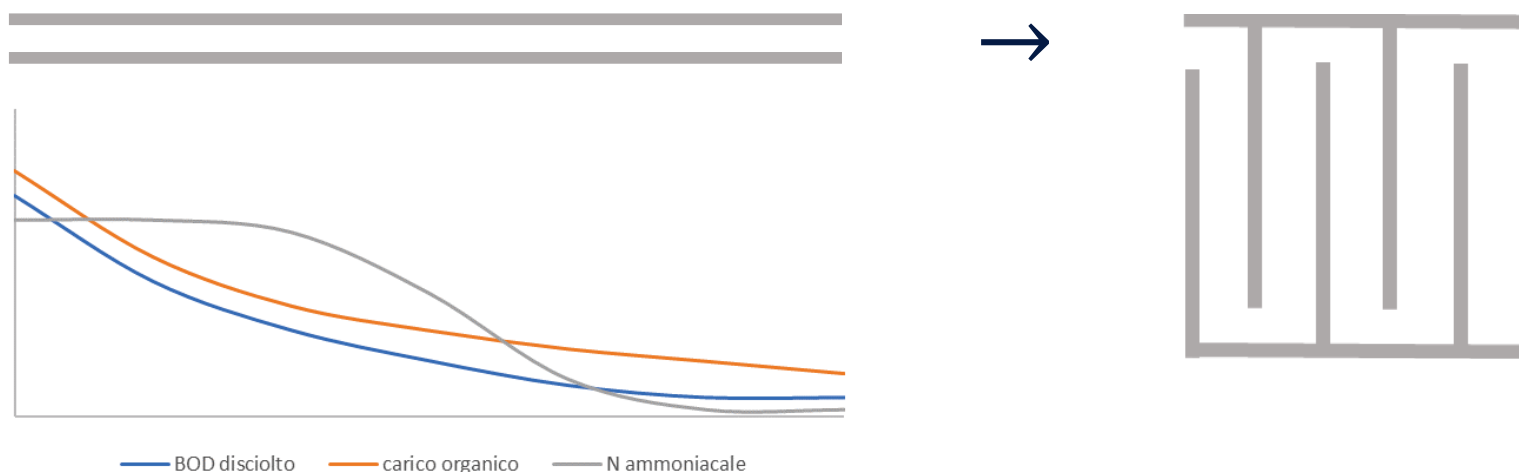


# **CONDUZIONE DEGLI IMPIANTI A FANGHI ATTIVI**

## **Terza parte - Tipologie di impianto**

**Relatore: Fulvio Borrino**

# Lo schema *plug flow* (flusso a pistone)



Il rapporto tra lunghezza e larghezza è  $> 10$  per rendere minimo il mescolamento

La capacità di aerazione deve essere maggiore vicino all'ingresso

# Lo schema *plug flow* (flusso a pistone)

Il fango di ricircolo è miscelato con il liquame in ingresso nel rapporto 1:2 e l'età del fango è compresa tra 5 e 15 giorni

A parità di volume, questa configurazione è più efficiente di quella a vasca completamente miscelata, ma è anche più sensibile alle punte di carico e agli effetti delle sostanze tossiche

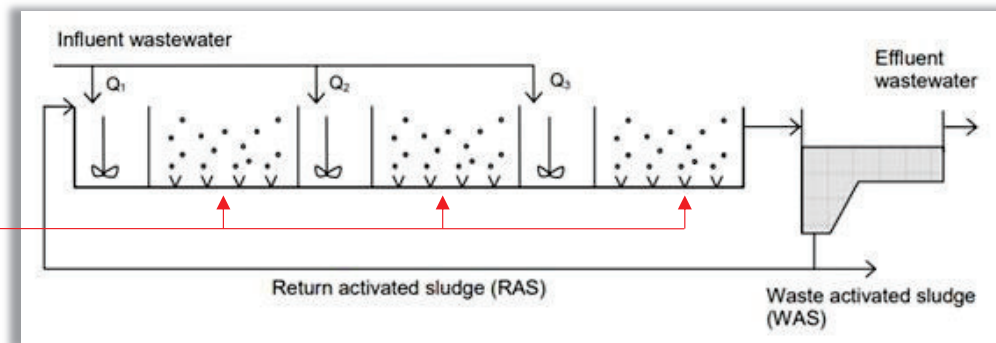


<https://www.hazenandsawyer.com>

# Lo schema a carico distribuito (*step aeration*)

Un modo per rendere il processo meno sensibile ai picchi del carico organico e all'effetto delle sostanze tossiche per i fanghi consiste nell'introdurre il liquame non più solo in ingresso, ma in tre, quattro punti lungo la vasca

*l'aerazione va  
opportunamente modulata*



<https://www.netsolwater.com>

# Lo schema a carico distribuito (*step aeration*)

Anche in questo schema il fango di ricircolo è miscelato con il liquame in ingresso nel rapporto 1:2

L'introduzione frazionata del refluo determina portate idrauliche inferiori a quelle di uno schema *plug flow* fino all'ultimo ingresso di liquame

Nelle prime sezioni dell'impianto, la concentrazione del fango è quindi più alta rispetto allo schema *plug flow* e questo consente di eseguire il trattamento depurativo in un bacino di volume inferiore

# La fossa di ossidazione (*oxidation ditch*)



Nonostante la forma del bacino, è un processo con miscelazione completa, perché i tempi di ritenzione idraulica sono maggiori di 6 ore

È un processo ad aerazione prolungata, con età del fango compresa tra 12 e 24 giorni, ma i costi di aerazione e di manutenzione sono relativamente contenuti

*... tuttavia i solidi sospesi non rientrano sempre nei limiti ed è quindi bene prevedere una filtrazione finale*

# La fossa di ossidazione (*oxidation ditch*)

Per via delle basse concentrazioni di fango, la fossa di ossidazione richiede più superficie degli impianti tradizionali ed è quindi adatta a trattare flussi di reflui modesti

Se l'aerazione è eseguita con diffusori (tipicamente nei soli tratti rettilinei) occorre installare dispositivi che assicurino una corrente di almeno 0,3 m/s

*eliche sommerse direzionali*



<https://www.euroteckindia.com>

# Lo schema a contatto e stabilizzazione

È un processo concepito per il trattamento di reflui **domestici**, dove il carico organico colloidale prevale su quello solubile

Lo schema consente una consistente riduzione di volume e una maggiore resistenza all'effetto di sostanze tossiche per i fanghi, ma è meno efficiente nell'abbattimento del BOD<sub>5</sub> solubile

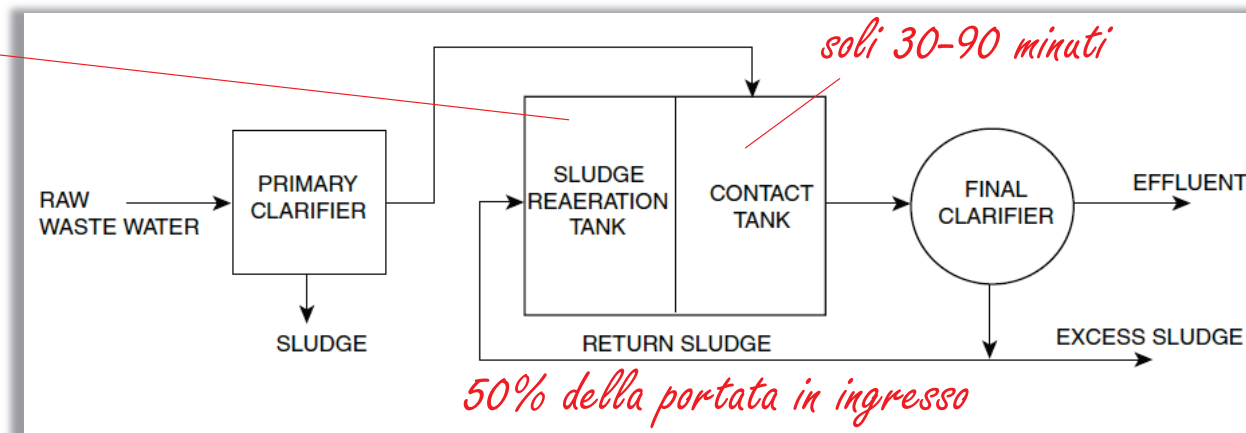


# Lo schema a contatto e stabilizzazione

Prima di essere introdotto nella vasca di contatto, il fango di ricircolo viene aerato per 3-6 ore nella vasca di stabilizzazione

Nella vasca di contatto, anch'essa aerata, il fango assorbe i solidi colloidali (bioflocculazione)

*tempi di ritenzione idraulica di almeno 4 ore per completare la degradazione del BOD precipitato*



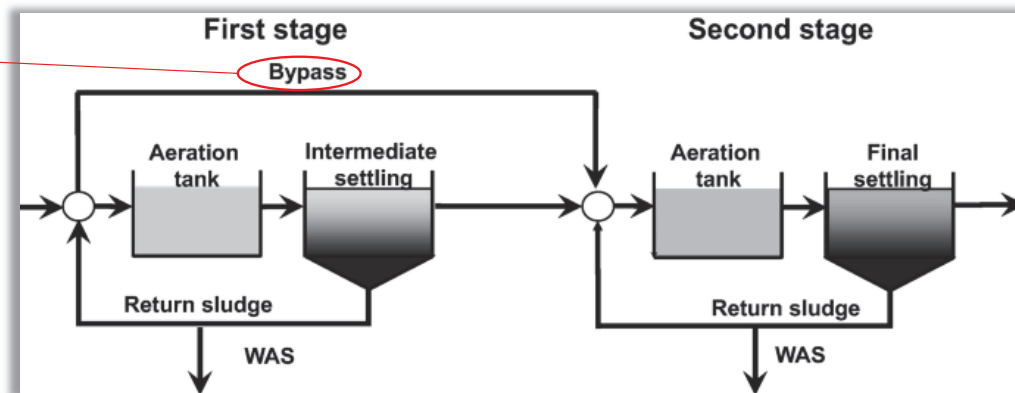
<https://www.intechopen.com/chapters/49024>

