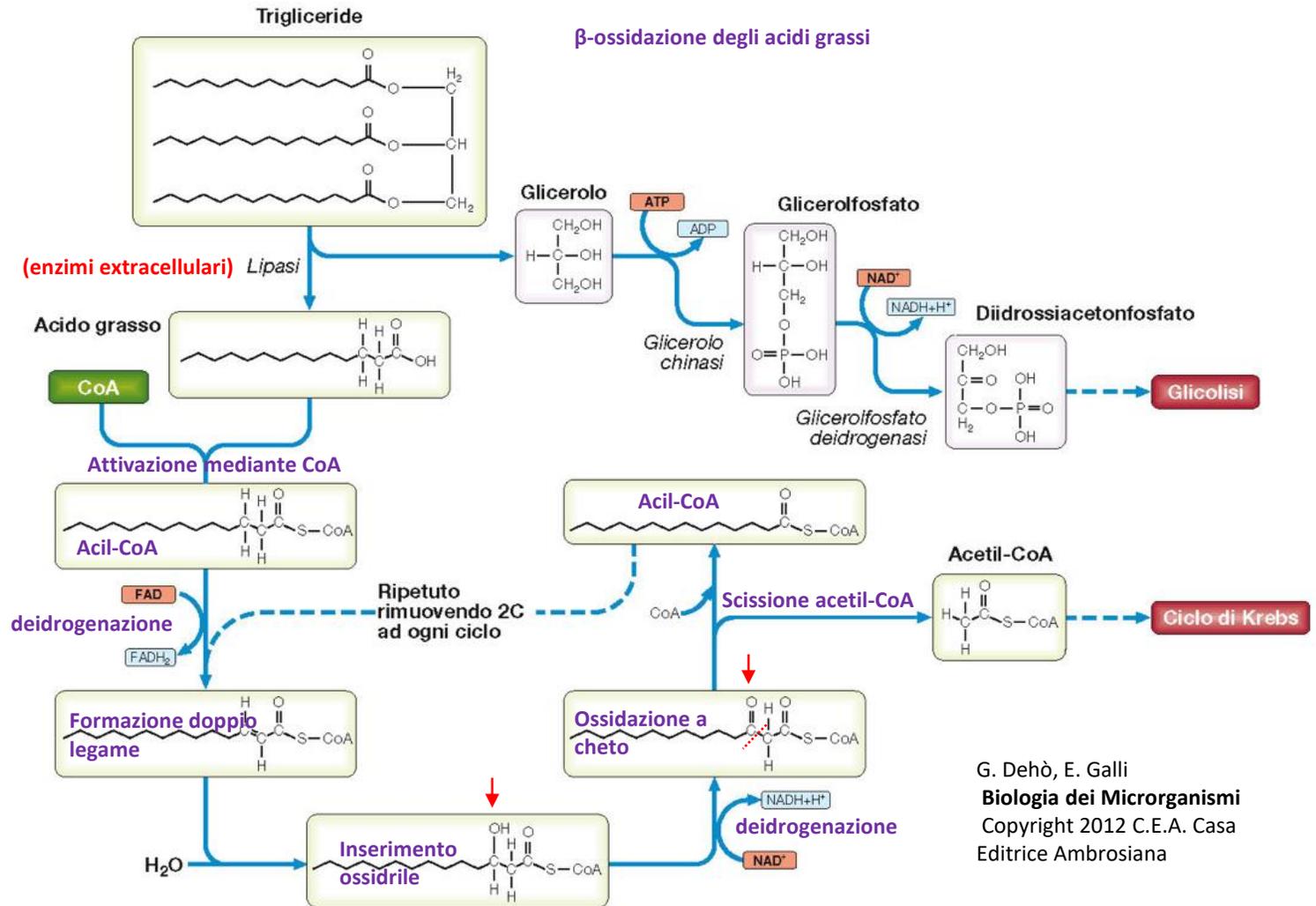
Nel corso della reazione si produce anche **H₂**.

La produzione di **H₂**, essendo termodinamicamente sfavorita, può avvenire solo esso viene continuamente consumato dai microrganismi metanogeni o acetogeni.

Un aumento della pressione parziale di **H₂** potrebbe bloccare l'intero processo.

Ossidazione anaerobica

Gli **acidi grassi a catena corta**, prodotti dalle reazioni di β-ossidazione, vengono trasformati in **acido acetico** dai batteri «Riduttori Obbligati di Protoni» (ROP).



Ac. propionico

Metanogenesi ad opera dei batteri acetoclastici

Circa il 70% del metano prodotto deriva dall'attività degli **acetoclastici** (*Methanosarcina*, *Methanotherix*): in seguito alla decarbossilazione dell'acetato, il gruppo metilico viene trasformato a metano.

