

Il Trattamento delle acque reflue

1. Prefazione	4
2. Introduzione	5
3. Trattamenti meccanici	7
3.1. Grigliatura e Triturazione	8
3.2. Desabbiatura e Deoleazione	8
3.3. La Sedimentazione	10
4. Trattamenti biologici	11
4.1. I fanghi attivi	11
4.2. Il ciclo dell'azoto	13
4.2.1. <i>La nitrificazione</i>	13
4.2.2. <i>La denitrificazione</i>	14
4.2.3. <i>L'Assimilazione</i>	14
4.2.4. <i>La fissazione</i>	14
4.3. La zona aerobica e anaerobica	15
4.3.1. <i>I sistemi d'areazione</i>	15
4.4. I problemi più comuni	16
4.4.1. <i>Bulking</i>	16
4.4.2. <i>Rising</i>	17
4.4.3. <i>Pin-point</i>	17
4.4.4. <i>Washout</i>	17
4.5. Cos'accade ai fanghi nei digestori?	17
4.5.1. <i>1° fase: Idrolisi e fermentazione</i>	17
4.5.2. <i>2° fase: Acetogenesi</i>	18
4.5.2.1. <i>La β-ossidazione degli acidi grassi</i>	18
4.5.2.2. <i>L'ossidazione dell'etanolo</i>	19
4.5.2.3. <i>Riduzione H⁺</i>	19
4.5.3. <i>3° fase: Metanogenesi</i>	20
5. Trattamenti chimico-fisici	23
5.1. Il fosforo	23
5.1.1. <i>Le origini del fosforo</i>	24
5.1.2. <i>Processi di rimozione del fosforo</i>	25

6. Confronto tra gli impianti di Lugano (CDALED) e di Locarno (CDL)	27
6.1. Alcuni dati	27
6.2. Come mai queste differenze?	28
7. Conclusione	30
8. Fonti	31

1. Prefazione

Comincerò questo lavoro di maturità con una spiegazione della mia scelta e una breve descrizione del mio lavoro.

Le scelte a disposizione erano molte e tutte interessanti, ma nonostante tutto ho scelto la materia di chimica per una ragione ben precisa. Infatti il tema ha subito catturato la mia attenzione, questo per il semplice fatto che la natura mi sta molto a cuore e m'interessa tutto quello che ha a che fare con lei, soprattutto i temi riguardanti il suo inquinamento.

A questo si aggiunge che la molecola dell'acqua è quella più essenziale per ogni forma di vita: sia vegetale che animale, ed è dunque, almeno per me, di particolare interesse. Essa condiziona le nostre vite giorno per giorno, cosa di cui la maggior parte degli esseri umani non se ne rende nemmeno conto, perché per loro l'acqua, o l' H_2O , è una sostanza come tutte le altre.

Purtroppo è difficile che l'acqua si mantenga pura: infatti, in essa si sciolgono e si disperdono sostanze di ogni tipo e a dipendenza del soluto, il suo utilizzo può condizionare gli esseri viventi. Nel corso dell'evoluzione la natura ha sviluppato dei meccanismi per rimuovere gli inquinanti pericolosi, una depurazione naturale, permettendone l'utilizzo a qualsiasi essere vivente. Tantissime attività dell'uomo nei giorni nostri prevedono l'utilizzo di grandi volumi di acqua, dagli usi domestici a tecnologie avanzate. Questo ha reso la depurazione naturale insufficiente: per avere una vita più semplice, l'uomo sporca più di quanto la natura non riesca a pulire!

Guardando la lunga linea del tempo, fino all'inizio del secolo scorso, non c'era la necessità di badare più di tanto all'inquinamento dell'acqua, anzi si poteva considerare marginale. Solo le poche città dotate di un sistema fognario provocarono un lieve inquinamento, si pensi che una volta non si dubitava della purezza dell'acqua e si beveva direttamente dalle sorgenti, fiumi e laghi. Solo con la formazione della società industriale, e la conseguente concentrazione di persone in grandi città, la nascita di grandi fabbriche e l'inizio della chimica moderna è nato lo sfruttamento indiscriminato delle acque dolci. Molta era l'ignoranza e s'inquinava senza rendersi conto dei problemi che si andava a creare. Si versavano nelle acque quantità enormi di sostanze altamente tossiche e velenose, che distruggevano la vita nei corsi d'acqua e che causarono problemi di salute all'uomo stesso. Purtroppo una certa ignoranza persiste ancora ai giorni nostri; se da una parte si sono costruiti depuratori, dall'altra bisogna ancora fare molto.

Vorrei con questo lavoro porre l'attenzione non solo sulla pulizia delle acque, ma anche far intendere ai lettori quanto siano importanti questi trattamenti per la vita di tutti i giorni.

L'acqua sarà dunque protagonista di questo mio lavoro di maturità, mostrerò i vari percorsi e tappe che la portano alla completa depurazione dagli inquinanti provenienti dalla nostra vita quotidiana.

In seguito, illustrerò come i metodi di depurazione possono variare a dipendenza dal luogo dove le acque trattate sono rilasciate. Come esempi mostrerò due luoghi a tutti ben noti: Locarno e Lugano con i rispettivi due laghi. Nonostante si trovano nello stesso cantone e a meno di un'ora di distanza, i trattamenti delle acque si differenziano leggermente.

2. Introduzione

Dopo aver introdotto le cause principali dell'inquinamento delle acque, vorrei introdurre brevemente un impianto di depurazione in generale, cioè le varie tappe nell'insieme, come possiamo osservare dalla Figura 1.

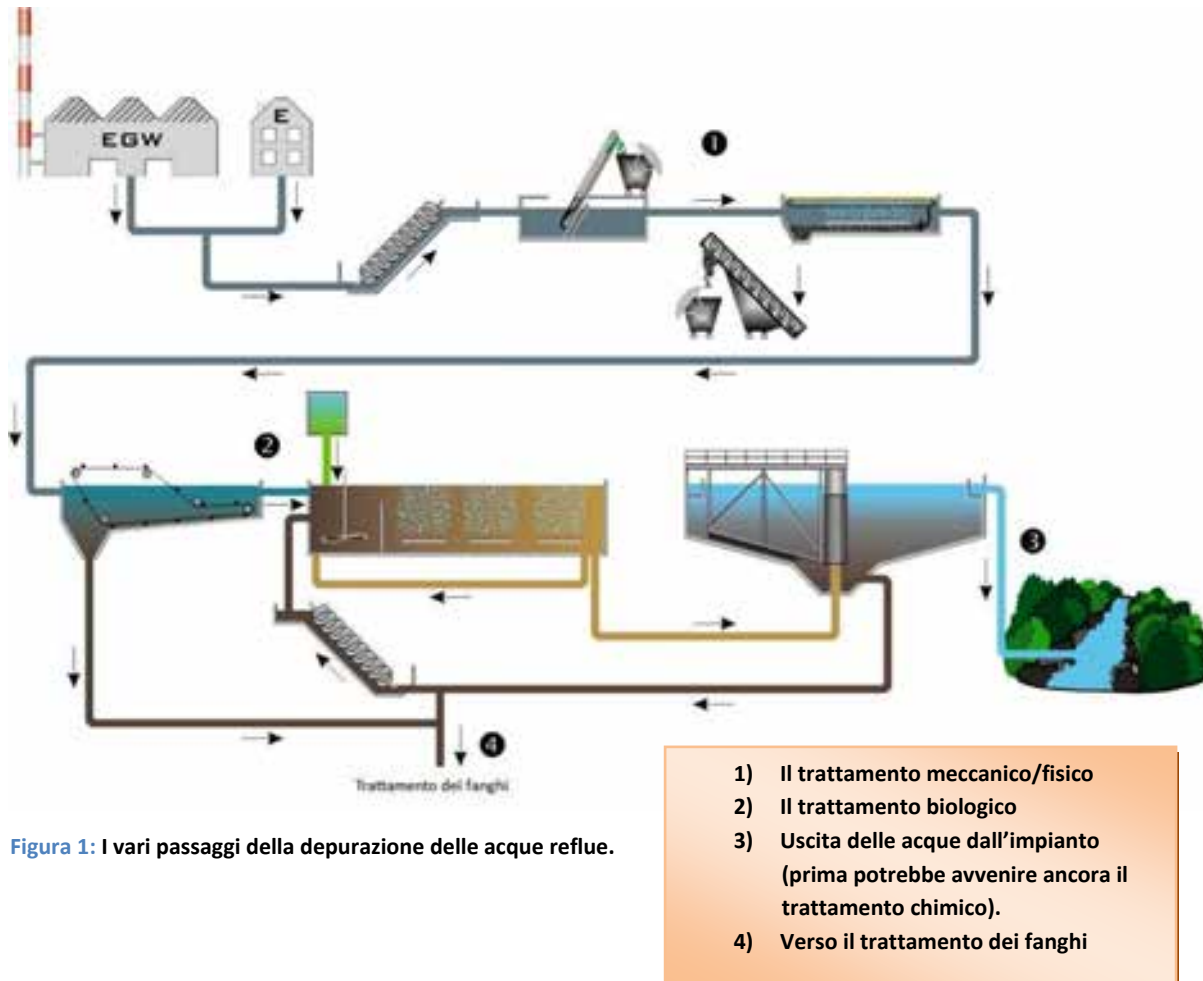


Figura 1: I vari passaggi della depurazione delle acque reflue.

- 1) Il trattamento meccanico/fisico
- 2) Il trattamento biologico
- 3) Uscita delle acque dall'impianto (prima potrebbe avvenire ancora il trattamento chimico).
- 4) Verso il trattamento dei fanghi

Si può dire che la depurazione può essere suddivisa in tre passaggi principali: il trattamento meccanico, quello biologico e quello chimico.

Come dice già il nome, nel trattamento meccanico vengono adoperati dei metodi meccanici, detti anche fisici. Questa fase comprende operazioni come la grigliatura, la desabbiatura, la sedimentazione, ecc. Cioè tutti quei meccanismi dove si tratta di separare le acque da corpi solidi.

La fase biologica si chiama in questo modo perché in essa vengono usati dei microrganismi, ovvero dei batteri capaci di abbattere certe sostanze nocive, soprattutto l'azoto. I piccoli esseri viventi sono immessi nel liquido mescolato a fanghi, i quali alla fine del processo devono essere nuovamente rimossi tramite una decantazione secondaria.

A questo punto la depurazione si suddivide: Da una parte c'è il trattamento dei fanghi, che sono portati al digestore dove subiscono un importante trattamento, prima di essere bruciati, dall'altra continua la depurazione del liquido. Quest'ultima, a dipendenza dei corsi nei quali le acque vengono immesse, può terminare qui o procede in una terza fase, quella chimica.

In questa terza fase vengono aggiunti dei reagenti chimici per pulire le acque a fondo, infatti comprende l'eliminazione dell'azoto totale, la rimozione del fosforo e la disinfezione. Nel mio lavoro parlerò solo della rimozione del fosforo, visto che mi sono basata sui processi che avvengono negli impianti del nostro cantone (i quali, per l'appunto, non adoperano la disinfezione e nemmeno l'eliminazione totale dell'azoto).

3. Trattamenti meccanici

Le acque residue giungono all'impianto di depurazione contenute sostanze che si trovano allo stato di soluzione vera e propria, di dispersione colloidale, o infine di sospensione. È chiaro che il primo passo verso la chiarificazione delle acque di fogna consiste nella rimozione delle sostanze sospese.

Le sospensioni acquose, da un punto di vista chimico, rientrano nella categoria dei miscugli meccanici, i cui componenti si possono separare, per l'appunto, con dei mezzi meccanici. È naturalmente impensabile chiarificare l'acqua residua in un trattamento unico, poiché le sostanze in sospensione hanno la più diversa natura e possiedono dunque anche caratteristiche fisiche differenti.