# Lo schema a doppio stadio

È realizzato con due impianti convenzionali: l'acqua trattata dal primo non viene scaricata, ma introdotta nel secondo

I tempi di ritenzione idraulica sono bassi (1-2 ore in ogni stadio) e al secondo stadio spetta la depurazione della sostanza organica più refrattaria in condizioni ottimali per la nitrificazione

*importante per dare  
flessibilità  
all'impianto*



[https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-66382-1\\_98-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-66382-1_98-1)

# Lo schema a doppio stadio

Ha trovato applicazione per

- il trattamento nitrificante di liquami domestici in assenza di obblighi di denitrificazione
- il trattamento depurativo di sostanze a lenta degradazione, quali i residui cellulósici dei reflui delle cartiere

*impianto a doppio stadio  
di una cartiera*

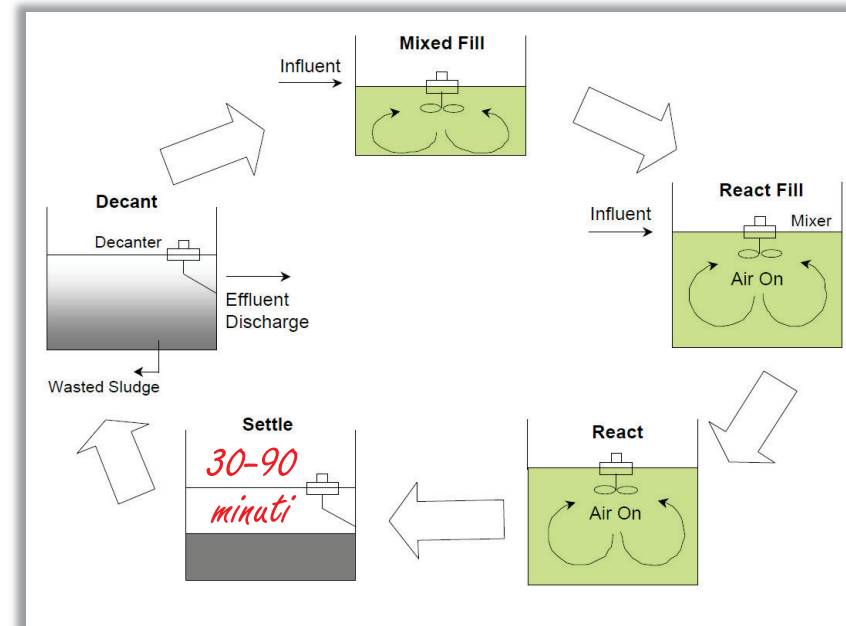


<https://invent-uv.com>

# SBR (*Sequencing Batch Reactor*)

I progressi nell'automazione hanno consentito di progettare impianti discontinui, dove l'intero processo avviene in un'unica vasca come negli esperimenti in bottiglia del 1914 e nei primi impianti *fill-and-draw*

Per dare continuità al processo, sono impiegate più vasche in parallelo

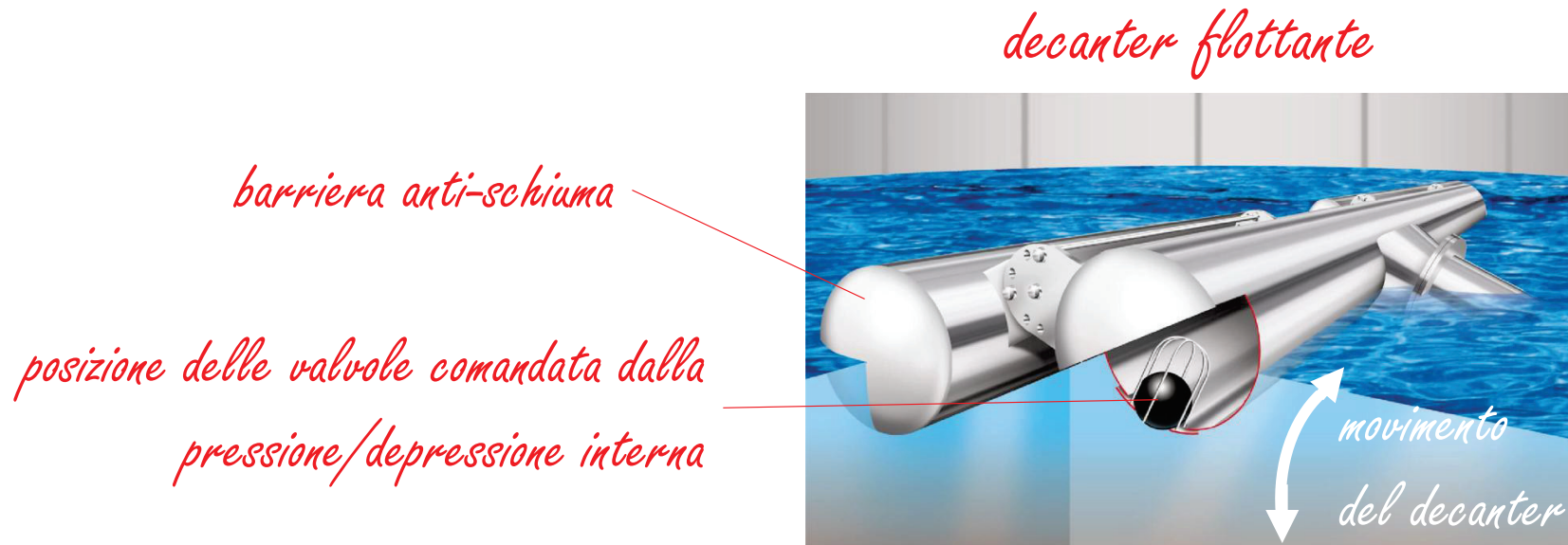


EPA 832-F-00-016, September 2000

*... ed è bene prevedere una vasca di equalizzazione a valle*

# SBR (*Sequencing Batch Reactor*)

La soluzione è applicabile a flussi di reflui modesti anche intermittenti (esistono impianti prefabbricati a un'unica vasca per 50-100 AE) in climi non troppo freddi



<https://cleantekwater.com>

# Gli impianti a ossigeno puro

Il gorgogliamento con ossigeno anziché con aria permette di mantenere valori di DO di 4-10 mg/l anche con alti carichi ( $0,3 \text{ d}^{-1}$ )

Richiede la copertura della vasca di ossigenazione, ma permette di ridurre i volumi e la superficie dell'impianto

*vasche di  
ossigenazione coperte*



*impianto di separazione  
dell'aria*

<https://www.bolognatoday.it>

# Gli impianti a ossigeno puro

Il fango che si produce possiede una maggiore sedimentabilità e la concentrazione del fango di ricircolo può raggiungere i 15 g/l

La CO<sub>2</sub> prodotta tende però a rimanere in soluzione, provocando l'acidificazione della miscela aerata e ostacolando la nitrificazione



<https://www.cami-antincendio.it>

# La nitrificazione

Anche quando non occorre realizzare una denitrificazione del refluo (nessun pericolo di eutrofizzazione del corpo idrico recettore) è comunque necessario garantirne la nitrificazione, ovvero ossidare ad azoto nitrico l'azoto ammoniacale prodotto dalla degradazione biologica della sostanza organica



<https://www.sacurrent.com>

I livelli di azoto ammoniacale letali per i pesci stimati da EPA sono compresi tra 2,9 e 5 mg/l, che si riducono a 0,3-1,8 mg/l nel caso di esposizioni prolungate

*i limiti di scarico sono più alti perché tengono conto della diluizione*

# La nitrificazione

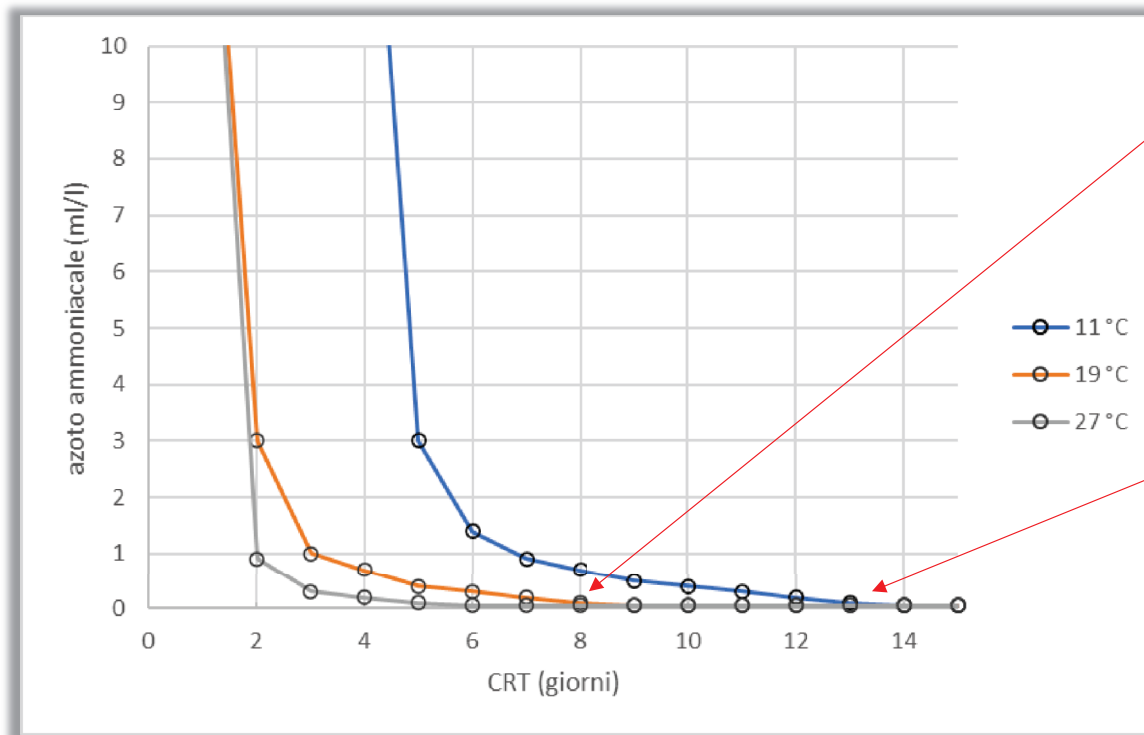
Già i primi studi di Arden e Lockett avevano dimostrato che un'aerazione prolungata a temperature superiori a 10 °C garantisce la completa nitrificazione dei liquami