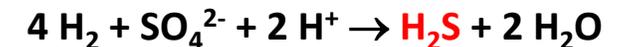
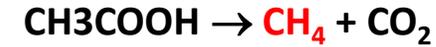
Metanogenesi ad opera dei batteri idrogenotrofi

Diversi *Archaea* (*Methanosarcina*, *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Metanoplanus*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*) sono in grado di produrre metano utilizzando **H₂ come donatore di elettroni** e **CO₂ come accettore**. Il metano prodotto attraverso questa reazione rappresenta circa il 30% del totale.

Acetogenesi

Ad alta pressione parziale di H₂, alcuni batteri (acetogeni: *Clostridium aceticum*, *Clostridium thermoautotrophicum*, ...) producono **acido acetico** utilizzando gli stessi substrati dei metanogeni (H₂ e CO₂)

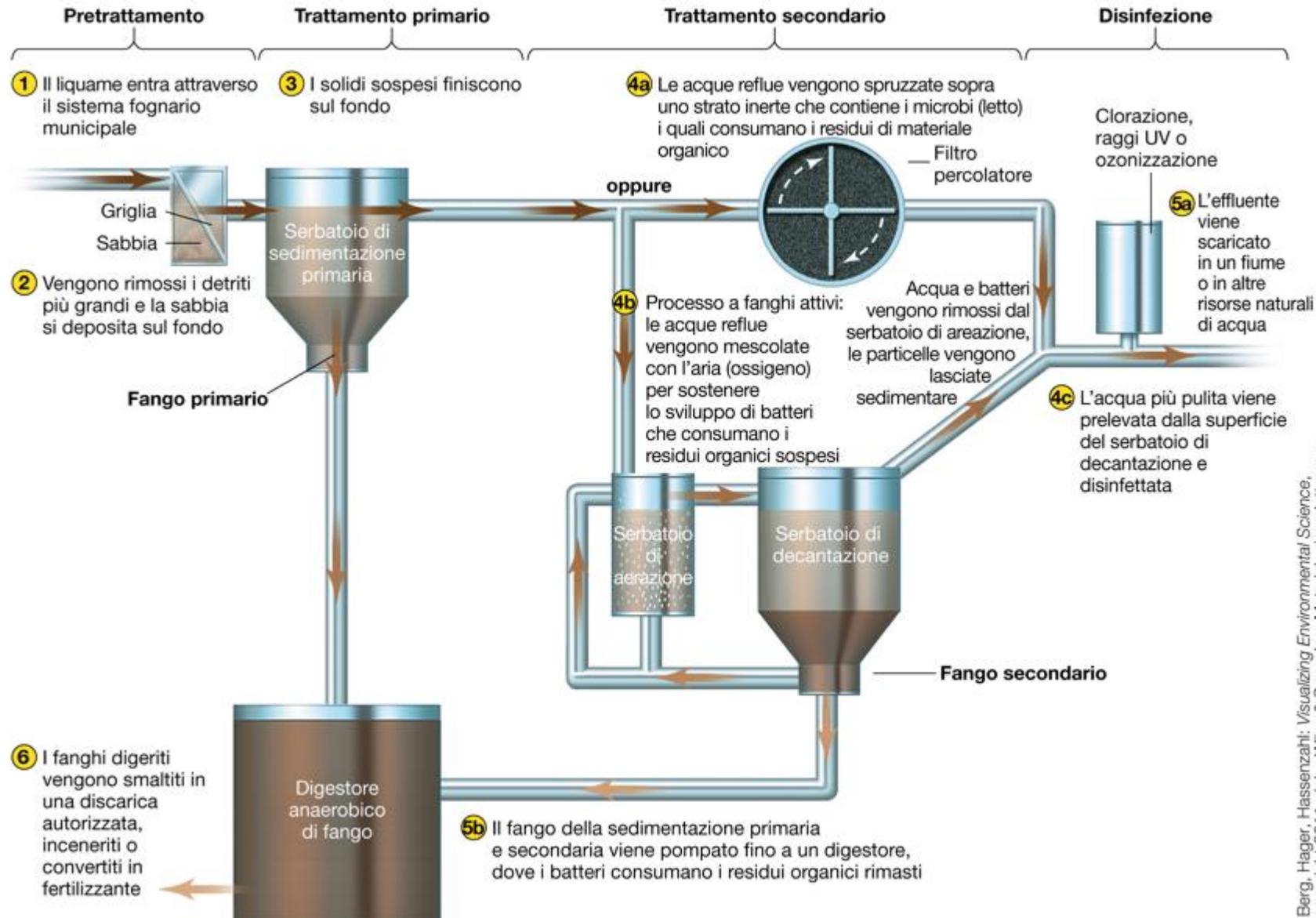
Alcuni batteri (solfato-riduttori), in condizioni anaerobiche, potrebbero utilizzare H₂ come donatore di elettroni ed SO₄²⁻ come accettore, con produzione di acido solfidrico (H₂S). La produzione di H₂S potrebbe avere un **effetto inibente** sui processi che portano alla formazione di biogas.