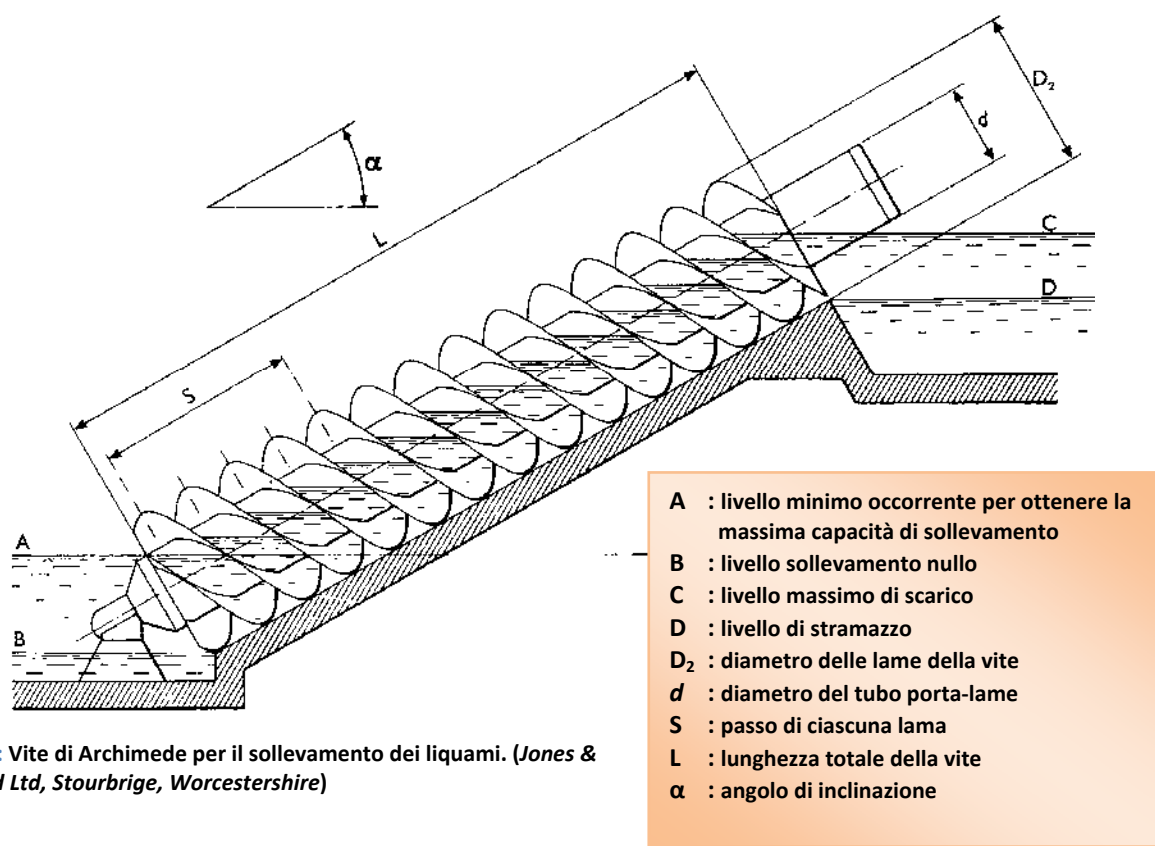


Figura 2: Vite di Archimede per il sollevamento dei liquami. (Jones & Attwood Ltd, Stourbrige, Worcestershire)

Se le acque giungono all'impianto di depurazione al livello operativo, la prima tappa consiste in una vasca di raccolta, ma spesso questo non è il caso e il liquame giunge a livello inferiore. In queste situazioni è necessario sollevarli a livello corretto tramite delle viti di Archimede (vedi Figura 2).

Se il dislivello non supera i 6-7 metri, queste viti sono la soluzione più efficiente. Essi portano numerosi vantaggi: sollevamento regolare, rendimenti elevati anche quando la portata si riduce al 30% della media, velocità ridottissima, robustezza, nessun pericolo d'intasamento, nessuna necessità di vasche di raccolta, possibilità d'installazione all'aperto.

3.1 Grigliatura e Triturazione

La grigliatura è la prima operazione di depurazione vera e propria eseguita. Si eliminano così

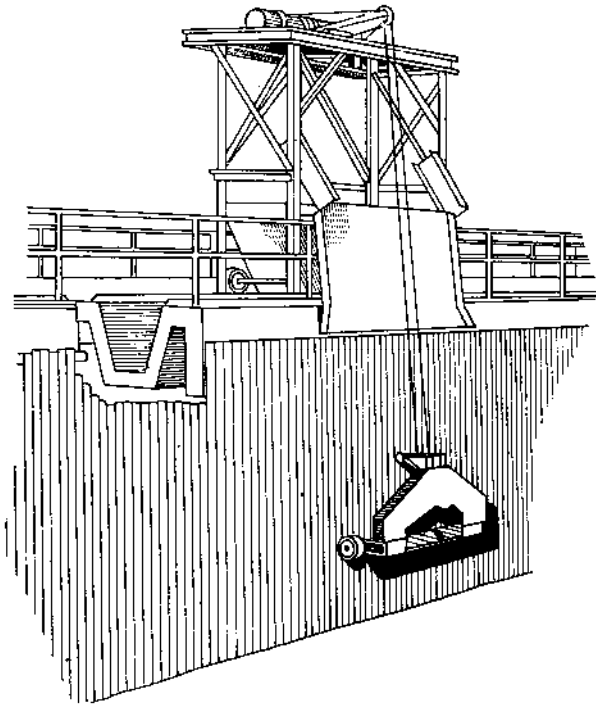


Figura 3: Griglia grossolana con rastrello di pulizia montato su ponte viaggiante

subito le parti solide mescolate alle acque reflue. Il tipo di griglia più semplice è un'armatura recante una serie di sbarre metalliche parallele (dette anche maglio, o piatti forati), la cui distanza varia a seconda dei corpi solidi che si desiderano trattenere (vedi Figura 3). Questa armatura viene parzialmente immersa nella corrente dell'acqua liquida.

Il sistema richiede una buona e frequente pulizia della griglia e per questo sono stati inventati vari sistemi automatici, che differiscono secondo il tipo di griglia.

Esse si dividono in grossolane, dove la distanza tra le sbarre è tra 5 cm e 15 cm, medie tra 0,5 cm e 4 cm, e fini meno di 0,5 cm. Le griglie grossolane filtrano corpi di dimensioni rilevanti, come pezzi di legno, bottiglie di plastica o vetro, in modo da proteggere tubature, valvole, vasche di raccolta, ecc. Esse vengono pulite con dei rastrelli mobili (vedi Figura 3).

Le griglie fini sono utilizzate principalmente per l'acqua proveniente dal trattamento secondario e destinato a quello terziario. Talvolta essi trovano impiego anche nel trattamento primario, in sostituzione della sedimentazione. Questa soluzione è adoperata soprattutto negli impianti di dimensioni ridotte, dove i bacini di sedimentazione non trovano spazio sufficiente. Nonostante tutto, la sostituzione non conviene, perché la griglia fine rimuove solo il 25% dei solidi, mentre la sedimentazione, i cui costi sono oltre tutto minori, rimuove tra il 40 e il 60 per cento.

Eliminare le sostanze solide grossolane dalle acque comporta inconvenienti; infatti, occorre considerare che le sostanze organiche, trovandosi all'asciutto, subiscono un accelerato processo di putrefazione e sviluppano cattivi odori. Per questo negli impianti più moderni sono stati inseriti dei trituratori sommersi, che effettuano il processo di grigliatura e di triturazione, cosicché le sostanze grossolane vengono sminuzzate dentro le masse liquide.

3.2 Desabbiatura e Deoleazione

La rimozione di materiali silicei è generalmente eseguita dopo le operazioni di grigliatura e triturazione, ma esistono anche degli impianti, dove l'ordine di successione è inverso.

Ci sono più sistemi per separare la sabbia dall'acqua.

Il primo consiste nella costruzione di due canalette parallele (una e tenuta di riserva), poco profonde e dimensionate in modo da trattenere le particelle con peso specifico di 2,6 g e un diametro superiore a 0,02 cm (vedi Figura 4). Tra gli scienziati regna disaccordo sulla velocità ideale di scorrimento dell'acqua in questa fase. Anche se può sembrare una disputa irrilevante, non lo è per nulla: se parte

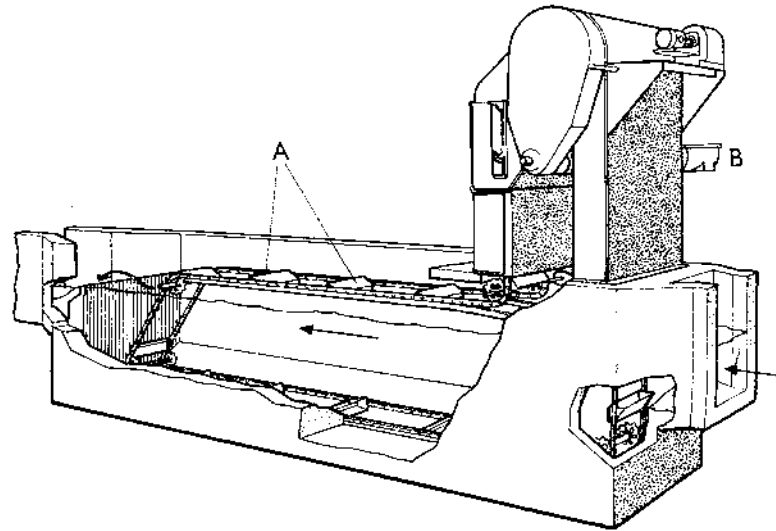


Figura 4: Desabbiatore a canalette con raschiatore-elevatore

del detrito siliceo sfugge al desabbiatore, esso andrà a danneggiare alcuni degli organi dell'impianto posti a valle; mentre se una porzione delle sostanze organiche sospese, che dovrebbero passare oltre, rimane mescolata al detrito siliceo, lo smaltimento di quest'ultimo diviene problematico, a causa dei fenomeni putrefattivi che in esso si sviluppano.

I detriti possono essere asportati manualmente, oppure mediante un sistema raschiatore-elevatore con tazze a V che li versa in un serbatoio, su un trasportatore a nastro o direttamente su appositi autocarri. Essi sono poi utilizzati per lavori stradali, per ricoprire sentieri in giardini o parchi, per evitare lo slittamento degli autoveicoli sull'asfalto ghiacciato, per opere edili, ecc.

Il secondo, è un sistema nuovo, che si sta sempre più diffondendo. Si tratta dei cosiddetti desabbiatori ad aerazione, nei quali la separazione dei detriti dalle sostanze organiche sospese è realizzata per mezzo dell'aria compressa, che fa salire alla

superficie queste ultime, più leggere, per flottazione. Questo sistema è molto più efficace e soprattutto non è più rilevante la velocità dell'acqua (vedi Figura 5).

La flottazione è l'operazione mediante la quale sostanze solide sospese vengono separate dal liquido iniettando una corrente di gas e provocando il loro galleggiamento, si trat-

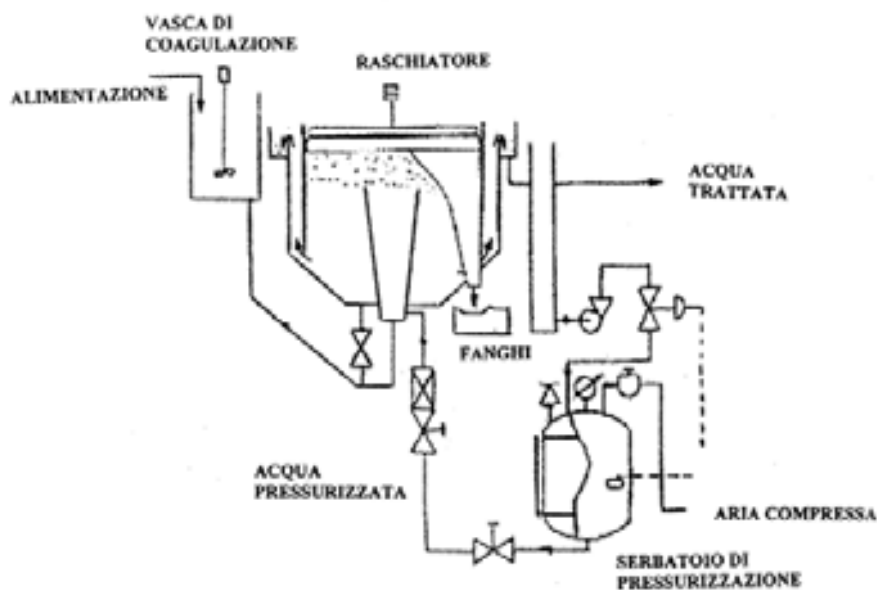


Figura 5: Schema di un processo di flottazione. (Trattamento acque di scarico – Manfredi Tiziano)

ta, in un certo senso, di una sedimentazione al contrario. Diversamente da quest'ultima, si può accelerare il processo di flottazione, riducendo la densità delle particelle.

Un terzo sistema è il desabbiatore a forma di V, dove l'acqua entra dal basso. Il flusso ascendente viene regolarizzato prelevando l'acqua chiarificata in un gran numero di punti, distribuiti uniformemente lungo il perimetro della vasca. I fanghi vengono raccolti in due punti: il primo sul fondo e il secondo ad un livello intermedio, opportunamente scelto.

Sulla deoleatura e sulla sgrassatura non c'è molto da dire. I deoleatori sono costituiti da manufatti cementizi nei quali viene assecondata la naturale tendenza alla separazione per gravità tra sostanze a diversa densità, quali grassi, oli, idrocarburi (eventualmente presenti nelle acque). Come nella desabbiatura, vi sono delle tazze a V che rimuovono gli oli e grassi sulla superficie dell'acqua.