L'esperienza derivante dalla gestione degli impianti continui ha permesso di individuare le condizioni ottimali:

- ✓ carichi organici inferiori a 0,25 d<sup>-1</sup>
- ✓ tempi di ritenzione idraulica superiori alle 5 ore
- ✓ tempi di ritenzione del fango superiori a 8 giorni
- ✓ concentrazioni di ossigeno disciolto superiori a 3 mg/l
- ✓ valori di pH compresi tra 8,0 e 8,5

# La nitrificazione

Effetto dell'età del fango e della temperatura



*a 19 °C  
nitrificazione  
completa in 8 giorni*

*a 11 °C  
nitrificazione  
completa in 13 giorni*

# La nitrificazione

Negli impianti di depurazione, l'ossidazione **ammoniacica** → **nitrito** è realizzata da batteri del genere *Nitrosomonas* (betaproteobatteri)

Nel caso di reflui di elevata salinità, potrebbe avere un ruolo analogo anche il genere *Nitrosococcus* (gammaproteobatteri)

I *Nitrosomonas* usano come fonte di energia l'ossidazione dell'ammoniacica e come fonte di carbonio la  $CO_2$ : non dipenderebbero quindi dalla presenza di sostanza organica, tuttavia possono vivere solo associati a fanghi di organismi eterotrofi (e sono peraltro fotofobici)

## Nitrogen Cycle



# La nitrificazione

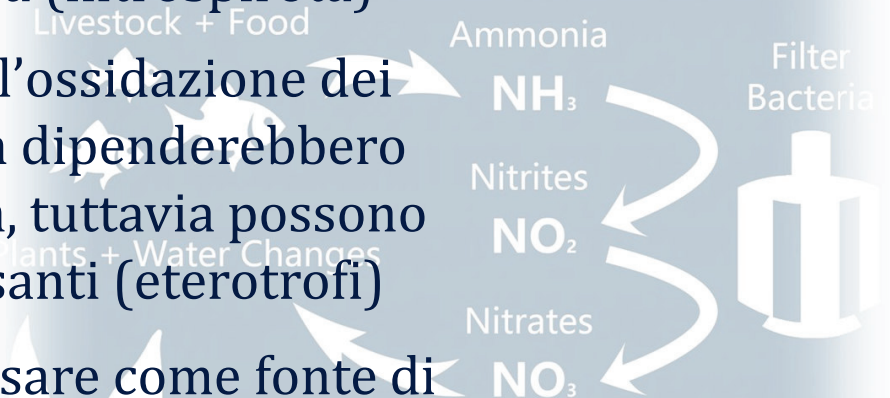
Negli impianti di depurazione, l'ossidazione **nitrito** → **nitrate** è realizzata da batteri dei generi Nitrobacter (alfaproteobatteri) e Nitrospira (nitrospirota)

I Nitrobacter usano come fonte di energia l'ossidazione dei nitriti e come fonte di carbonio la  $CO_2$ : non dipenderebbero quindi dalla presenza di sostanza organica, tuttavia possono vivere solo in presenza di organismi nitrosanti (eterotrofi)

I Nitrospira sono più adattabili: possono usare come fonte di carbonio la  $CO_2$  ma anche le sostanze organiche disciolte

*i Nitrospira sono però inibiti da alte concentrazioni di nitriti*

## Nitrogen Cycle

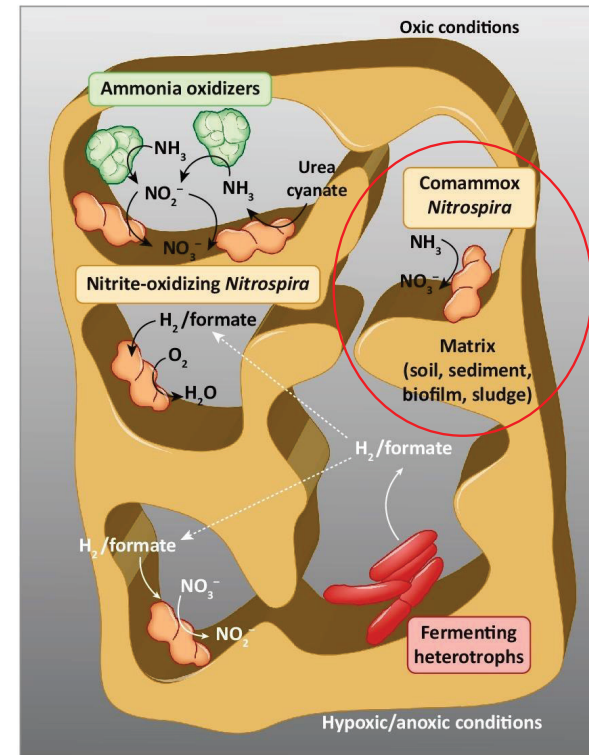


Freshwater  
SHRIMP and PLANTS  
posted anywhere in Australia!  
sydney.quasca.com.au

# Batteri comammox

Nel 2015 si è scoperto che un batterio del genere *Nitrospira* (*N. Inopinata*) possiede i corredi enzimatici necessari a catalizzare l'ossidazione completa ammoniacale → nitrato

  
*Nitrospira*



Trends in Microbiology

# La nitrificazione

La nitrificazione dello ione ammonio produce acidità e l'ossidazione di 1 mg di azoto ammoniacale consuma 7,2 mg di CaCO<sub>3</sub>



Tutta l'acidità è prodotta nel primo stadio dell'ossidazione, quello effettuato dai Nitrosomonas:



L'ossidazione dei nitriti a nitrati comporta solo un più elevato consumo di ossigeno

*è opportuno che lo scarico conservi un'alcalinità residua di 70-80 mg/l per manifestare un'adeguata capacità tampone*

# La nitrificazione

L'esperienza mostra che i nitrificanti sono più sensibili dei nitrosanti sia alle basse temperature sia all'effetto di sostanze tossiche:

- sotto i 15 °C l'ossidazione biologica dei nitriti diventa più lenta di quella dell'ammoniaca e si possono verificare accumuli significativi di nitriti (anche più di 10 mg/l)
- un analogo accumulo di nitriti si osserva con l'arrivo in impianto di inquinanti particolarmente tossici per i nitrificanti, quali i combustibili degli autoveicoli



# I nitriti e le stagioni

Anche in assenza di fattori limitanti, l'avvio della nitrificazione richiede una riserva di nitriti e il tempo necessario per la formazione di una popolazione attiva di nitrificanti: è quindi inevitabile che per un breve periodo (24-48 ore) si osservino nel refluo depurato alte concentrazioni di azoto nitroso

Negli impianti di trattamento delle acque reflue urbane che effettuano la nitrificazione, picchi di nitriti si osservano prevalentemente nei mesi di febbraio e di marzo

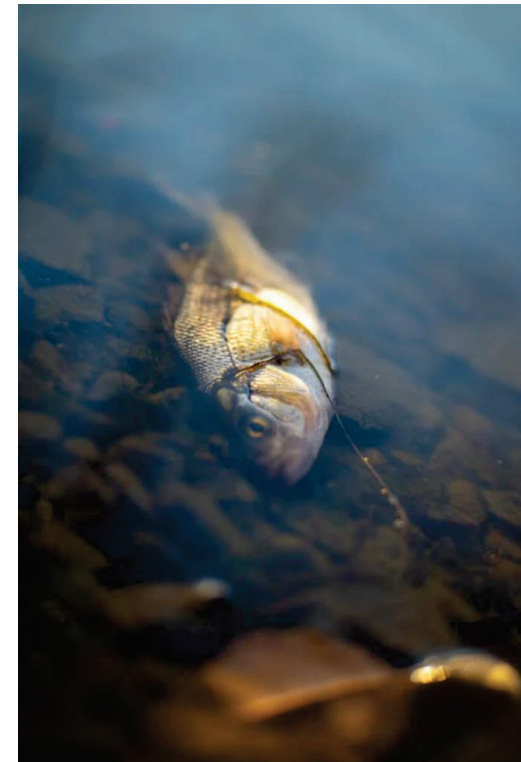
Negli impianti progettati per la sola riduzione del BOD, i periodi più critici sono invece la primavera inoltrata e l'inizio dell'inverno