**Ruolo centrale della
pressione parziale di H₂**

Condiziona i flussi metabolici
ed i prodotti finali

Schema di processo di un impianto di trattamento delle acque reflue.



Berg, Hager, Hassenzahl: *Visualizing Environmental Science*, copyright 2011, John Wiley & Sons, Inc. Materiale riprodotto con il permesso di John Wiley & Sons, Inc.

In origine, gli impianti di trattamento delle acque reflue venivano progettati per il trattamento e la degradazione di sostanze naturali, prevalentemente reflui umani, prodotti chimici di largo impiego, prodotti utilizzati in agricoltura e reflui da attività industriali.

Oggi, tuttavia, nei reflui sono presenti prodotti dell'industria farmaceutica (antibiotici, ormoni, etc.), principi attivi utilizzati nella preparazione di prodotti per la cura della persona, profumi, filtri solari, prodotti utilizzati per le pulizie domestiche, etc.

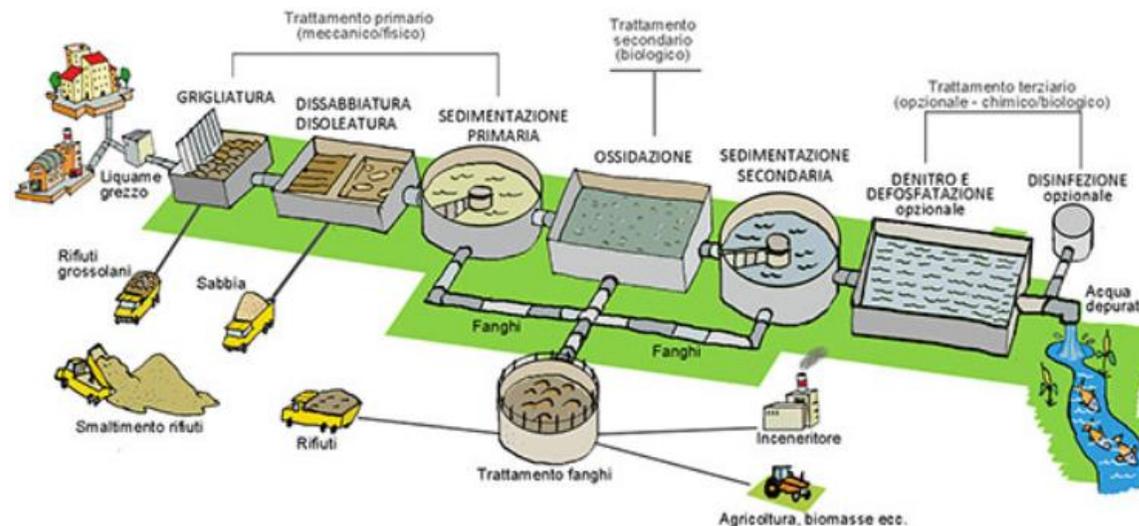


Numerose sostanze farmaceutiche e loro metaboliti, a causa del loro intenso uso, vengono frequentemente rilevate nell'ambiente (fiumi, laghi, reflui, impianti di depurazione, suolo, acque di falda, sedimenti).



Alcuni prodotti farmaceuticamente attivi mostrano effetti negativi sulla vita acquatica, anche a concentrazioni molto basse (da ng/L a µg/L). La presenza di antibiotici è stata associata alla crescente diffusione di batteri patogeni antibiotico-resistenti e gli ormoni alla femminilizzazione/mascolinizzazione di alcuni organismi acquatici. Sono in corso studi per ridurre o rimuovere completamente questi tipi di inquinanti dai reflui per proteggere l'ambiente e la salute umana.

Nella progettazione e nella gestione degli impianti di depurazione, bisogna tener conto anche dei nuovi tipi di contaminanti che possono essere veicolati dai reflui e dell'effetto che essi possono avere sui microrganismi coinvolti nei diversi processi deputativi.