3.3 La sedimentazione

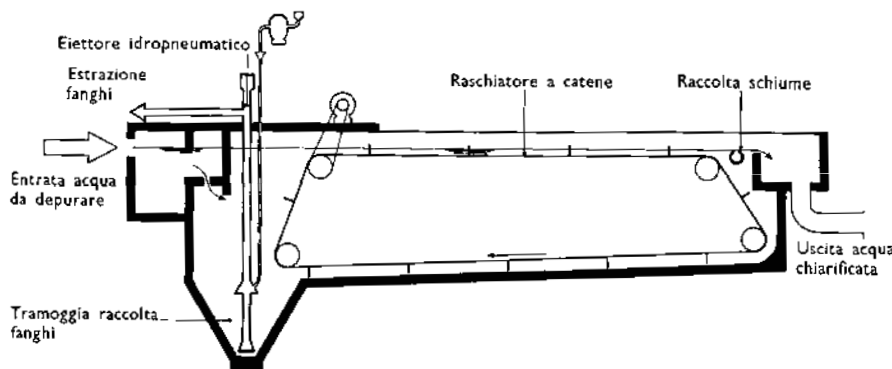


Figura 6: Vasca di sedimentazione a flusso orizzontale e a sezione rettangolare, con raschiatori di fango montati su catene

La sedimentazione è il processo secondo il quale i corpi solidi sospesi in un liquido, e aventi peso specifico superiore a quello del liquido stesso, tendono a depositarsi, con moto più o meno veloce, sul fondo del recipiente,

dove possono poi essere raccolti.

Esistono due tipi di sedimentazione, quella discontinua e quella continua. La prima consistente nell'introdurre l'acqua torbida in una vasca e lasciarvela finché non si sono depositate tutte le sostanze sospese; si asporta poi l'acqua chiarificata, mediante sifonamento o pompaggio e si ripete l'operazione, non trascurando di ripulire ogni tanto manualmente il fondo della vasca dai fanghi. Oggi la sedimentazione discontinua non è praticata, salvo in piccolissimi impianti; essa è stata ovunque sostituita dalla sedimentazione continua. Il principio su cui si basa questa tecnica è semplice: la torbida entra da un'estremità della vasca, la attraversa lentamente depositando le sostanze sospese e uscendo chiarificata dall'estremità opposta (vedi Figura 6).

4. Trattamento biologico

Quando le acque escono dal trattamento meccanico, tutti i corpi solidi sospesi sono stati rimossi, come anche gli oli e i grassi. Naturalmente i primi trattamenti non sono sufficienti, per rilasciare le acque.

Come dice già il nome, in questa fase sono utilizzati principalmente metodi biologici, ovvero dei metodi che riproducono i processi di depurazione esistenti in natura, ma sotto condizioni controllate dall'uomo. Il problema della depurazione biologica è soprattutto un problema di cinetica chimica, poiché in natura questi processi avvengono molto lentamente. Come dice giustamente un proverbio britannico: "Il tempo è denaro".

Le sostanze organiche possono essere demolite sia aerobicamente sia anaerobicamente. Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse per i sistemi di depurazione anaerobica, che presentano i seguenti vantaggi: hanno maggiore economicità di esercizio, minore quantità di fanghi prodotti, migliore qualità come fertilizzanti dei fanghi prodotti, produzione di biogas che contiene circa il 65% di metano. Sia nei depuratori aerobici sia in quelli anaerobici questo lavoro è svolto essenzialmente da batteri.

Il trattamento biologico, mira a eliminare tutte le sostanze organiche che consumano ossigeno (BOD¹). Si tratta di una completa degradazione dei biopolimeri presenti nei liquami di scarico, in modo da abbassare il carico inquinante, espresso in BOD₅, entro i limiti di legge.

Il metabolismo degradativo dei batteri (catabolismo), consiste essenzialmente in una serie di ossidazioni che trasformano le biomolecole complesse di cui essi si nutrono, come ad esempio carboidrati, proteine e lipidi, in molecole semplici.

4.1 I fanghi attivi

Il processo a fanghi attivi fu elaborato e perfezionato all'inizio del '900 in Inghilterra. I brillanti studi erano stati fatti da E. Arden e W.T. Lockett. I due sottoposero le acque luride a processi d'areazione e alla fine di ogni trattamento ossidativo, separarono una specie di fanghiglia dalle acque trattate, venutasi a formare a causa della crescita dei microrganismi aerobi. Questo fango lo posero in un'altra vasca che conteneva, come quella precedente, dell'acqua reflua e la trattavano nuovamente con un'areazione. Essi notarono così, dopo qualche tempo, che il fango cominciava ad essere sempre più attivo: si otteneva, cioè, una notevole efficienza depurativa, in uno spazio ridotto e in tempo sempre più breve. La spiegazione di questo fenomeno lo troviamo nella flora microbica, aggiunta alle acque in questa seconda fase. Per migliorare la condizione delle acque, essa utilizza, infatti, carboniosi organici biodegra-

¹**BOD:** "La domanda biochimica di ossigeno, nota anche come BOD, acronimo dell'inglese "Biochemical oxygen demand", rappresenta una misura indiretta del contenuto di materia organica biodegradabile presente in un campione d'acqua. Può essere usato per stimare le qualità generali dell'acqua e il suo grado di inquinamento ed è un parametro usato nella gestione della qualità dell'acqua e nella depurazione. È spesso usato come parametro di misura per valutare l'efficienza per gli impianti di trattamento acque reflue. Per la sua misura sono disponibili in commercio numerosi kit d'analisi di semplice utilizzo.

Il BOD misura la velocità di consumo dell'ossigeno da parte di microrganismi a una temperatura fissata e in un periodo di tempo determinato. Per assicurare che tutte le altre condizioni siano uguali, in ogni campione d'acqua da analizzare viene inoculata una quantità molto piccola di microrganismi. L'inoculo consiste solitamente in fanghi attivi diluiti opportunamente con acqua deionizzata. Il test può avere differenti durate, comunemente il periodo d'analisi è di cinque giorni (BOD₅), ma in alcuni casi vengono svolti test con periodi diversi." [http://it.wikipedia.org/wiki/Domanda_biochimica_di_ossigeno]

dabili e nutrienti, come per l'appunto CO_2 , N o P. In altre parole: il substrato viene ossidato dalle popolazioni di organismi, che costituiscono la biomassa, e l'acqua viene così depurata. La flora, anziché rimanere sospesa nel liquido, tende ad agglomerarsi tramite bioflocculazione e assorbimento, formando in questo modo ammassi fangosi, di natura fioccosa. Le sostanze sospese prodotte che non sono sedimentabili, vengono inglobate dai fiocchi della stessa biomassa. Questi agglomerati sono chiamati fiocchi di fango attivo, che possono essere separati, in situazione di quiete, con una semplice decantazione e, se non troppo vecchi, essere rimescolati con le acque luride. Nel processo di fanghi attivi si tratta di un sistema aerobico controllato a biomassa sospesa, che mira principalmente a eliminare le sostanze disciolte e sospese nelle acque, formando dei fiocchi pesanti che si depositano velocemente sul fondo. Ciò che permette tutto questo si può riassumere in quattro punti principali, raccolti nella Tabella 1 sottostante.

1.	Il processo si avvale della capacità delle popolazioni microbiche di demolire la sostanza organica presente nelle acque reflue, in modo da ricavarne materia ed energia per il proprio accrescimento e la propria riproduzione; le popolazioni che si instaurano nel fango fanno parte di catene alimentari naturali (del "detrito").
2.	Parte del materiale da depurare sarà trasformata in biomassa, ossia nuovi organismi viventi.
3.	In condizioni di buona depurazione, il materiale non trasformato viene intrappolato insieme ai microrganismi in fiocchi di circa $30\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ di diametro, aggregabile in formazione più grandi (fino a 1mm -2mm).
4.	Per ottenere un certo grado d'efficienza bisogna fornire cibo ed ossigeno, in quantità adeguata. Da notare che si ha un processo di ossidazione quando l'ossidante è una sostanza inorganica (O_2 , NO_3). Quando l'ossidante è, invece, una sostanza organica, si ha un processo di fermentazione..

Tabella 1: I fattori e componenti per il funzionamento dell'ecosistema artificiale del depuratore²

Come in ogni sistema biologico, anche in quello artificiale creato dal depuratore, si può individuare una struttura tra i diversi componenti e fattori, come anche un funzionamento. Queste relazioni sono rappresentate nella Tabella 2.

STRUTTURA	Componenti abiotiche	Aria, gas atmosferici, sali, oligoelementi ed acqua
	Componenti biotiche	Vegetazione e animali acquatici
	Fattori abiotici	Chimici (natura delle acque reflue, ossigeno disciolto). Fisici (condizioni ambientali, temperatura, luce, turbolenza, dimensioni dell'impianto). Alimentari (qualità e quantità dei substrati presenti)
	Fattori biotici	Relazioni intra ed interspecifici tra microrganismi (competizione, cooperazione, commensalismo, tasso di crescita, velocità di rimozione dei substrati, capacità d'immagazzinamento del cibo assorbito, capacità di produrre energia da determinati metabolismi).
FUNZIONAMENTO	Nello spazio	Catene e reti alimentari
	Nel tempo	Selezione e Successione ecologica

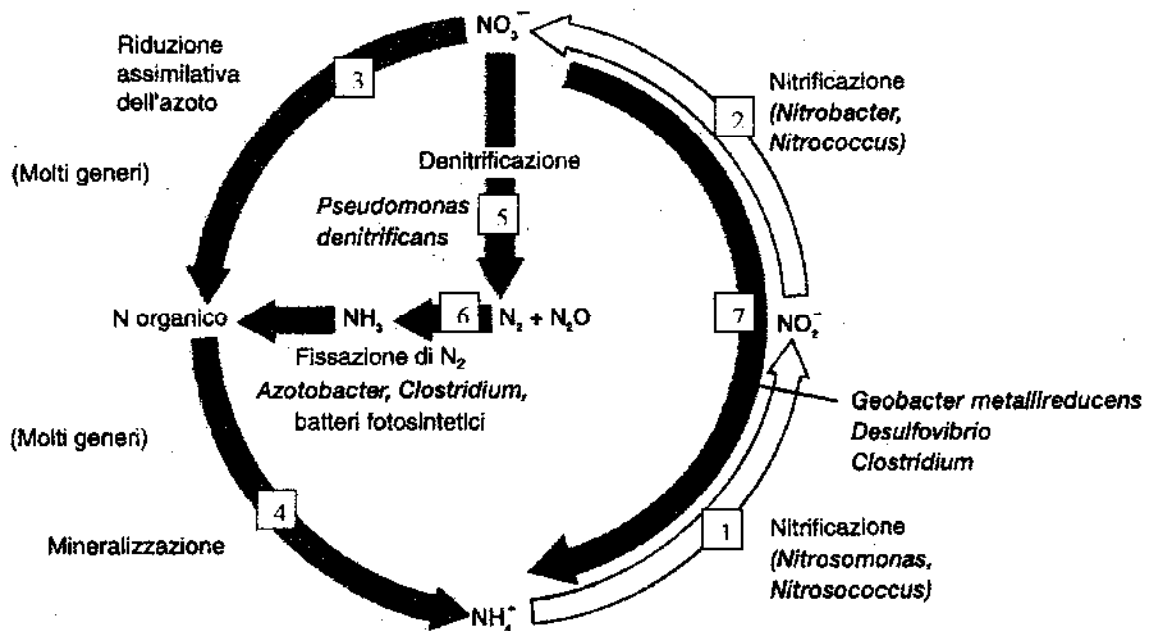
Tabella 2: Componenti e fattori principali³

² L. Cingolati et Al., 1996

³ P. Madoni, 1988

Il sistema a fanghi attivi è principalmente costituito da una vasca di denitrificazione (Zona anossida), una di nitrificazione e di bioossidazione del carbonio (Zona aerobica) e da un circuito di riciclo e di allontanamento della biomassa (decantazione) (vedi paragrafo “Zona aerobica e anaerobica”).

4.2 Il ciclo dell'azoto

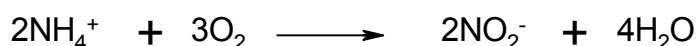


Prima di continuare con le acque, vorrei velocemente introdurre il ciclo dell'azoto, il quale ha un'importanza fondamentale in questo secondo trattamento, come capiremo più avanti.

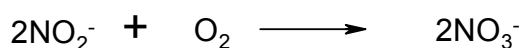
Nei sistemi agricoli, l'azoto è spesso un fattore limitante, meno N è disponibile, meno velocemente cresce la pianta. Per questo motivo, esso viene usato spesso come fertilizzante, sottoforma di ioni ammonio e nitrato. Dopo il carbonio, l'ossigeno e l'idrogeno, l'azoto è il più importante dei macronutrienti, infatti, è un elemento essenziale per la costruzione di amminoacidi e proteine, coenzimi e acidi nucleici.

4.2.1 La Nitrificazione

Certi batteri come i generi Nitrosomonas e Nitrosolobus riescono tramite ossidazione aerobica a trasformare lo ione ammonio (NH_4^+) in ione nitrito (NO_2^-).