# La nitrificazione

I nitriti sono tossici per i pesci

I livelli di tossicità sono molto diversi da specie a specie, come mostrato dai dati del rapporto EPA 905-R-10-002:

Test Species and Duration	LC <sub>50</sub> (mg NO <sub>2</sub> -N/L)
<i>Ceriodaphnia dubia</i> - 48 hr	4.6
<i>Lampsilis siliquoidea</i> 96 hr	177
<i>Chironomus dilutus</i> - 48 hr	15.6
<i>Amphinemura delosa</i> - 96 hr	1.0
<i>Sphaerium simile</i> - 96 hr	55.7
<i>Hyaella azteca</i> - 96 hr	1.5
<i>Pimephales promelas</i> - 96 hr	27.0
<i>Pimephales promelas</i> - 32 day	11.3
<i>Ceriodaphnia dubia</i> - 7 day	4.7



<https://aquanswers.com>

# Nitriti e clorazione

Anche a concentrazioni modeste, i nitriti reagiscono rapidamente con il cloro e i prodotti di reazione non hanno alcun effetto disinfettante



(1 mg di azoto nitroso consuma 5 mg di cloro)

*anche l'ammoniaca reagisce con il cloro, ma produce clorammine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ), sostanze che manifestano un effetto disinfettante*

# La nitrificazione

Gli impianti ad aerazione prolungata (ritenzione idraulica > 15 ore, CRT > 10 giorni e carico < 0,15 d<sup>-1</sup>) garantiscono la nitrificazione e rappresentano un sistema a **nitrificazione combinata**, poiché la rimozione di BOD e la nitrificazione avvengono nella stessa vasca

Nei sistemi a **nitrificazione separata** il trattamento per la rimozione del BOD avviene in un primo stadio di aerazione e la nitrificazione completa del refluo è realizzata in un secondo stadio di aerazione

*il refluo prodotto dal primo stadio deve avere un rapporto*

$$BOD_5 / N_{tot} \approx 1$$

# Nitrificazione come trattamento terziario

La nitrificazione di un refluo già trattato per la rimozione del BOD può essere realizzata anche con sistemi a biomassa fissa, quali i dischi biologici e i biofiltri



<https://www.filtsep.com>



<https://eec.oregonstate.edu>

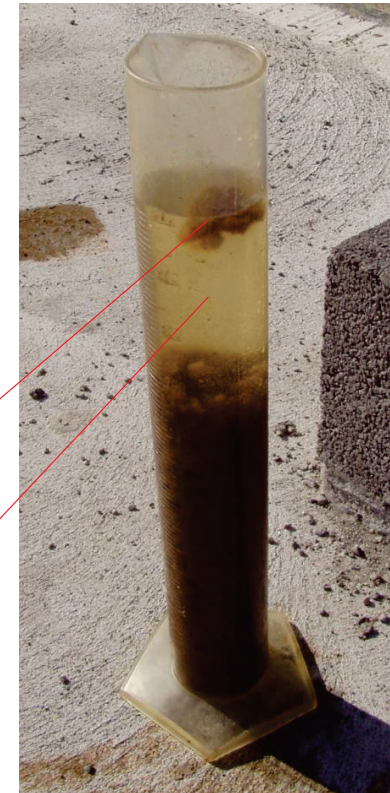
# La nitrificazione

Gli impianti che prevedono nitrificazione senza denitrificazione devono assicurare condizioni aerobiche in **tutte** le fasi del trattamento

Vanno evitati bassi valori di DO in vasca di aerazione e il livello del fango nel sedimentatore va gestito con grande attenzione

*risalita di fango dovuta alla presenza di bolle di  $N_2$*

*è probabile che il liquido presenti elevate  
concentrazioni di nitriti*



# La denitrificazione

Quando la concentrazione di azoto nel liquame è molto alta (reflui di concerie, percolato di discarica, ecc.) oppure quando il corpo idrico recettore è a rischio di eutrofizzazione, non è più sufficiente garantire la completa nitrificazione, ma occorre conseguire la **denitrificazione biologica** del refluo



Mentre la crescita del fango rimuove, a seconda del carico, dal 10 al 40% dell'azoto totale dei reflui domestici, la denitrificazione biologica permette di realizzare una rimozione anche del 90%

# La denitrificazione

È un processo **anossico** di riduzione dei nitrati e dei nitriti ad azoto gassoso ad opera di organismi anaerobi facoltativi perlopiù **eterotrofi**

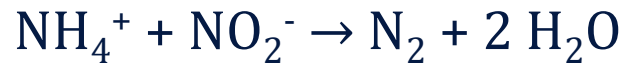
Il processo richiede:

- ✓ assenza di ossigeno disciolto
- ✓ presenza di nitrati o nitriti (e quindi presenza di una fase aerobica)
- ✓ presenza di sostanze organiche facilmente degradabili

A differenza della nitrificazione, la denitrificazione è realizzabile da più di 50 diversi generi di batteri (proteobatteri, firmicutes, batterioides; nei depuratori dominano i betaproteobatteri)

# Batteri anammox

Negli anni '90 sono stati osservati batteri planctomiceti in grado di realizzare l'**ossidazione anaerobica** dello ione ammonio (anammox):



Il processo richiede la presenza di nitriti e basse concentrazioni di ossigeno (0,6-0,8 mg/l) ed è quindi attraente per i bassi costi di aerazione

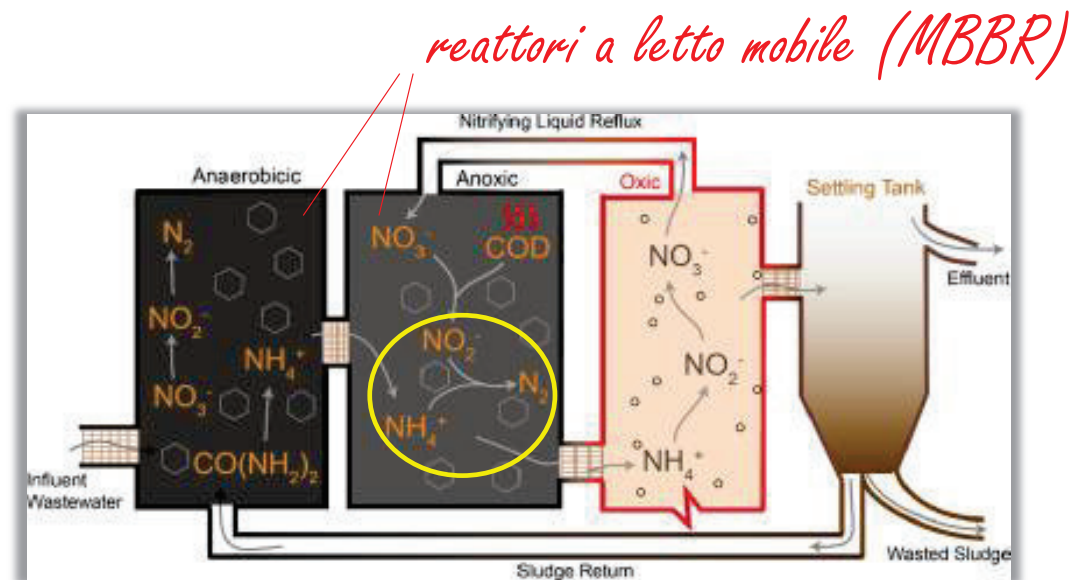
I batteri anammox sono autotrofi, fotofobici e dotati di organuli cellulari specializzati in cui vengono segregati intermedi metabolici estremamente tossici, come il monossido di azoto e l'idrazina

# Batteri anammox

Il processo anammox è però un sistema biologico piuttosto esigente:

- CRT 15-30 giorni
- pH 7,5-8,0 (non devono essere presenti  $\text{NH}_3$  e  $\text{HNO}_2$  liberi)
- 30-35 °C
- C/N  $\approx$  1
- $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+ \approx 1,3$
- DO 0,6-0,8 mg/l

*allo stato attuale, è solo un interessante campo di ricerca*



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720364470>

# La denitrificazione

In presenza di ossigeno (aerobiosi):



In assenza di ossigeno e in presenza di nitrati (anossia):



In assenza di ossigeno e in presenza di nitriti (anossia):



*... ma l'ultima reazione ha un peso trascurabile negli impianti di denitrificazione*

# La denitrificazione

Al contrario della nitrificazione, la denitrificazione consuma acidi e quindi produce alcalinità:



la rimozione di 1 mg di azoto produce l'equivalente di 3,5 mg di  $\text{CaCO}_3$