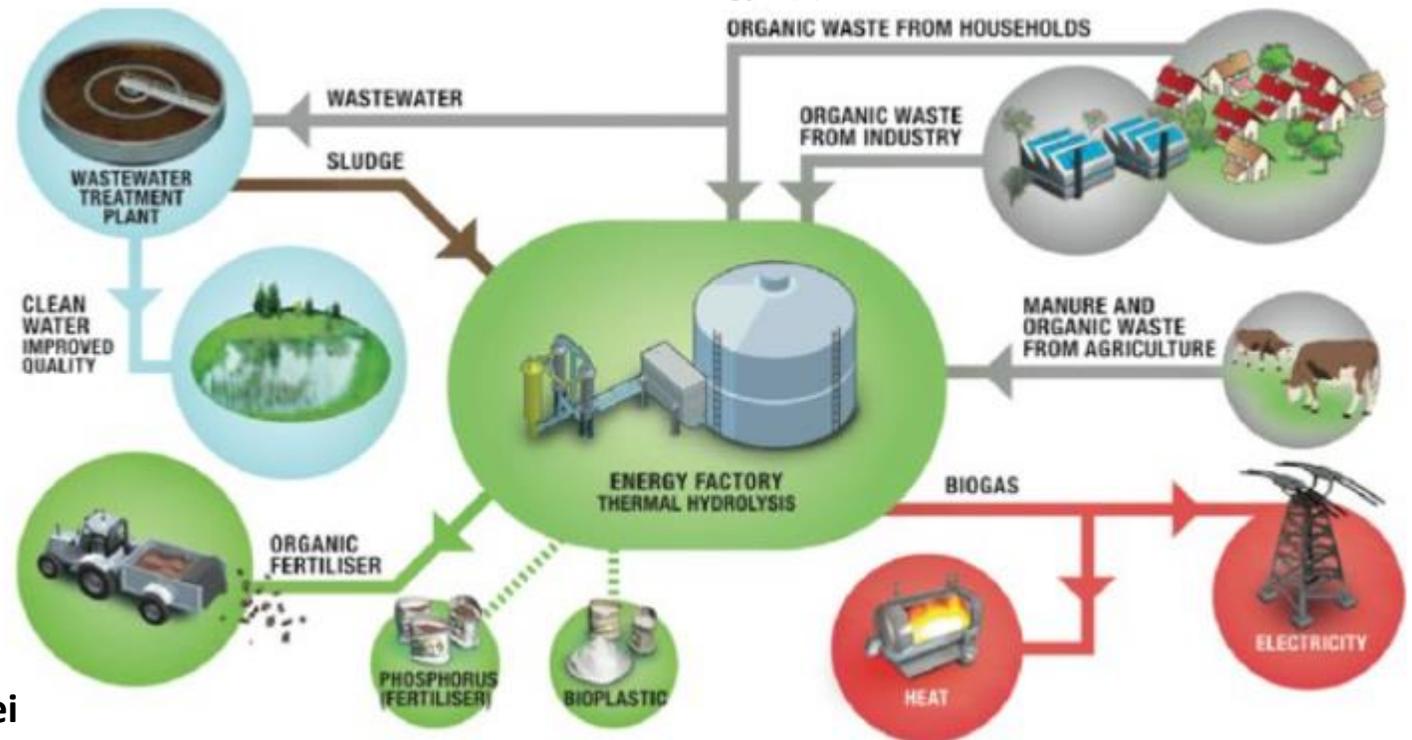
Méndez et al. 2017. Emerging pollutant treatments in wastewater: Cases of antibiotics and hormones. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 52(3):235-253.

Occorre una conoscenza completa dell'**identità**, della **fisiologia**, dell'**ecologia** e delle **dinamiche della popolazione** dei **microrganismi** per poter controllare i diversi processi critici per la produzione di **acque pulite**, per ridurre le **CO₂ footprints**, per ottimizzare il recupero e la produzione di **bioenergia**.



Dimostrazione della grande importanza delle **biotecnologie microbiche**.

È necessario introdurre, anche nell'ambito dei processi di depurazione delle acque reflue, il **concetto di bioraffineria (biorefinery)**.



In Danimarca alcuni impianti di trattamento delle acque reflue convenzionali stanno per essere rimodellati per ricavare **biogas** (→ energia elettrica e calore), **fertilizzanti organici**, **fertilizzanti a base di fosforo** e **bioplastiche**.

Le **BIOTECNOLOGIE MICROBICHE** sono essenziali per lo sviluppo dell'**economia circolare** anche nel **trattamento delle acque reflue**, associando alla **PRODUZIONE DI ACQUA PULITA** la **PRODUZIONE DI ENERGIA** ed il **RECUPERO DI RISORSE**.

In futuro, nell'ottica del concetto di **biorefinery**, non bisogna considerare le acque reflue come un prodotto di rifiuto, ma come una **risorsa**.