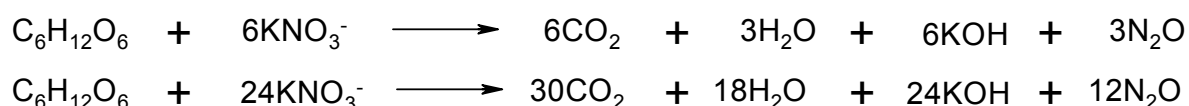
La nitrificazione non finisce qui; lo ione nitrito viene, infatti, nitrificato ulteriormente a nitrato. Questo avviene perché lo ione nitrito è tossico per le piante, mentre lo ione nitrato è assorbito come nutrimento. Il lavoro è solitamente svolto da batteri come i Nitrobacter o Nitrococcus.



Per la seconda reazione di nitrificazione è importante sapere che anche i batteri e i funghi contribuiscono a questi processi, soprattutto in ambiente acido dove i batteri Nitrobacter sono meno capaci di funzionare.

4.2.2 La Denitrificazione

Nella denitrificazione le condizioni ambientali necessarie sono diverse da quelle del processo precedente, infatti, questa reazione può avvenire solo in ambiente anossico. Nella respirazione anaerobica lo ione nitrato svolge la funzione di ossidante, viene dunque ridotto e non come nella nitrificazione, ossidato.

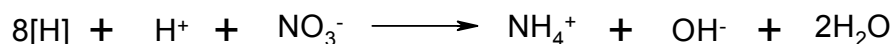


I prodotti principali sono l'azoto e l'ossido nitroso (N_2O), ma può accumularsi anche il nitrito, che ha una notevole importanza ambientale.

4.2.3 L'Assimilazione

Lo ione nitrato, oltre a subire una denitrificazione, può anche essere assimilato da piante o batteri e viene dunque a fare parte di una biomassa (N organico).

Prima di poterlo usare come nutriente, il nitrato, deve essere ridotto e questo implica un'investizione di energia notevole da parte dell'essere vivente.



Dove [H] indica un idrogeno legato a una molecola o a un elemento.

4.2.4 La fissazione

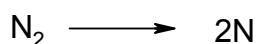
La fissazione si può svolgere sia in ambiente aerobico che anaerobico.

Se è presente dell'ossigeno, il processo può essere svolto da molti batteri, spesso in simbiosi con le radici di piante come le leguminose. Se invece non è presente l'ossigeno, gli azotofissatori asimbiotici, come i Clostridium, svolgono il lavoro essenziale.

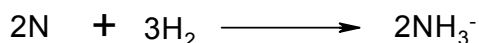
La fissazione dell'azoto comporta una sequenza di riduzioni, le quali consumano parecchia energia. Questi processi devono avvenire in ambiente strettamente anaerobico e ciò vale anche per i microrganismi aerobi. I batteri hanno elaborato un sistema per soddisfare questa condizione: nel tessuto del tubercolo radicale delle leguminose è presente la Legemoglobina, un pigmento rosso né presente nella cellula batterica né in quella vegetale. Si tratta di una molecola molto simile all'emoglobina umana e possiede un'alta affinità per l'ossigeno, forma dunque con estrema facilità dei composti ossigenati, e abbassa di conseguenza significativamente la concentrazione di ossigeno libero nel tubercolo.

La fissazione viene suddivisa in due passaggi: L'attivazione dell'azoto e la fissazione. Il primo processo viene catalizzato dall'enzima nitrogenasi.

- 1) Attivazione dell'azoto



- 2) La fissazione dell'azoto



4.3 La zona aerobica e anaerobica

Torniamo ora alle nostre acque, le quali sono appena arrivate dalla sedimentazione primaria e che stanno aspettando il trattamento secondario.

La nostra attenzione in questa fase della depurazione è soprattutto rivolta alla rimozione dell'azoto (in tutte le sue forme). Essa si basa su una serie di meccanismi di ossidazione, che avvengono in ambiente aerobico, dove la materia organica è degradata e l'azoto mineralizzato, fino ad assumere la forma di nitrato (vedi "*La nitrificazione*"). Questo processo è effettuato da microrganismi, come ad esempio il genere *Epistylis*, della famiglia *Epistylididae*, il quale è illustrato nella Figura 7. "Le forme apparenti a questa famiglia sono riconoscibili dalla non contrattilità del gambo, dall'assenza di un opercolo epistomiale e dalle evidenti contrattilità del corpo"⁴.

Questa reazione richiede una costante alimentazione di ossigeno, la quale è garantita dai sistemi di areazione, sui quali vorrei fare una veloce parentesi.

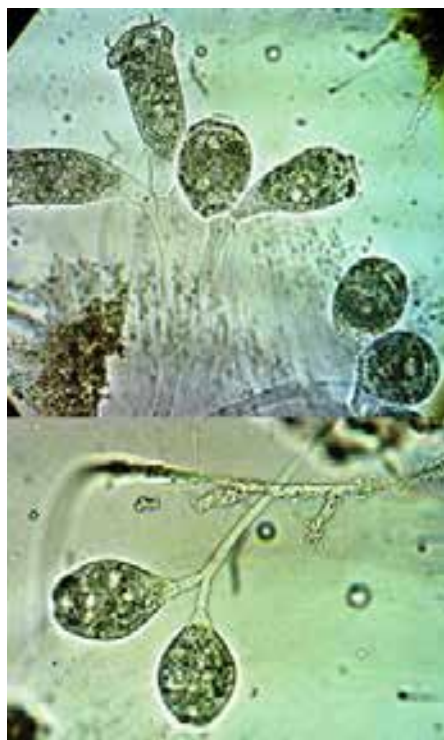


Figura 7: I batteri responsabili della depurazione. Si tratta del genere *Epistylis*, della famiglia *Epistylididae*. Queste due immagini sono state scattate, da un prelievo dal depuratore di Locarno, da me stessa.

4.3.1 I sistemi di areazione

Ci sono due sistemi d'areazione, sui quali sono in corso molte discussioni. Il dibattito gira soprattutto su quale dei due sia il migliore, ma c'entra anche la loro efficienza, il consumo d'energia e anche naturalmente i costi. Tutto ciò ha creato una forte concorrenza tra il sistema meccanico e quello di diffusione dell'aria, come anche tra i loro produttori.

Il sistema meccanico consiste in complicate costruzioni di spazzole di areazione combinate con diffusori sommersi. Quest'unione è ottimale per gli impianti a fanghi attivi in cui è eseguita contemporaneamente la nitrificazione e la denitrificazione. Oltre alle spazzole esiste una seconda opzione, ed è l'areazione a turbine, un sistema meccanico di superficie, conosciuto come Carroussel.

Il sistema di diffusione agisce con aria compressa ed è stato utilizzato durante l'intera storia del processo dei fanghi attivi. L'aria viene pompata nei liquami sotto forma di bolle molto fini, ciò assicura un intenso trasporto di ossigeno all'interno del liquido.

L'efficacia dei due sistemi è in sostanza la medesima, nonostante ciò il sistema a diffusione presenta alcuni vantaggi su quello meccanico.

Le bollicine fini che vengono pompate all'interno del liquido non espongono i fiocchi a stress, ovvero a bolle d'aria troppo grandi che potrebbero spezzarli. Nell'azione meccanica si vengono, infatti, a creare dei microfocchi e se questi non fossero reincorporati in fiocchi grandi abbastanza da potersi depositare nella vasca di sedimentazione secondaria, essi potrebbero contribuire a rendere torbido l'effluente.

Inoltre l'immissione dell'aria non influisce sulla temperatura; fattore molto importante negli impianti con batteri nitrificanti, che sono molto sensibili a cambiamenti di temperatura.

⁴ I Fantei, F. Strumia, S. Soprani, *Microbiologia e Depurazione*

Un altro vantaggio del sistema a diffusione è che l'immissione di ossigeno può essere regolata e si possono così creare condizioni ideali per la nitrificazione e la denitrificazione all'interno dei fiocchi. Questo fatto permette naturalmente anche un risparmio di energia e di denaro.

Si pensa anche che i sistemi d'aerazione che producono bolle fini, producono meno aerosol rispetto a quelli meccanici.

Dopo questa piccola escursione torniamo a trattare le nostre acque e l'azoto, lasciato al momento sotto forma di nitrati. La fase anaerobica permette di trasformare questi nitrati in azoto molecolare, che è poi rilasciato nell'atmosfera. Questa reazione è resa possibile da batteri, che trasformano la sostanza organica e usano come fonte d'ossigeno i nitrati, che vengono così ridotti ad azoto.

Come già detto in precedenza, questa fase provoca la formazione di fango, precisamente nella zona aerobica (vedi Figura 8) che può essere separato per sedimentazione e, in parte, riciclato per garantire un'adeguata concentrazione batterica nelle due fasi.

Può succedere che durante le reazioni venga anche liberato del NH_3 o del N_2O , ma con una buona regolazione e gestione dell'impianto è possibile tenere sotto controllo queste due sostanze.

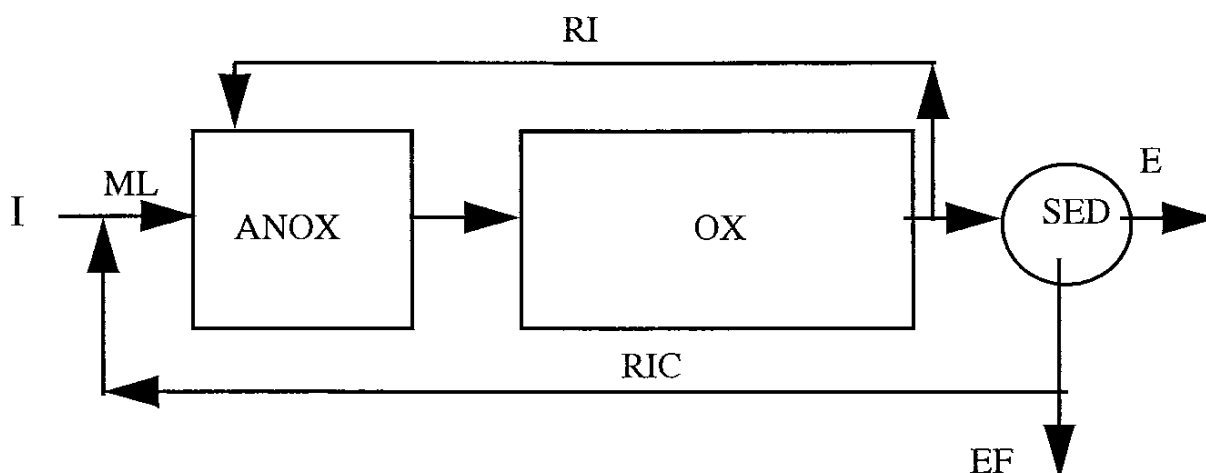


Figura 8: Schema completo del trattamento secondario. In questo caso la denitrificazione avviene prima della nitrificazione. Dopo i due trattamenti, le acque sono raccolte nella seconda vasca di sedimentazione, dove sono rimossi i fanghi rimanenti. Come si può vedere alcuni di essi vengono riciclati, mentre altri sono mandati al digestore.

I	: Influenza
ML	: Mixed Liquor
ANOX	: reattore anossico
OX	: reattore ossico
SED	: vasca di sedimentazione
RI	: riciclo interno
RIC	: riciclo fango
EF	: estrazione fanghi
E	: Effluente

4.4 I problemi più comuni

4.4.1 "Bulking"

Il fenomeno del bulking, descrive il fenomeno del rigonfiamento dei fiocchi di fango. Questo provoca due principali problemi: la velocità di sedimentazione diminuisce drasticamente, come anche la compattezza del fiocco stesso. Per via di quest'ultimo diminuisce anche la concentrazione di riciclo e quindi aumenta la difficoltà a mantenere l'equilibrio ottimale per i processi biologici.

Le cause principali conosciute del “bulking” sono la carenza di ossigeno o lo squilibrio di nutrienti oppure alternazioni notevoli del pH, termici ed altro. Le cause di questi cambiamenti sono in genere gli scarichi industriali, ma grazie al SVI⁵ viene segnalato il problema se viene superato un certo limite.

4.4.2 “Rising”

Come dice già quasi il nome, questo fenomeno consiste nella risalita dei fiocchi durante il processo di sedimentazione. Questa situazione si crea quando, sul fondo del sedimentatore, cominciano i processi di denitrificazione dovuti all’eccessiva nitrificazione. La nitrificazione ha luogo quando la carica di fango è molto basso, per rimediare si deve dunque aumentare il carico di fango.

4.4.3 “Pin-point”

L’effetto *Pin-point* è quando i fiocchi di fango attivo si sfaldano; ciò avviene soprattutto negli impianti con un basso CF, dove ci vuole più tempo per terminare le ossidazioni. A causa di questo sfaldamento si vengono a creare dei solidi sospesi molto fini, che si depositano solo con molta difficoltà. Questo vuol dire che nell’effluente misureremo ancora valori di BOD₅ e COD (chemical oxygen demand). Un simile effetto si ha con la deflocculazione, nella quale l’effluente è, però, più torbido.