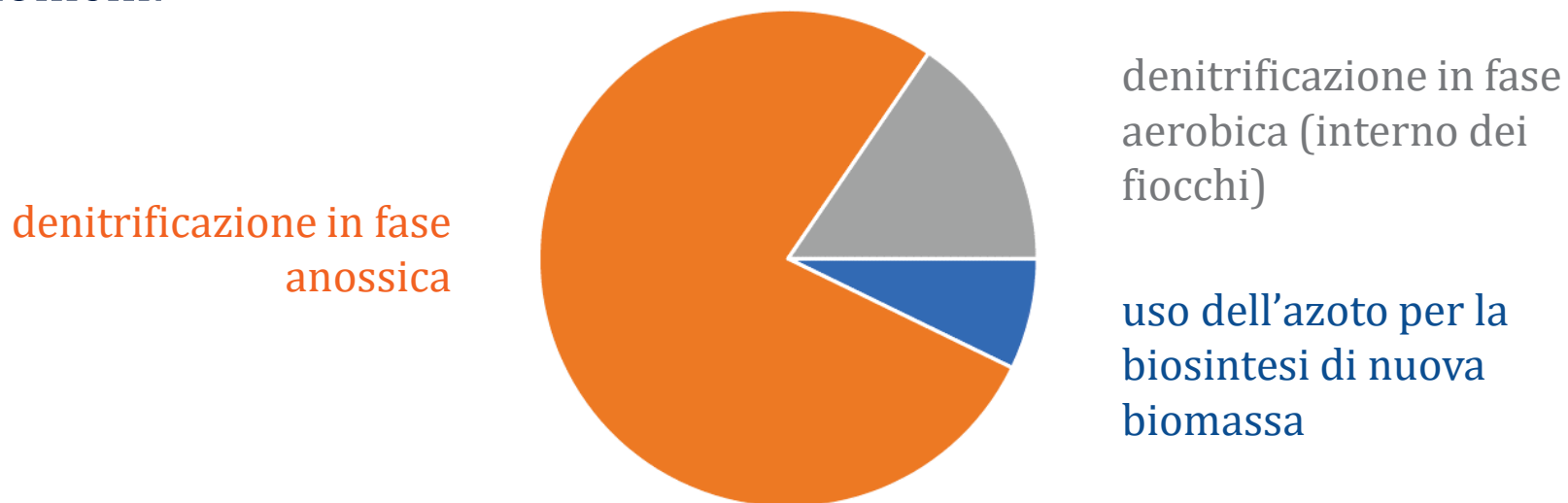
Il consumo totale di  $\text{CaCO}_3$  è quindi:

7,2 mg per ogni mg di azoto ammoniacale **nitrificato**

3,7 mg per ogni mg di azoto ammoniacale **rimosso**

# La denitrificazione

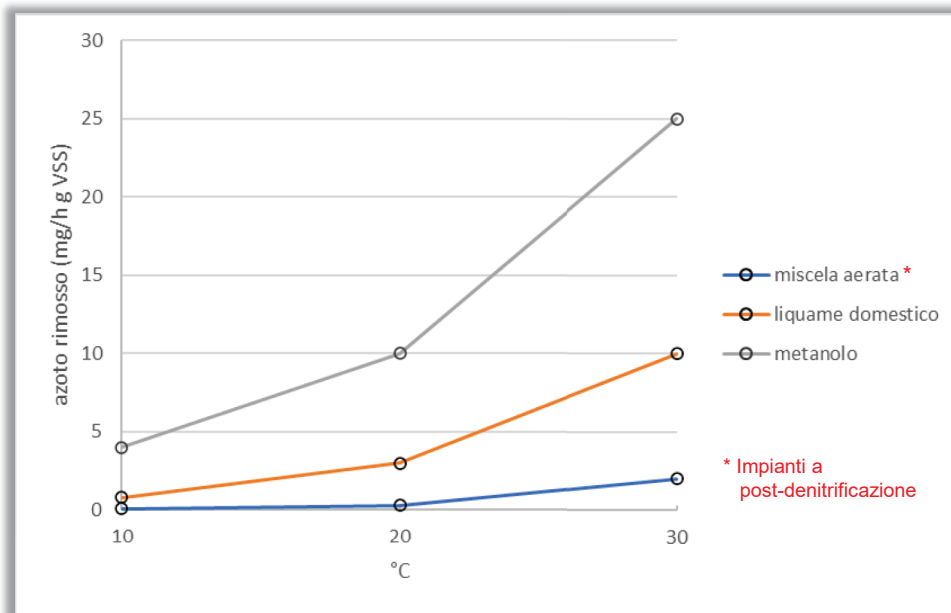
In un impianto denitrificante, la rimozione dell'azoto è ascrivibile a tre fenomeni:



*la denitrificazione in fase aerobica dipende dai livelli di ossigeno disciolto*

# La denitrificazione

La velocità di denitrificazione dipende dalla temperatura e dalla disponibilità di sostanza organica **facilmente** metabolizzabile

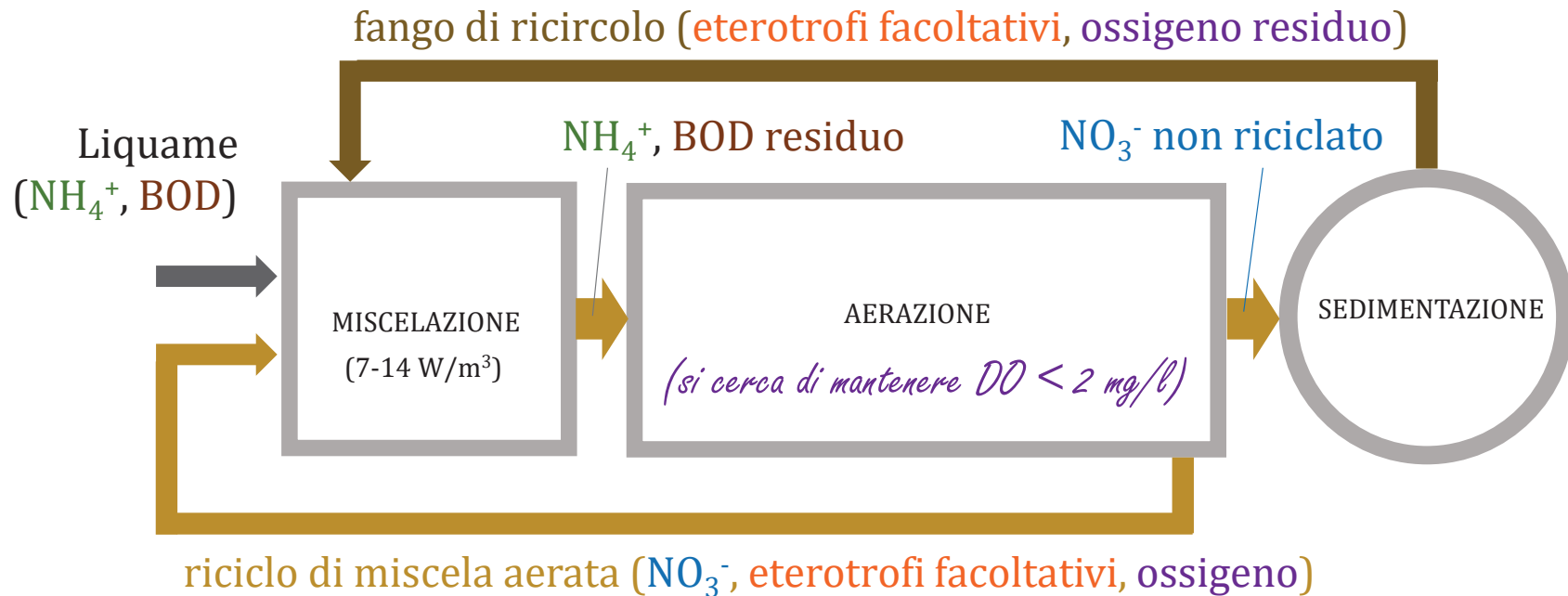


Nel caso del liquame domestico, i batteri denitrificanti consumano 4 mg di BOD<sub>5</sub> per ogni mg di azoto rimosso

# La denitrificazione

Sono possibili 4 schemi d'impianto:

## 1. PRE-DENITRIFICAZIONE



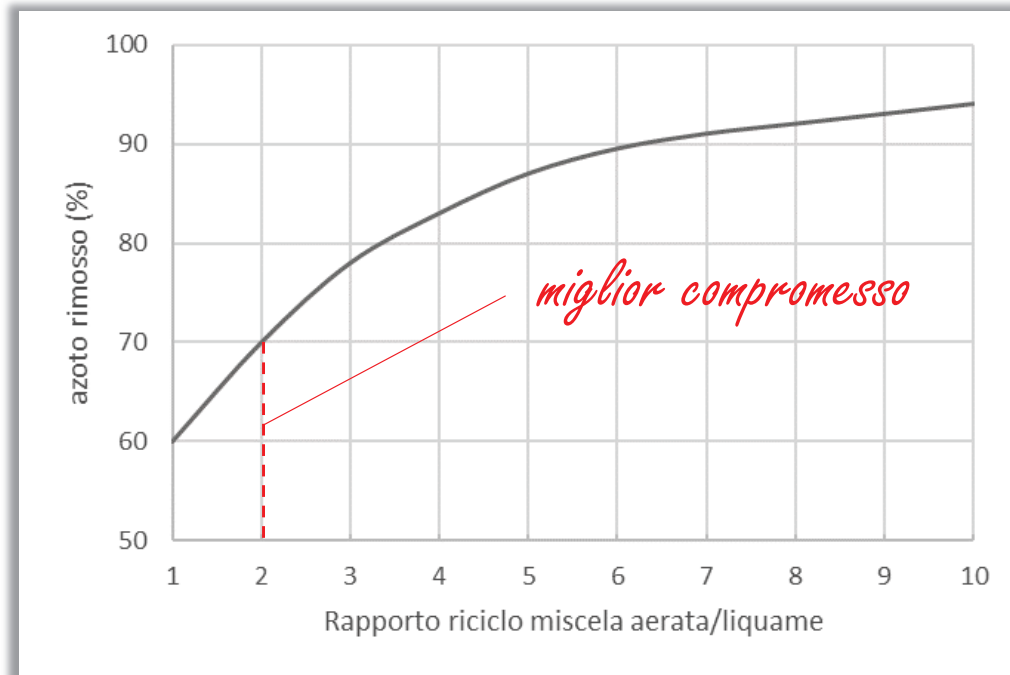
# La denitrificazione

Il rendimento di denitrificazione dipende dal rapporto tra la portata del riciclo e quella del liquame