4.4.4 “Washout” di solidi

Il washout si presenta sottoforma di una nuvola di fango, che risale in alcuni punti del liquido nel chiarificatore. Questo fenomeno avviene per cause diverse: dal sovraccarico d’influenza o di solidi, fino al malfunzionamento delle apparecchiature.

4.5 Cosa accade ai fanghi nel digestore?

Vorrei adesso soffermarmi sul fango, che viene pompato fuori durante questi processi biologici. Quando arriva fresco dalle vasche di sedimentazione secondaria, esso è composto maggiormente di materia organica, metalli e acqua. Quest’ultima è eliminata tramite una disidratazione forzata, infatti, rappresenta la gran parte della massa e rende i fanghi molto pesanti. Il rimanente (metalli, materia organica e pochissima acqua) vengono immessi in un digestore. In questi impianti la materia organica, come ad esempio carboidrati, proteine e lipidi, è degradata a CH₄ e CO₂. Queste trasformazioni biochimiche sono compiute da molte specie batteriche che collaborano insieme. Il processo di digestione anaerobica può essere diviso in tre fasi: idrolisi e fermentazione, acetogenesi, metanogenesi.

4.5.1 1° Fase: Idrolisi e fermentazione

Nella prima fase incontriamo i batteri idrolitici, degli anaerobi facoltativi, cioè dei batteri che possono vivere sia in ambiente anaerobico, e dunque eseguire la fermentazione, sia in ambiente aerobico, ed eseguire la respirazione. “Questi batteri attaccano le biomolecole complesse, amidi, cellulose, proteine, lipidi, ecc. secernendo degli enzimi idrolitici extracellulari

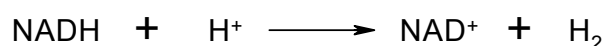
⁵ **SVP:** “L’indice di volume del fango, in inglese sludge volume index (SVI), o , è una misura usata nel campo dell’ingegneria sanitaria per valutare le proprietà di sedimentabilità di un fango. È quindi utile per il dimensionamento dei comparti di sedimentazione degli impianti di depurazione.”

che le trasformano in molecole più semplici: monosaccaridi, amminoacidi, acidi grassi.”⁶. I batteri assorbono poi parte dei prodotti e li degradano ulteriormente tramite fermentazione o processi aerobici. Questo processo è molto importante perché in questo modo viene consumato tutto l’ossigeno disciolto in acqua, rendendo l’ambiente totalmente anaerobico; una condizione fondamentale per la terza fase dove troveremo i metanobatteri.

I prodotti di questa prima fase sono: acido acetico, CO₂, acidi grassi, zuccheri, acidi organici, alcoli.

4.5.2 2° Fase: Acetogenesi

Nella seconda fase entrano in gioco i batteri acetogenici, che ossidano gli acidi grassi, gli zuccheri, gli acidi organici e gli alcoli ad acido acetico (oppure a CO₂ se è ancora presente dell’ossigeno) e liberano degli ioni H⁺. Questa loro capacità di eseguire delle ossidoriduzioni risale al fatto che sono in grado di rigenerare i loro coenzimi ossidati NAD⁺ e ridurre così protoni liberati precedentemente ad H₂.

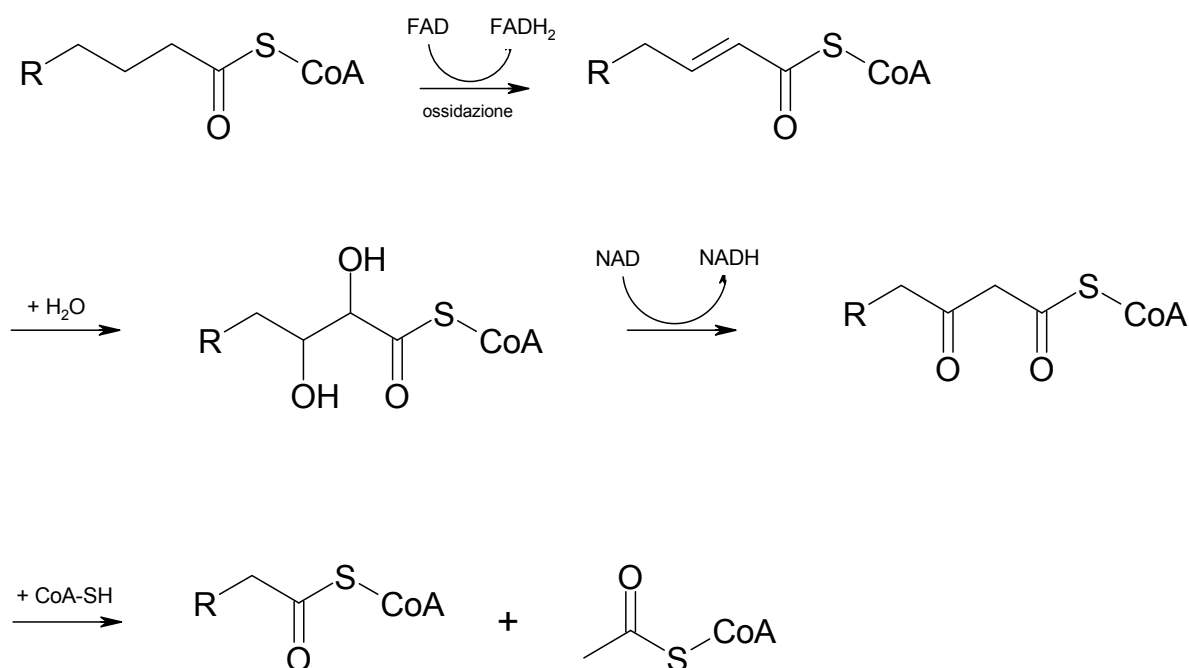


I batteri acetogenici operano quindi una respirazione anaerobica che si può suddividere in tre fasi.

4.5.2.1 La β-ossidazione degli acidi grassi

Questa ossidoriduzione avviene all’interno dei mitocondri, dove l’acido grasso subisce una serie di quattro reazioni, dette nel complesso β-ossidazione. L’acido viene di volta in volta accorciato di due atomi di carbonio mentre si formano NADH e FADH₂.

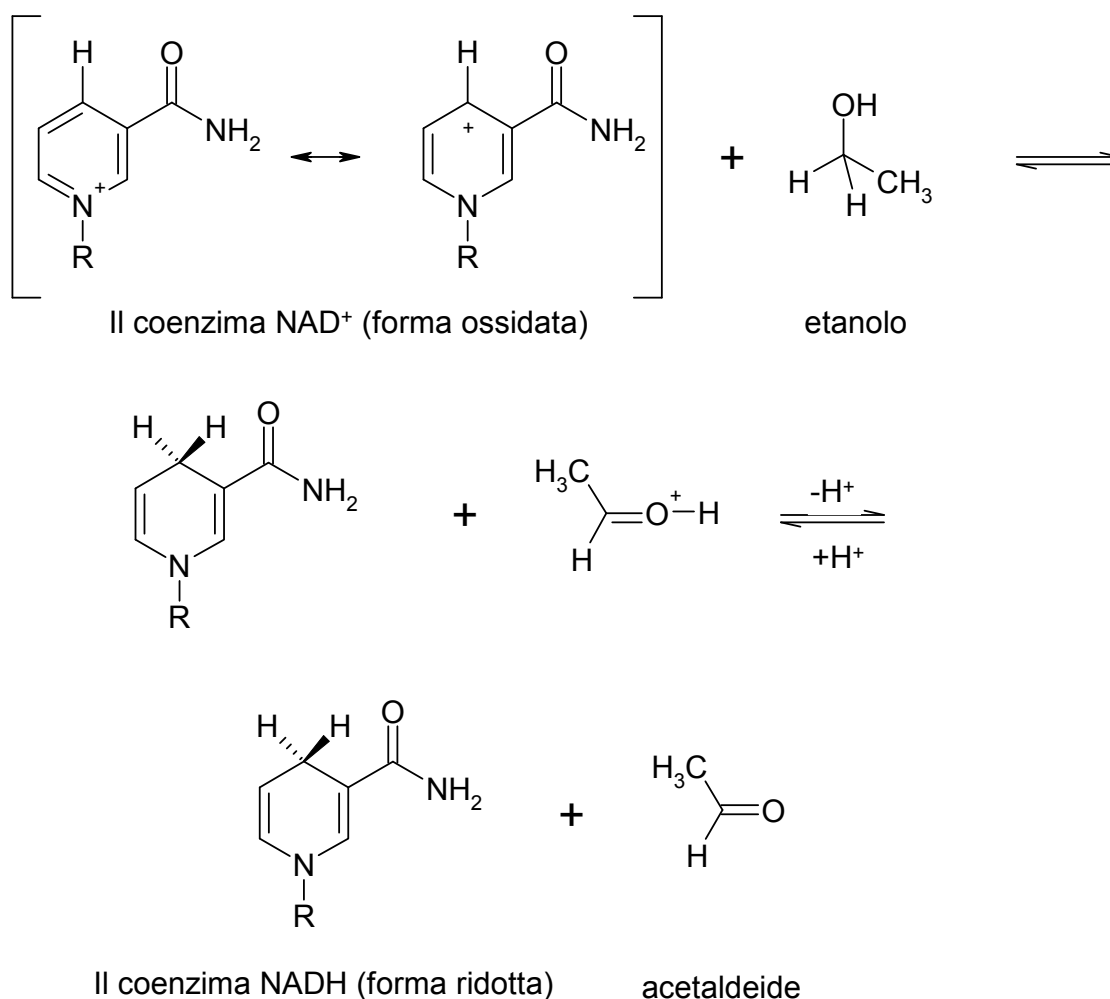
La β-ossidazione si ferma quando non si possono più eliminare atomi di Carbonio.



4.5.2.2 L’ossidazione dell’etanolo

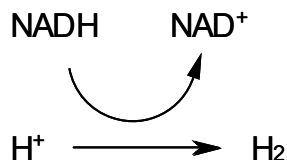
⁶ Prof. Mauro Tonellato, *Biochimica dei sistemi di depurazione*, ITIS Natta, Padova

L'ossidazione dell'etanolo può avvenire solo grazie alla molecola di NAD (nicotinammide adenina dinucleotide), infatti questo coenzima è in grado di deidrogenare gli alcoli ad aldeidi o chetoni; la reazione può avvenire anche in senso inverso e si tratta dunque di un equilibrio. Nel nostro caso specifico, la carica positiva del coenzima ossidato NAD^+ (in modo più specificamente il secondo ibrido di risonanza, illustrato nella reazione sottostante) attira un idrogeno dell'etanolo, uno di quelli legati direttamente all'atomo di carbonio. Questo crea una carica negativa sull'atomo di C. Per ricompensare, uno dei doppietti di elettroni liberi sull'ossigeno va a formare un doppio legame; questo, a sua volta crea una carica positiva sull'atomo di ossigeno, che cede il suo idrogeno e perdendo completamente la sua funzione di alcol. Qui termina la reazione, la molecola di etanolo è stata ossidata ad acetaldeide, mentre il coenzima NAD s'è ridotto da NAD^+ a NADH.



4.5.2.3 Riduzione di H^+

Le molecole di NADH, presente nei mitocondri dei batteri, cedono il loro protone, investendo dunque una certa quantità di energia, per realizzare la riduzione dello ione H^+ .



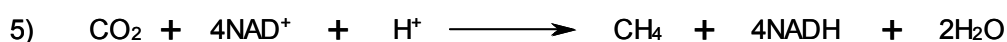
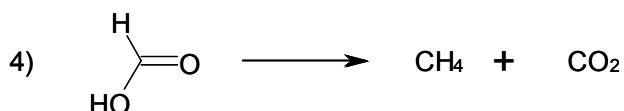
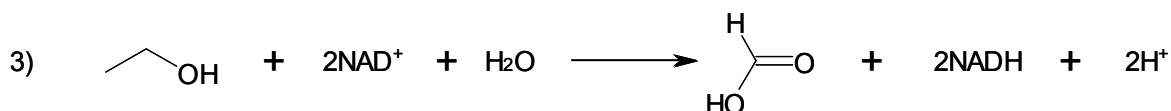
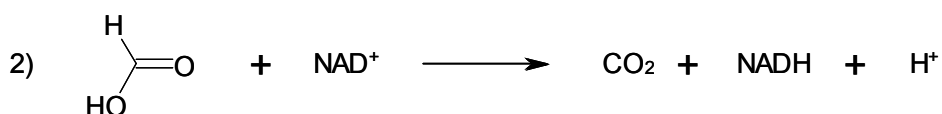
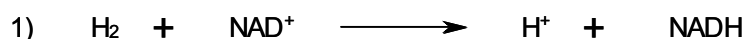
4.5.3 3° Fase: Metanogenesi

I principali attori della terza e ultima fase sono i metanobatteri, che sono strettamente anaerobi, infatti, la presenza di ossigeno elementare risulta tossica e la loro crescita è completamente inibita. Ci sono varie specie di metanobatteri, ma sono accomunati dalle loro somiglianze fisiologiche, ciò li rende un gruppo omogeneo e specializzato. Tutti loro ricavano energia degradando sostanze chimiche e per costruire le loro strutture carboniose usano sia l'anidride carbonica sia molecole organiche.

I metanobatteri degradano le sostanze prodotte nella seconda fase (per la maggior parte acido acetico) e producono CO_2 e CH_4 , consumando l'acido acetico e l' H_2 , mantenendo il pH a un valore ottimale, inoltre eliminano gran parte delle molecole organiche, abbassando notevolmente il BOD.

Esaminiamo ora come avvengono questi processi, in particolare la respirazione anaerobica dei metanobatteri, che utilizzano come molecola ossidante l'anidride carbonica che viene in seguito ridotto a metano, mentre ci sono invece diversi riducenti utilizzati, come ad esempio l'idrogeno elementare, l'etanolo o l'acido formico. È importante far notare che i meccanismi biochimici della metanogenesi non sono ancora del tutto chiari, nonostante i tratti principali sono stati compresi.

Anche il metabolismo degradativo di questi batteri è completamente differente da quello degli organismi aerobi, ma degli studi hanno permesso di dedurre e dimostrare che le reazioni principali sono le seguenti:



Non si è del tutto sicuri, ma si pensa che le prime due reazioni avvengano grazie ad un coenzima denominato F_{420} .

Come si vede, la terza reazione è l'ossidazione dell'etanolo ad acido acetico, questo processo è lo stesso visto in precedenza (II° fase, acetogenesi).

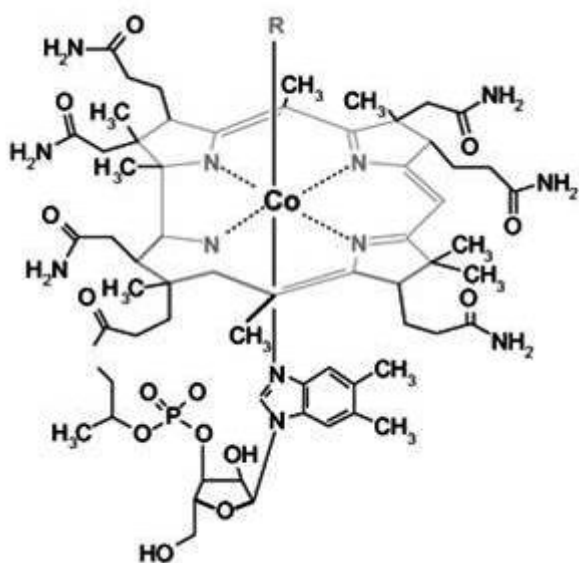
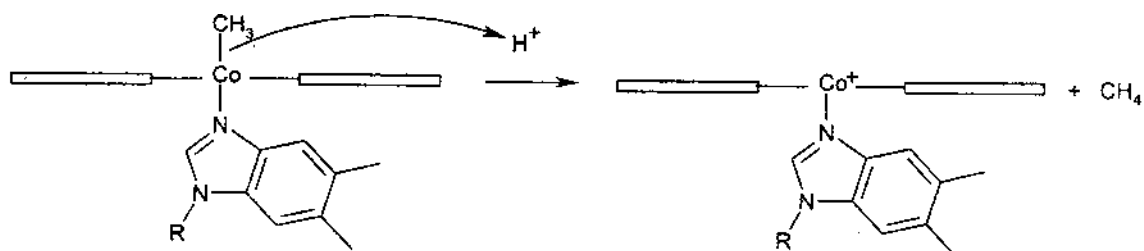


Figura 9: Una molecola di vitamina B₁₂. Il legame R si trova sopra il piano dell'anello e rappresenta molecole legate in modo reversibile, nel nostro caso il resto è un gruppo metile (CH₃) e la molecola è chiamata metilcobalamina.

Non si è ancora completamente sicuri dei meccanismi che avvengono nella quarta e quinta reazione, l'unica certezza che si ha al momento è che producono metano. Il fattore che permette di legare i gruppi metilici, che vengono trasformati in metano, è la cosiddetta vitamina B₁₂ o cobalamina, la quale possiede un anello cobaltico, che lega al centro uno ione cobalto. La struttura in generale assomiglia al gruppo eme dell'emoglobina, dove al posto del cobalto troviamo uno ione ferro. "La metilcobalamina (vedi Figura 9), con l'atomo di cobalto nella forma ridotta Co⁺, è un coenzima capace di trasferire reversibilmente il gruppo metilico legato sul cobalto."⁷ Avviene dunque un trasferimento del gruppo metile allo ione H⁺; questa reazione può essere

rappresentata nel modo seguente:



S'è scoperto, utilizzando molecole marcate con carbonio radioattivo ¹⁴C, che l'acido acetico decarbossila e dona il proprio gruppo metile alla cobalamina, che poi lo trasforma in metano. La cosa incerta in queste reazioni è la decarbossilazione dell'acido.

Nemmeno per la riduzione del CO₂ si è certi del meccanismo che ha luogo. Si è potuto però stabilire che le cellule batteriche non liberano altri intermedi parzialmente ridotti, cosa che accade, invece, nella riduzione di O₂ a H₂O nella respirazione. La molecola di CO₂ rimane dunque legata ad un enzima durante tutte le quattro riduzioni con NADH.

Non si è del tutto certi, ma si pensa che l'enzima, al quale la molecola di anidride carbonica si lega, sia l'acido tetraidrofolico (vedi

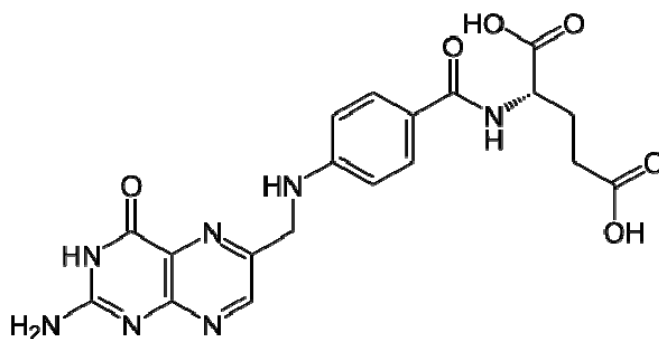
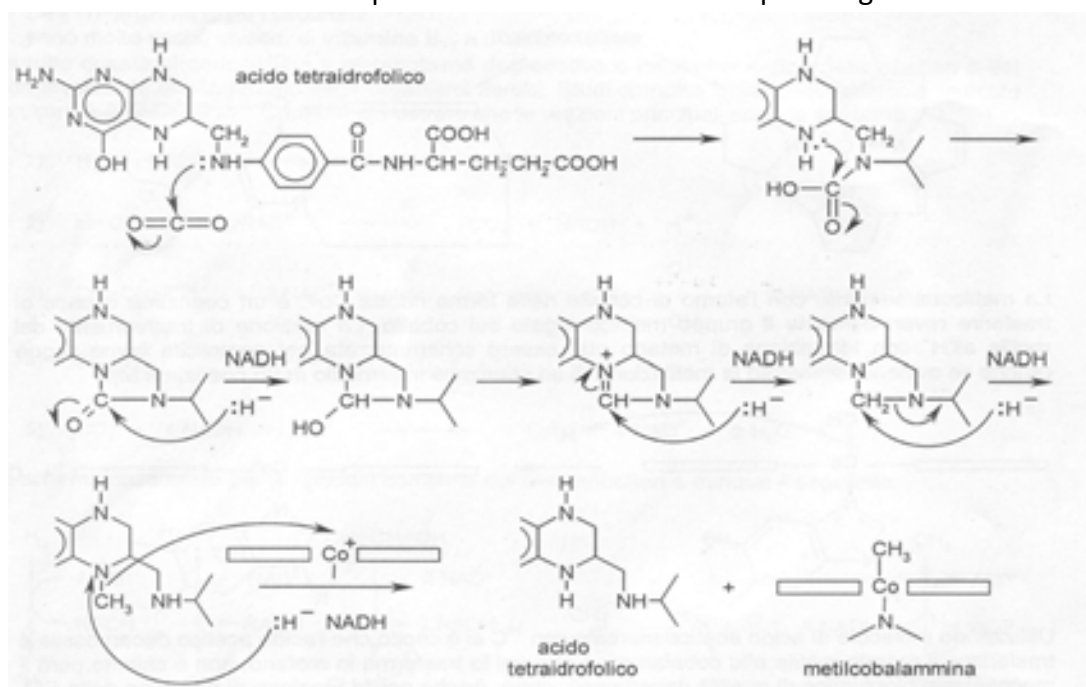


Figura 10: L'acido tetraidrofolico

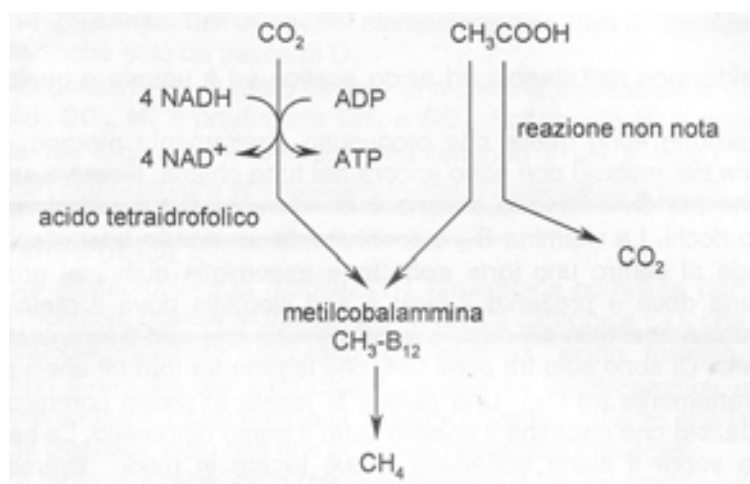
⁷ Prof. Mauro Tonellato, *Biochimica dei sistemi di depurazione*, ITIS Natta, Padova

Figura 10); quest'ipotesi è piuttosto plausibile, perché quest'acido sarebbe in grado di trasferire il metile sulla cobalammina. L'ipotetica reazione è illustrata qui di seguito:



Questa è l'unica reazione dalla quale i metanobatteri ricavano energia, la quale è utilizzata per il loro anabolismo. Per ogni molecola di anidride carbonica ridotta a metano, essi ricavano una sola molecola di ATP, una quantità bassissima. Ciò è la spiegazione della lenta crescita dei metanobatteri, infatti, la loro popolazione raddoppia in alcuni giorni, mentre i batteri aerobi per il trattamento dell'azoto, in sole poche ore.

Per concludere si può schematizzare la via di produzione del metano nel modo seguente:



5. Trattamenti chimici-fisici

Dopo il trattamento meccanico e biologico, troviamo quello chimico-fisico che mira a ridurre ulteriormente il tenore di sostanze solide sospese e il BOD. Inoltre l'effluente del secondo stadio contiene ancora la maggior parte dei fosfati e dei composti dell'azoto presenti nei liquami e ciò non è tollerabile se lo scarico deve avvenire in zona costiera, o in un lago, o in un corso d'acqua lento, ecc., ossia in tutti quei casi nei quali vi è pericolo di eutrofizzazione. Questo riguarda anche i laghi a noi più vicini, infatti, il *Corriere della sera*, nel 1998 scrive:

“Eutrofizzazione nei laghi: [...] Sei specchi d'acqua, Como, Lugano, Iseo, Idro e, in misura minore, i laghi Maggiore e di Garda, sono stati infatti "colonizzati" dalle alghe a causa degli elevati apporti di fosforo di origine agricola e industriale. [...] Il diverso grado di eutrofizzazione dipende in buona misura anche dalla forma dei laghi e dalla quantità di acqua che essi ricevono. [...] L'eutrofizzazione, sia pure a livelli di "modesta alterazione", e' presente anche nei due grandi laghi Maggiore e di Garda. Nel caso del lago di Lugano invece, la situazione sta migliorando per le acque superficiali, mentre la quantità delle acque profonde rimane bassa.”⁸

5.1 Il fosforo e i fosfati

Lo ione fosfato (PO_4^{3-}) in natura si comporta in genere come nutriente limitante (o di controllo) della crescita delle alghe, poiché, di norma, c'è un eccesso di altri nutrienti disciolti. Quanto più consistente è il rifornimento dello ione, tanto più abbondante è la crescita delle alghe. Con l'aumento delle alghe, aumenta anche il consumo di CO_2 e quando questo viene a mancare, le alghe, logicamente muoiono e cominciano a decomporsi per un processo di ossidazione. Questa reazione comporta un impoverimento di ossigeno disciolto con il risultato che la vita dei pesci viene fortemente compromessa. Le acque lacustri diventano anche fetide, limacciose e assumono una colorazione verdastra, mentre i pesci morti e le erbe acquatiche imputridiscono sulle spiagge. Tutto questo processo è chiamato eutrofizzazione. Lo ione fosfato può dunque avere un effetto devastante sull'ecologia idrica e risulta dunque chiaro la grande necessità di rimuoverlo dalle acque reflue.