<https://www.prodomix.com>

*agitatore per la vasca anossica*



# La denitrificazione

Se la portata di liquame è molto variabile e se il  $BOD_5$  è basso rispetto a  $N_{tot}$  si garantisce la nitrificazione in una vasca di aerazione, accontentandosi della miscela aerata come fonte di carbonio principale:

## 2. POST-DENITRIFICAZIONE



# La denitrificazione

Se è necessario raggiungere rendimenti di rimozione dell'azoto > 90%:

## 3. PRE + POST-DENITRIFICAZIONE

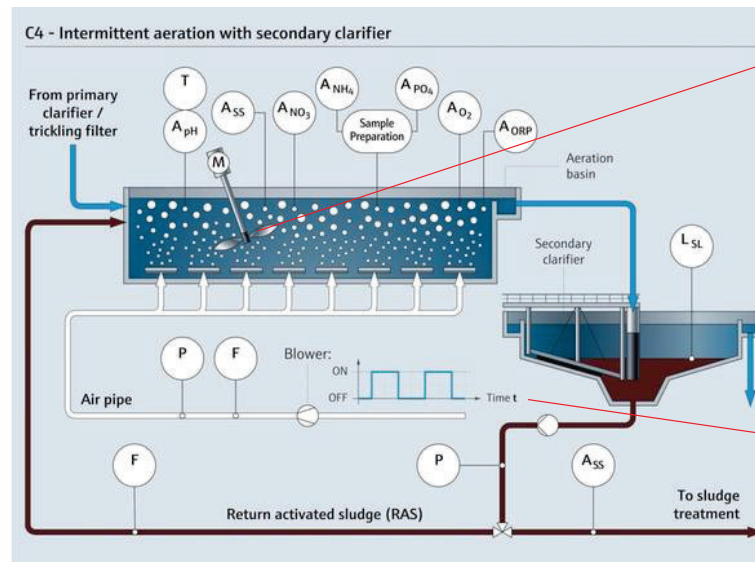


# La denitrificazione

Nei piccoli e medi impianti è possibile conseguire la nitrificazione e la denitrificazione in un'unica vasca:

## 4. NITRIFICAZIONE E DENITRIFICAZIONE ALTERNATE

Richiede carichi  $< 0,08 \text{ d}^{-1}$ ,  
ma consuma meno ossigeno di un processo ad aerazione prolungata, perché una parte non trascurabile del BOD è rimossa durante le fasi di denitrificazione



*occorre assicurare la miscelazione durante le fasi anossiche*

*funzionamento intermittente degli aeratori*

<https://www.us.endress.com>

# La denitrificazione

Per la denitrificazione di reflui industriali privi o fortemente carenti di BOD, occorre dosare una fonte di carbonio facilmente degradabile

Si utilizza in genere il metanolo con un dosaggio di 5 mg di metanolo per ogni mg di azoto da rimuovere (COD/N  $\approx$  8)



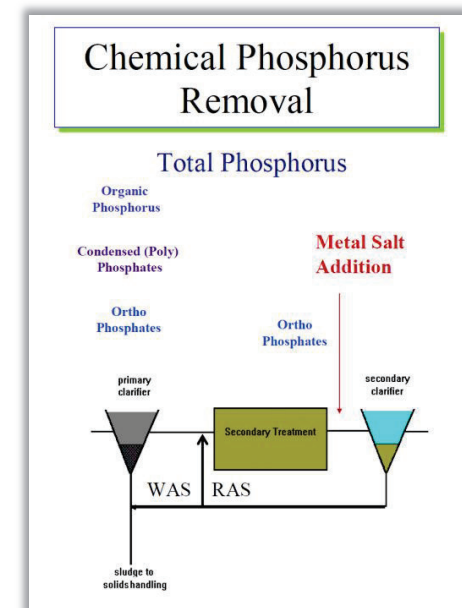
*in caso di carenze momentanee di BOD il processo di riduzione dei nitriti si interrompe e sono pertanto possibili picchi di  $\text{NO}_2^-$  nello scarico*

# La defosfatazione biologica

Anche il fosforo può causare processi di eutrofizzazione delle acque superficiali

Poiché nella miscela aerata è in gran parte presente come ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), il primo metodo di rimozione è stato chimico, mediante precipitazione con sali di Fe, Al o Ca (calce)

Il metodo chimico è ancora in uso, ma è oggi affiancato da una serie di processi biologici



<https://www.michigan.gov>

*gli impianti di defosfatazione biologica dovrebbero essere attrezzati per poter effettuare la rimozione chimica in caso di bisogno*

# La defosfatazione biologica

Lavorando su un impianto pilota per la rimozione totale dell'azoto (uno schema a pre-denitrificazione a doppio stadio) il sudafricano James L. Barnard constatò nel 1974 la possibilità di ridurre la concentrazione del fosforo da 8 a 0,2 mg/l

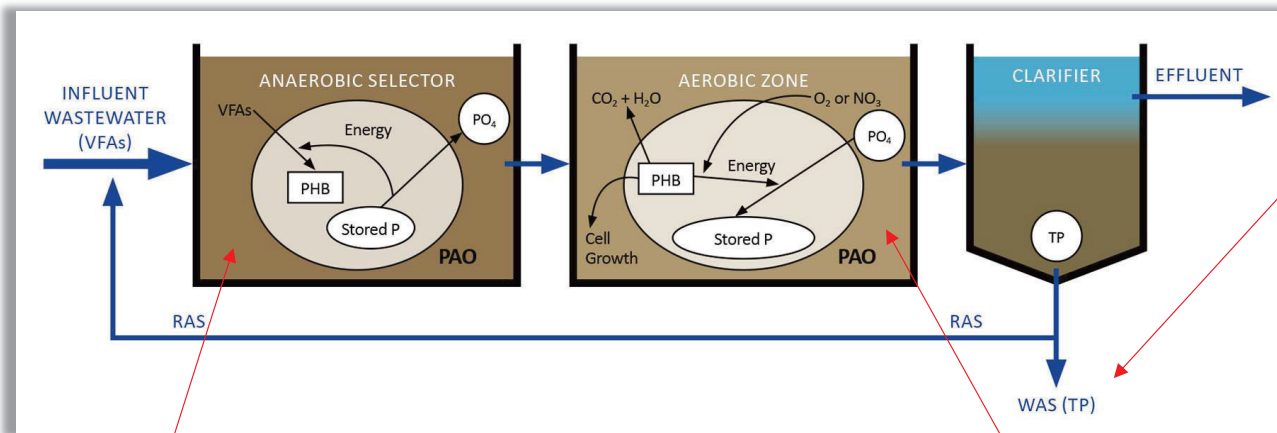


Il fenomeno si verificava solo quando nella seconda fase anossica veniva registrato un accumulo di fosfati nel liquame (fino a 30 mg/l) e questo accadeva quando nitrato e ossigeno erano entrambi assenti

In altri termini, risultava necessaria una fase strettamente **anaerobica** (non solo anossica) seguita da una fase aerobica

# La defosfatazione biologica

Responsabili del processo sono organismi accumulatori di polifosfato (PAO)



<https://enviro-mix.com>

*il fosforo esce con il fango di supero (1-1,5% di P sul secco; max 3-6% di P sul secco)*

*accumulo di acidi acetico e propionico sotto forma di poliidrossialcanoati (PHA) e consumo di ATP prodotto dall'idrolisi di polifosfati*

*rapida riproduzione con consumo delle riserve di PHA e accumulo di polifosfati*

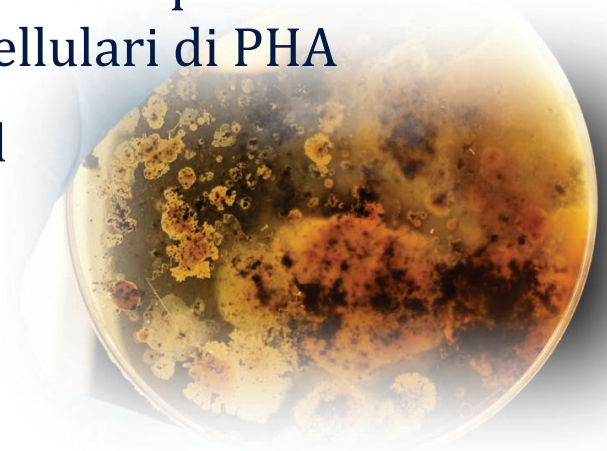
# Chi sono i PAO

In passato, il fenomeno è stato attribuito a vari generi di batteri e, in particolare, ad *Acinetobacter* (gammaproteobatteri)

La genomica ha però mostrato come negli impianti di rimozione biologica aumentata del fosforo (EBPR) predominino i betaproteobatteri del genere *Accumulibacter* e gli attinomiceti

Questi ultimi tuttavia non assorbono acidi organici dal liquame in fase anaerobica, né sono in grado di creare accumuli cellulari di PHA

I PAO sembrano dunque essere gli appartenenti al genere *Accumulibacter*, che non sono coltivabili



# La defosfatazione biologica

Sono stati brevettati diversi processi di defosfatazione biologica e chimico-biologica: il più semplice è denominato **A/O** (anaerobic, oxic)



*la compartimentazione in celle a carico decrescente contrasta la crescita dei filamentosi*

# La defosfatazione biologica

La defosfatazione biologica è un processo molto esigente e richiede:

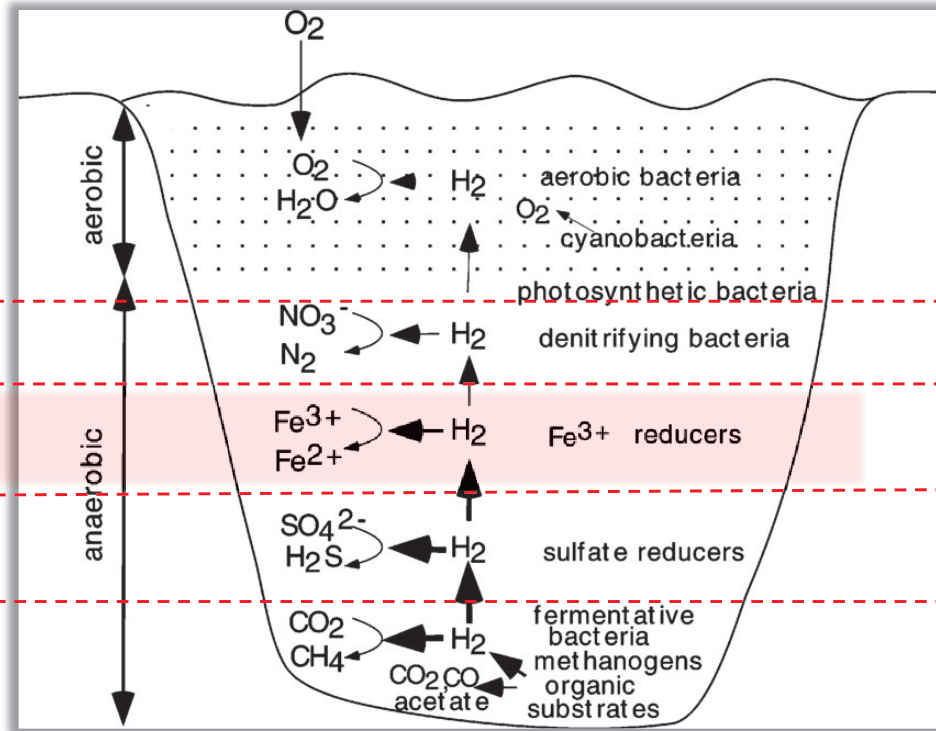
- ✓ reflui con  $BOD_5/P_{tot} > 15$  per garantire le necessarie condizioni anaerobiche (impedite da eccesso di  $O_2$  e  $NO_3^-$  nel fango di ricircolo)
- ✓ attenta gestione della linea di trattamento fanghi (in anaerobiosi produrrebbero fosfati che tornerebbero in ingresso)
- ✓ tempi di residenza idraulica nella vasca anaerobica non eccessivi per evitare la riduzione dei solfati (non sono quindi tollerabili prolungati cali di portata del liquame)
- ✓ concentrazione di solidi sospesi nello scarico inferiore a 20 mg/l (il fango sospeso ha un elevato contenuto di P)

*per garantire 0,1 mg/l di P è indispensabile la filtrazione*

# Anaerobiosi e anaerobiosi

ORP

vasche di ossidazione  
 vasche di denitrificazione  
 reattori anaerobici  
 vasche settiche  
 digestori anaerobici



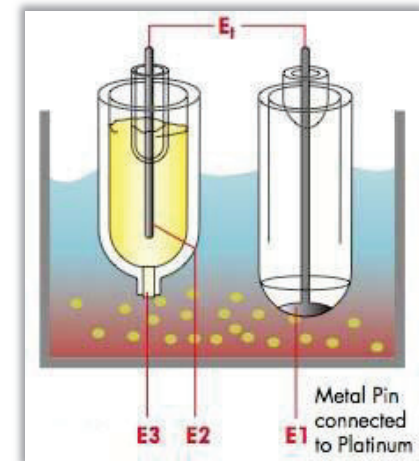
+50/+200 mV  
 (+100/+300 mV per nitrificazione)  
 -50/+50 mV  
 -200/-20 mV  
 -250/-50 mV  
 -350/-200 mV

P. M. Vignais, B. Billoud, Occurrence, Classification, and Biological Function of Hydrogenases: An Overview, Chem. Rev. 2007, 107, 4206-4272

# ORP

È il potenziale di ossidoriduzione ed è misurato come differenza di potenziale tra un elettrodo inerte (Pt, Au o grafite) e un elettrodo di riferimento

Le sonde più comuni usano come elettrodo di riferimento quello di Ag immerso in una soluzione satura di KCl: i valori di ORP citati si riferiscono a tale sistema di misura



<https://www.yokogawa.com>

*nella letteratura scientifica si possono trovare valori riferiti all'elettrodo standard a idrogeno, più alti di circa 200 mV*

# La rimozione combinata di N e P

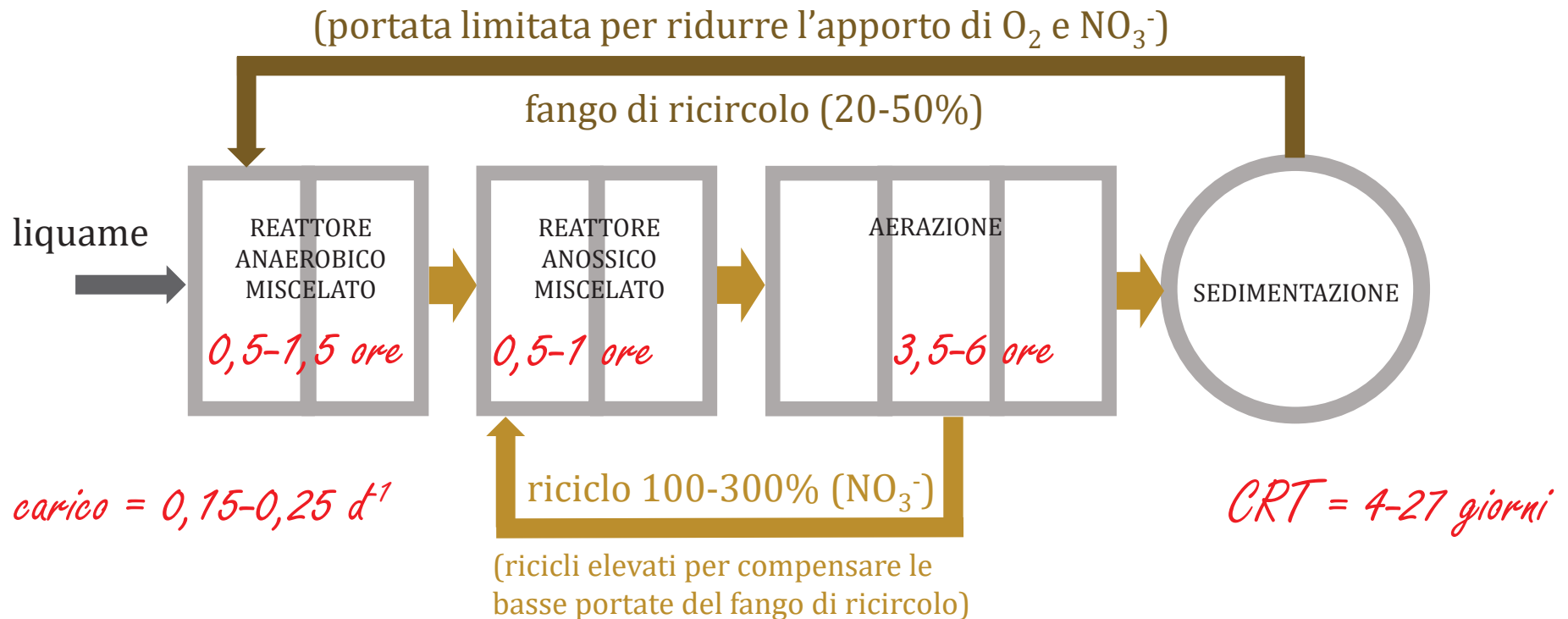
Sono stati brevettati diversi processi di trattamento in grado di produrre scarichi con meno di 5 mg/l di azoto e meno di 2 mg/l di fosforo

Alcuni alternano nel tempo le condizioni di lavoro dei fanghi attivi: sistemi continui a flussi alternati (es. Bio-Denipho) o sistemi discontinui (impianti SBR con una prima fase anaerobica e una fase anossica finale durante la sedimentazione)

Altri raggiungono lo scopo mediante la gestione dei ricicli tra le diverse fasi di un processo continuo (sistemi a ricircolazione): Phoredox, Johannesburg, A2/O, UCT (*University of Cape Town*), ecc.