I composti del fosforo arrivano nelle acque reflue attraverso tre strade principali: dilavamenti di fertilizzanti, escrementi animali e umani e detersivi e prodotti detergenti. Il totale di PO_4 si compone da ortofosfati, polifosfati e composti organici del fosforo; di norma la percentuale maggiore è costituita dall'ortofosfato PO_3^- .

⁸ Bignami Luigi, *Corriere della sera*, pagina 28, 28 giugno 1998

5.1.1 Le origini del fosforo

Come già detto in precedenza, il fosforo è un nutriente essenziale per piante ed animali. Inoltre questa sostanza fa parte del nostro DNA e si trova nelle molecole energetiche dell'ATP e dell'ADP, come anche nelle membrane cellulari e nelle ossa; si tratta di un elemento essenziale per ogni essere vivente.

Il ciclo del fosforo (vedi Figura 11) è sedimentario, ovvero è localizzato nel terreno e nelle rocce. "La riserva mondiale di fosforo è situata, quasi per intero, nelle rocce fosfatiche: solo quando esse riemergono per eventi geologici, il fosforo può entrare in

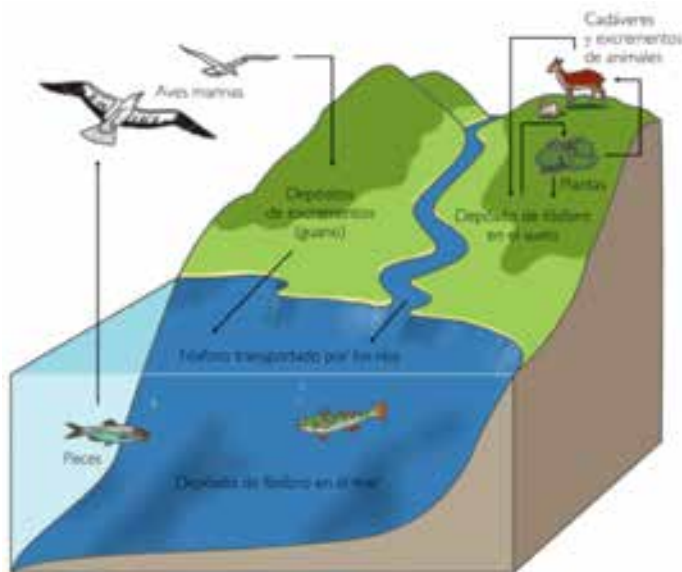


Figura 11: Il ciclo del fosforo.

circolazione per azione erosiva atmosferica o per solubilizzazione dei fosfori insolubili.”⁹

Questi fosfati insolubili passano dalla litosfera (rocce) alla pedosfera (terreno), dove sono utilizzati come nutrimento da vegetali. Quando queste piante muoiono, vengono decomposti dai microrganismi, i quali liberano nuovamente il fosforo, solitamente in forma di fosfati, nel terreno; dove possono essere riutilizzati nuovamente dalle piante. La parte non utilizzata dai vegetali viene dilavata dalla pioggia e, in questo modo, gli ioni fosfato giungono in fiumi e successivamente in laghi o mari, dove sono assorbiti dalle piante acquatiche. Una parte del fosforo si deposita sul fondo del mare o lago, mentre un'altra torna nuovamente nella pedosfera tramite organismi che si nutrono di pesci, infatti gli escrementi contengono fosforo inorganico, come ad esempio il guano degli uccelli marini. La velocità di questo trasferimento tramite gli uccelli marini è diminuito rispetto agli anni precedenti, così che la quantità di ritorno del fosforo alla terraferma è insufficiente per compensare quella che arriva nelle acque. Possiamo dunque dire

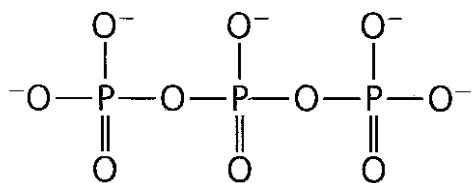


Figura 12: Struttura dello ione polifosfato non complesso. (Chimica ambientale – Colin Baird & Michael Cann)

che il fosforo circola tra la litosfera, l'idrosfera e la biosfera. Non lo troviamo nell'atmosfera perché il fosforo è in gran parte presente sotto forma di fosfato, che non è volatile.

Una volta una delle fonti principali dei fosfati era rappresentata dai detersivi, infatti si usavano anioni contenuti numerosi unità di fosfati, come l'STP ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), per diminuire la

durezza dell'acqua e, in questo modo, aumentare la resa del detergente stesso. Infatti, se l'acqua è troppo dura, i detersivi si concentrano soprattutto sugli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} , tranne che sullo sporco. Per questa ragione si aggiungevano degli emulsionanti, come i polifosfati, che circondavano gli ioni metallici, permettendo al detergente di concentrarsi sulla loro funzione, piuttosto che complessarsi con gli ioni metallici presenti in acqua.

Oltre ai polifosfati si usavano anche i tripolifosfati, che in soluzione acquosa possono formare complessi con gli ioni Ca^{2+} o Mg^{2+} , dando luogo ad interazione tra tre/due dei suoi atomi

⁹ Prof. Pierpaolo Cavallo, *Ciclo del fosforo*

di O^- . Le molecole che possiedono più di un sito d'attacco allo ione metallico e che dunque hanno la capacità di incorporare uno ione metallico tramite una struttura ad anello, sono chiamati agenti chelanti.

I tripolifosfati, come anche gli ioni fosfati stessi, rendono la soluzione alcalina, condizione fondamentale per una buona pulizia.

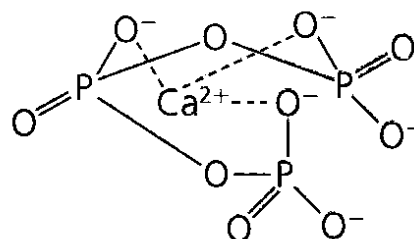
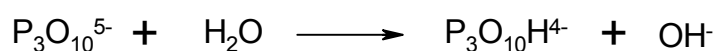
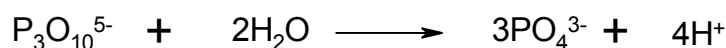


Figura 13: Struttura di uno ione polifosfato complesso con lo ione calcio. (*Chimica ambientale* – Colin Baird & Michael Cann)



Se le acque, contenenti ad esempio STP e dunque ioni fosfato, vengono scaricati, i polifosfati finiscono nel sistema fognario e dunque dopo nelle acque superficiali, dove reagiscono lentamente con l'acqua diventando degli ioni fosfato.



In alcune zone dell'Europa non si usano più i fosfati come emulsionanti o come agenti chelanti, essi sono stati sostituiti dal nitrilotriacetato di sodio, NTA. Quest'anione agisce in modo simile allo STP, incorporando lo ione calcio o magnesio tramite i legami con tre suoi O^- . Negli Stati Uniti, l'NTA non viene utilizzato perché si teme che la sua lenta degradazione in soluzione potrebbe rappresentare un rischio sanitario per l'acqua potabile.

Oltre al NTA sono attualmente in uso anche emulsionanti come il citrato di sodio, il carbonato di sodio, il silicato di sodio e delle sostanze chiamate zeoliti. Quest'ultime sono minerali alluminosilicati formati di sodio, alluminio, silicio e ossigeno; quest'ultimi tre elementi sono legati tra di loro in modo da formare una specie di gabbia, nella quale gli ioni sodio possono entrare. Se in soluzione è presente anche lo ione calcio (con il magnesio non funziona), questo viene scambiato con lo ione sodio, catturandolo in modo simile ai polifosfati. Esiste però uno svantaggio: le zeolite sono insolubili e di conseguenza la quantità di fanghiglia da rimuovere negli impianti di depurazione aumenta.

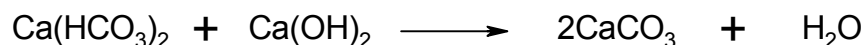
5.1.2 Processi di rimozione del fosforo

La rimozione degli ioni fosfato dalle acque reflue avviene tramite una precipitazione chimica. Per far sì che gli ioni fosfato precipitano come solido, si ha bisogno di appositi reagenti, detti coagulanti. Questi provocano l'aggregazione e l'addensamento di particelle, in modo da formare dei fiocchi pesanti che si depositano.

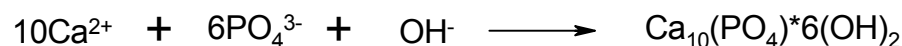
L'eliminazione del fosforo può avvenire in modi differenti. La precipitazione consiste generalmente nella reazione tra lo ione PO_4^{3-} e uno ione metallico. Come reagenti coagulanti si usano solitamente Fe^{3+} , Al^{3+} e Ca^{2+} , disciolti in acqua.

5.1.2.1 Il calcio

Questa reazione avviene in ambiente basico e il reagente usato è lo ione calcio, solitamente aggiunto alla soluzione sotto forma d'idrossido di calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$; questo reagisce con la naturale alcalinità dell'acqua reflua e produce carbonato di calcio, un sale facilmente rimovibile.



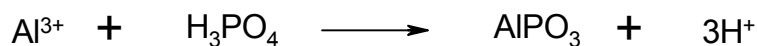
Con l'aggiunta di ioni idrossido, sotto forma di calce $\text{Ca}^{2+}(\text{OH})_2$, aumenta ulteriormente la basicità dell'acqua. Quando il pH supera, all'incirca il valore 10, gli ioni calcio rimasti reagiscono con gli ioni fosfato, per poi formare un precipitato.



Dato che la reazione avviene tra l'alcalinità dell'acqua e la calce, la quantità richiesta non dipende dalla concentrazione di fosfato disciolto, ma soprattutto dall'alcalinità delle acque reflue.

5.1.2.2 L'alluminio e il ferro

L'allume o il solfato di alluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, un reagente coagulante ampiamente utilizzato per la precipitazione dei fosfati, la cui reazione base è:



Questa reazione può sembrare semplice, ma si deve tener conto di molteplici altri fattori, come per esempio le reazioni concorrenti, che avvengono allo stesso tempo, il pH, gli effetti che possono essere provocati per l'alcalinità naturale dell'acqua, ecc.

Per quanto riguarda il dosaggio, si può dire che la quantità di alluminio utilizzata è in funzione della rimozione di fosfati richiesto. Man mano che il fosforo viene rimosso, l'efficienza del coagulante diminuisce. Aggiungendo tra 50 e 200 mg/L si può eliminare tra l'80-90% del fosforo presente in soluzione.

Il solfato ferroso, FeSO_4 , e il solfato ferrico, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2$, sono, come anche l'alluminio e il calcio, ampiamente usati per la rimozione del fosforo, nonostante la reazione dello ione ferro, con lo ione fosfato non sia ancora completamente sicura e compresa, si pensa, infatti, che lo ione ferro si combini per formare fosfato ferrico. La reazione base è, di conseguenza, la seguente:



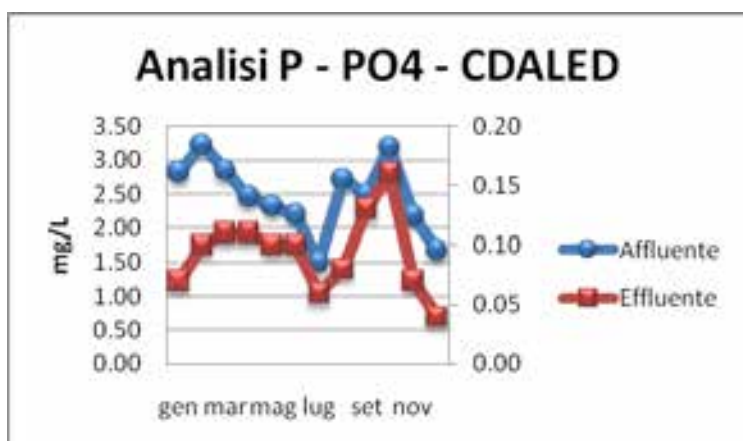
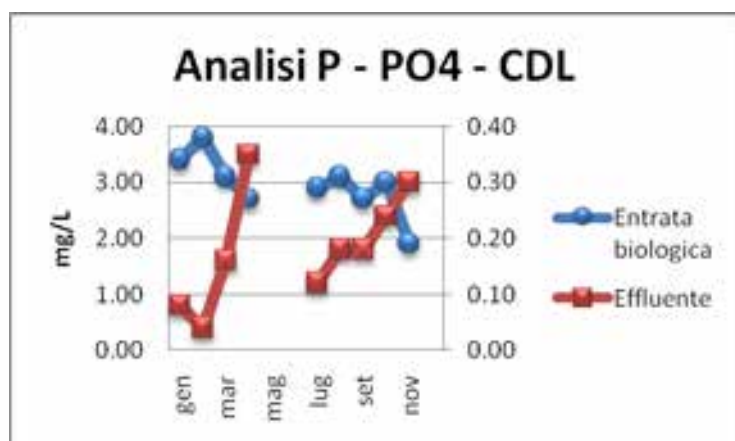
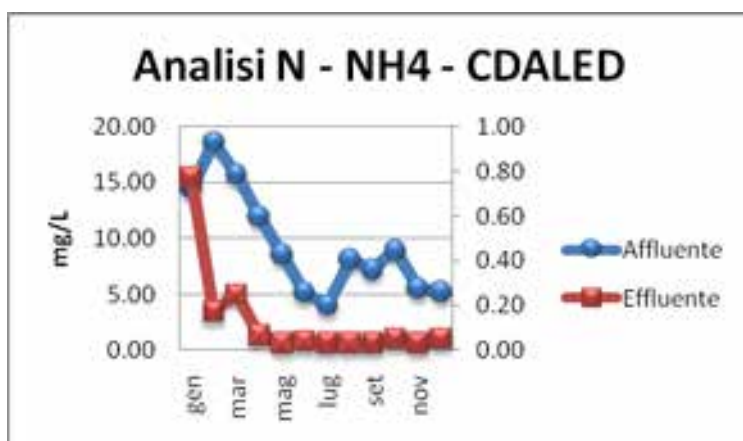
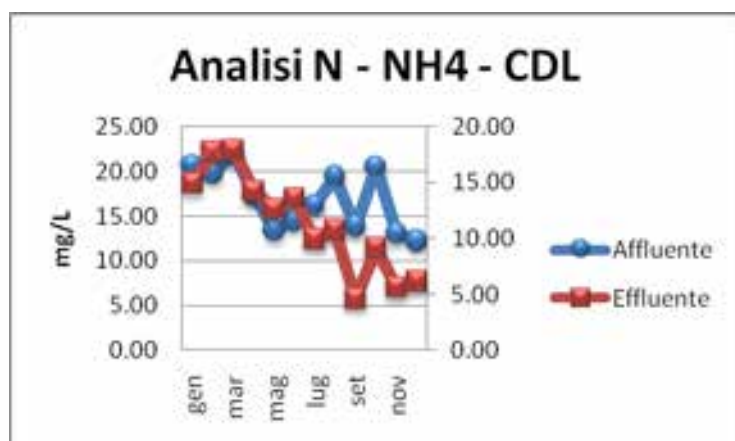
Gli ioni ferro reagiscono con la natura alcalina dell'acqua, simili agli ioni calcio visto in precedenza. Per abbassare ulteriormente il pH, e dunque alzare la resa, si aggiunge spesso e volentieri della calce, la quale oltre al ferro, come visto nel paragrafo prima, reagisce anche col fosforo e facendolo precipitare.

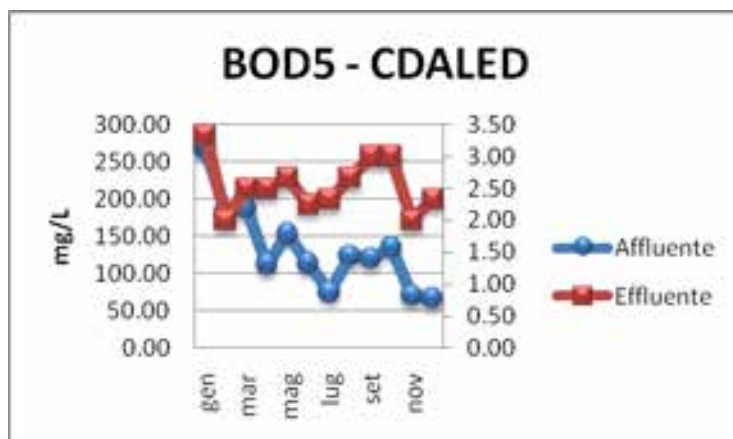
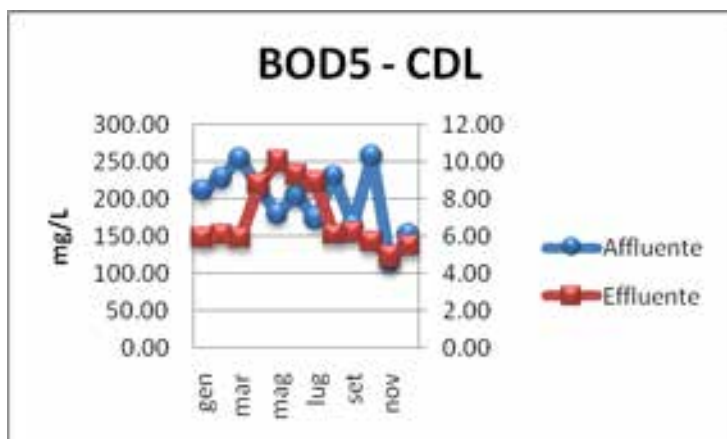
6. Confronto tra gli impianti di Lugano (CDALED) e Locarno (CDL)

Durante lo svolgimento del mio lavoro di maturità, ho avuto la possibilità di visitare due impianti del nostro cantone: l'impianto di depurazione a Lugano (Consorzio Depurazione Acque Lugano e Dintorni, CDALED) e quello più vicino a noi, il depuratore di Locarno (Consorzio Depurazione Locarno, CDL).

6.1 Alcuni dati

Qui sotto illustrati, vedete alcuni dati dei due impianti di depurazione per l'anno 2008. I grafici riportati a sinistra rappresentano i dati dal depuratore di Locarno, mentre quelli a destra i dati di Lugano. In blu vedete l'andamento dell'affluente, con la rispettiva scala a destra, mentre in rosso l'andamento dell'effluente con la scala a destra.





Come possiamo chiaramente notare i valori riportati nei grafici degli effluenti nell'impianto di Lugano sono sempre minori rispetto a quelli di Locarno, ma questo risulta più chiaro se si osserva i vari trattamenti applicati dei due impianti. Infatti, Lugano, al contrario di Locarno, possiede un quarto stadio, introdotto nel 1995, dove avviene un'ulteriore filtrazione. In questa fase le acque passano per due strati di sabbia, la quale trattiene i residui in sospensione, ma l'obiettivo principale è quello di rimuovere il più possibile di fosforo. Non avviene, infatti, il trattamento chimico-fisico e la fase secondaria rimuove solo una minima parte dello ione. Naturalmente gli strati di sabbia non sono in grado di trattenere gli ioni fosfati e perciò s'aggiungono dei sali d'Alluminio (vedi "Rimozione del fosforo"). In questa maniera la torbidità dell'acqua viene fortemente ridotta, come anche la carica batterica presente. Si deve inoltre dire che la sabbia viene pulita giornalmente, con un controlavaggio. Dopo questo trattamento l'acqua raggiunge un alto grado di depurazione ed è immessa nel fiume Vedeggio, per poi arrivare al Lago di Lugano.

6.2 Come mai queste differenze?

Sorge però la domanda come mai il depuratore di Lugano necessita una quarta fase, mentre quello di Locarno no. La risposta si trova osservando le cartine topografiche dei rispettivi due laghi (vedi figura 14¹⁰ e Figura 15¹¹).

Le acque trattate dal CDL vengono rilasciate alla parte sud del delta, ovvero nelle regioni di Ascona, ma spostiamo la nostra attenzione sulla topografia del lago (vedi Figura 14). Come possiamo notare il lago subisce una rapida discesa andando in direzione di Brissago e dunque verso il confine, dando al bacino una forma abbastanza lineare. Questo fatto è molto importante perché permette alle acque di circolare con più facilità, le sostanze disciolte non si possono accumulare e non si vengono a creare fenomeni come l'eutrofizzazione.

¹⁰ Wikipedia, **Karte Langensee**,
(http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Karte_Langensee.png&filetimestamp=20070204171454)

¹¹ Wikipedia, **Karte Luganensee**,
(http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Karte_Luganensee.png&filetimestamp=20060530191412)



Figura 14: Topografia del Lago Maggiore



Figura 15: Topografia del Lago di Lugano

Se osserviamo bene la carta topografica del lago di Lugano (vedi Figura 15), dove il fiume Veduggio entra nel lago, tra Agno e Agnuzzo, notiamo che ci sono tre bacini, ovvero tre profondità, indicate con un blu leggermente più scuro. Dentro questi bacini, le acque s'accumulano, cioè continuano a girare dentro per un lungo periodo e se sostanze dannose, come il fosforo, non sono state rimosse con cura si accumulano, danneggiando l'ambiente. Con questo è spiegato come mai il depuratore a Lugano necessita una quarta fase, mentre quello a Locarno no.

7. Conclusione

Siamo giunti dunque alla fine di questo lavoro di maturità e devo ammettere che mi dispiace un po' terminarlo; mi sarebbe piaciuto continuare a fare ricerche e approfondire ulteriormente il tema trattato. Ci sono, infatti, molti studi in atto: si cerca di capire meglio l'effetto delle sostanze pericolose sul fragile equilibrio dell'acqua, per poter poi sviluppare dei meccanismi efficienti per rimuoverli. Al giorno d'oggi gli studi sono a un buon punto, ma tanto si dovrà ancora fare; infatti non si sa, quando apparirà una nuova sostanza, a prima vista innocua, che può provocare dei danni ai biosistemi acquatici; per esempio ci si è resi conto solo in questi ultimi anni degli effetti degli antibiotici sulla popolazione ittica e infatti si stanno perfezionando i sistemi di depurazione contro questo nuovo pericolo.

Quando, nell'ormai lontano mese di febbraio 2009, ho cominciato a lavorare sui trattamenti delle acque reflue, non mi sarei mai immaginata che, lavando i miei piatti con dei detersivi o facendo la doccia, avrei scatenato così tante reazioni chimiche nel 14 km distante impianto di depurazione. Da adesso in avanti userò l'acqua in casa in modo molto più cauto e ci penserò più di una volta cosa butto nel WC prima di tirare.

Non mi sarei nemmeno aspettata che i trattamenti erano tanto complessi, infatti, inizialmente ho capito ben poco e solo pian piano, con l'aiuto dei miei docenti e dei dipendenti dei due depuratori visitati, sono riuscita a capirci qualcosa.

Vorrei dunque ringraziare i miei docenti di chimica, Gianmarco Zenoni, che con grande pazienza ha corretto i miei errori d'ortografia e ha risposto alle mie infinite domande; Emilio Brenn e Fabio Selva, i quali si sono dedicati ad aiutarmi nei vari meccanismi delle reazioni. Un altro grande grazie va ai docenti di biologia, Valerio Sala e Ricardo Grabber. Assieme a loro mi sono rotta la testa sui microrganismi adoperati nel trattamento biologico e in quello dei fanghi, come anche sul loro ruolo e le reazioni che avvengono al loro interno; inoltre sono stati così gentili da mettermi a disposizione il laboratorio e tutto il materiale necessario, per analizzare e fotografare i batteri *Epistylis*. L'ultimo ringraziamento va a tutti i dipendenti dei depuratori di Lugano e Locarno, infatti, erano sempre molto disponibili e hanno esaurito ogni mia richiesta, mandandomi il materiale e le informazioni necessarie. Vorrei però ringraziare specialmente i collaboratori del CDL, che hanno dovuto sopportarmi varie volte e che mi hanno sempre accolta a braccia aperte al loro impianto, non lasciandomi mai andare via senza risposte alle mie domande.

Grazie mille a tutti!

Le Fonti

Trattamento primario

- 1) *“Il trattamento delle acque inquinate”*, **Giovanni Bianucci** ed **Esther Ribaldone Bianucci**, Ulrico Hoepli, Milano, 1989
- 2) *“Trattamento acque di scarico”*, **Manfredi Tiziano**, XI corso di tecnologia per tecnici cartari, Verona, 2003/2004

Trattamento secondario

- 3) *“Biochimica dei sistemi di depurazione”*, **Prof. Mauro Tonellata**, ITIS Natta, Padova,
- 4) <http://www2.unipr.it/~madpao35/Fanghi%20attivi.pdf>
- 5) http://www.tesionline.com/_PDF/657/657p.pdf
- 6) *„Microbiologia e depurazione. La microbiologia al servizio del gestore degli impianti di depurazione aerobi”*, **Ilario Fanti, Franca Struma e Sesto Soprani**, Milano
- 7) http://www.ersaf.lombardia.it/Upload/NITRATI/02_04_rimozione.html

Trattamento terziario

- 8) *“Lebensnotwendig, hochgiftig, vielseitig: Das Element Phosphor”* di **Josef Peter**, Neuenkirch. © Gemeindeverband Sempachersee, 2004
- 9) *„Chimica ambientale”*, **Colin Baird** e **Michael Cann**, Zanichelli, Seconda Edizione, 2006
- 10) <http://www.lenntech.it/rimozione-fosforo.htm>
 - a. *Wastewater Engineering’*, Metcalf & Eddy, International Edition, 2003
 - b. *Water technology’*, N.F. Gray, Elsevier, 2005
 - c. *‘Depurazione acque’*, Luigi Masotti, Calderini, 2005

Confronto tra gli impianti di Lugano (CDALED) e Locarno (CDL)

- 11) Consorzio Depurazione Locarno
- 12) Consorzio Depurazione Acque Lugano E Dintorni

Note a piè di pagina

- 13) Wikipedia