# La rimozione combinata di N e P

Processo A2/O (anaerobic, anoxic / oxic)



# La rimozione combinata di N e P

I sistemi a ricircolazione funzionano bene solo per valori  $N_{\text{tot}}/\text{COD} < 0,1$  (il processo UCT può trattare reflui con  $N_{\text{tot}}/\text{COD}$  fino a 0,14)

Questi limiti sono vicini al rapporto  $N_{\text{tot}}/\text{COD}$  dei reflui urbani ( $\sim 0,08$ )

*in tutti i casi in cui si presentino problemi di rimozione dell'azoto, è bene ricordare che la defosfatazione può essere realizzata anche con metodi chimici, la denitrificazione NO*



# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

La filtrazione a membrana è figlia della plastica: a partire dagli anni '60 del novecento, la microfiltrazione (porosità 0,1-0,4  $\mu\text{m}$ ) è stata proposta con entusiasmo come soluzione definitiva ai problemi di sedimentazione comuni negli impianti a fanghi attivi

Tuttavia, le prime applicazioni con unità di filtrazione fuori vasca riproponevano i problemi di sporramento che il processo a fanghi attivi aveva permesso di superare

Nel 1984, la mancanza di spazio in laboratorio costrinse Kazuo Yamamoto a eseguire esperimenti con le membrane **immerse** nella vasca di ossidazione



# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

L'esperimento obbligato mostrò che era possibile risparmiare l'energia richiesta per la movimentazione della miscela aerata e del fango di ricircolo e produsse un effluente più limpido come risultato di una filtrazione a bassa pressione (quella idrostatica)

Yamamoto presentò un impianto pilota nel 1989 e decise di non brevettare l'idea, consentendo la rapida diffusione in Giappone di impianti residenziali da 50 AE

*collettori di uscita del filtrato*

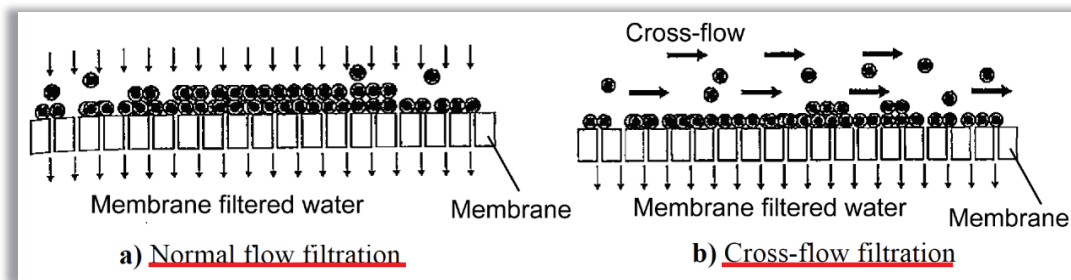
*ingresso dell'aria compressa per la pulizia*

*delle membrane*



# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

La microfiltrazione applicata a un liquido con elevato contenuto di solidi sospesi richiede uno schema a flusso **tangenziale**



Guidelines for Introducing Membrane Technology in Sewage Works: The 2nd Edition

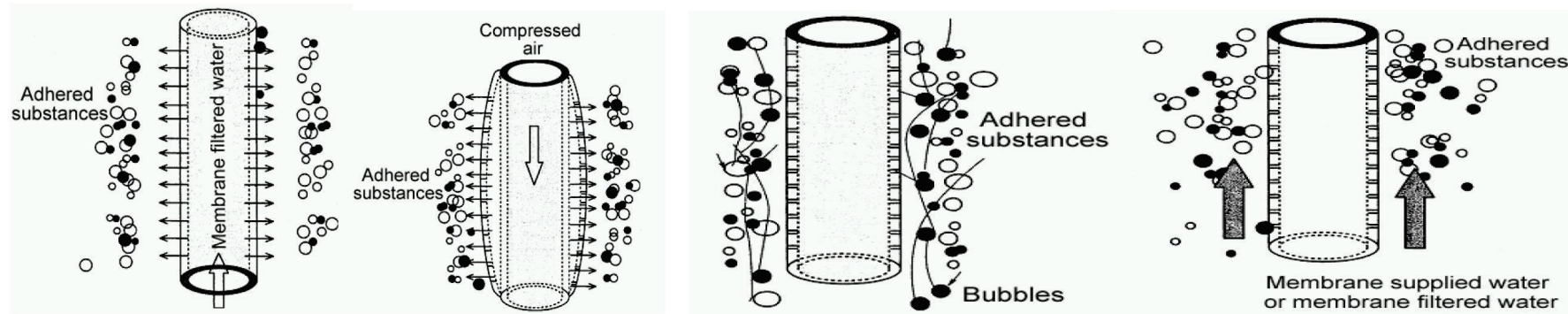
*i solidi formano un pannello sul supporto: livello di filtrazione e resistenza idraulica sono determinati dal pannello e quindi aumentano nel tempo*

*il flusso tangenziale mantiene basso lo spessore del pannello: livello di filtrazione e resistenza idraulica sono determinati prevalentemente dal supporto (membrana) e sono costanti*

# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

La filtrazione resta però un'operazione **discontinua** e qualsiasi applicazione industriale richiede una elevata durata del ciclo (lungo intervallo tra lavaggi chimici del supporto)

Guidelines for Introducing Membrane Technology in Sewage Works: The 2nd Edition



*controlavaggi con  
acqua filtrata:  
filtrazione discontinua*

*contropressioni con  
aria compressa:  
filtrazione discontinua*

*membrane sommerse: flusso  
continuo di bolle d'aria  
(max 0,4 kWh/m<sup>3</sup>)*

*membrane fuori vasca:  
alti flussi di liquido  
(6 kWh/m<sup>3</sup>)*

# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

La microfiltrazione produce un effluente di qualità **elevata** (viene filtrata la gran parte delle cellule batteriche e la defosfatazione biologica non viene mai compromessa) e **costante** (le prestazioni non dipendono dalla sedimentabilità del fango)

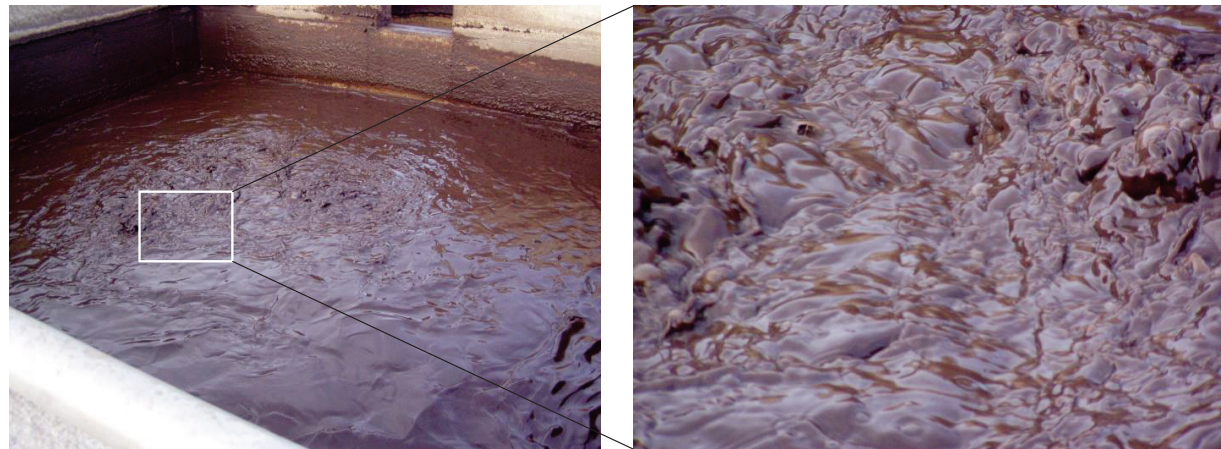
Non occorre più spendere energia per il ricircolo del fango e (in teoria) l'unico limite alla concentrazione di solidi nella vasca di trattamento è rappresentato dall'energia necessaria a mantenere i solidi in sospensione

Alti valori di MLSS significano inoltre un volume minore della vasca di aerazione, vantaggio che si somma alla mancanza del sedimentatore secondario

# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

In realtà, oltre i 12 g/l di MLSS la **viscosità** della miscela aumenta drasticamente, riducendo il coefficiente di scambio dell'ossigeno e richiedendo pertanto consumi energetici superiori rispetto a un processo a fanghi attivi con sedimentazione

*impianto MBR con  
valori elevati di MLSS:  
miscela viscosa (nessuna  
bolla d'aria osservabile  
sulla superficie)*

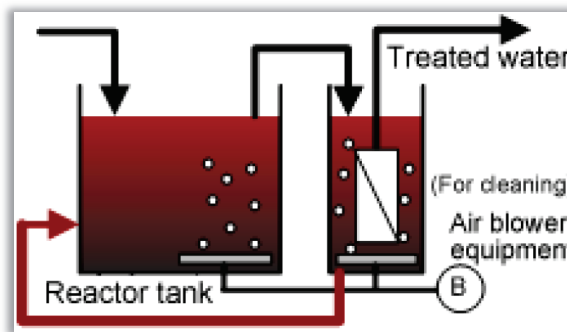


# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

Valori elevati di MLSS rendono inoltre più rapido lo sporcamento irreversibile delle membrane (*fouling*), che rappresenta il tallone di Achille anche di questo tipo di filtrazione

Il desiderio di aumentare lo scambio di ossigeno con l'uso di bolle piccole e la necessità di garantire una buona pulizia delle membrane con bolle grandi hanno portato alla realizzazione di impianti a vasca separata

*è possibile mantenere MLSS > 12 g/l in vasca di aerazione e riciclare acqua filtrata nella vasca di filtrazione*



*il ricircolo del fango vanifica i vantaggi energetici*

Guidelines for Introducing Membrane Technology in Sewage Works: The 2nd Edition

# Il processo MBR (*Membrane Bio-Reactor*)

Come tutti gli impianti di filtrazione, un impianto MBR deve prevedere:

- ✓ un sistema per la pulizia chimica periodica del supporto di filtrazione (soluzioni di NaOH, NaClO, HCl)
- ✓ un buon numero di unità filtranti, ciascuna escludibile dal processo
- ✓ una superficie totale di filtrazione **superiore** a quella teorica

*una scarsa sedimentabilità riduce la qualità dell'effluente, ma una scarsa filtrabilità riduce la portata dello scarico*

*... e il lavaggio chimico la azzera*

**GRAZIE  
PER  
L'ATTENZIONE**