

XXVII corso di Tecnologia per Tecnici Cartari
edizione 2021/2022

Il trattamento delle acque reflue di cartiera

di Boselli Giuseppe



**Scuola Interregionale
di tecnologia per tecnici Cartari**

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona
www.sanzeno.org - scuolacartaria@sanzeno.org

INDICE

- 1 - Introduzione
- 2 - Classificazione dei solidi da rimuovere
- 3 - Impianti di depurazione
- 4 - Pretrattamenti meccanici
- 5 - Trattamento ossidativo biologico
- 6 - Impianto a fango attivo
- 7 - Fase ossidativa
- 8 - Sedimentazione secondaria
- 9 - Ulteriori trattamenti
- 10 - Trattamento dei fanghi di depurazione
- 11 - Addensamento fanghi
- 12 - Digestione fanghi
- 13 - Condizionamento fanghi
- 14 - Disidratazione fanghi
- 15 - Essiccamento fanghi
- 16 - Abbattimento degli odori molesti
- 17 - Fattori determinanti per il dimensionamento del depuratore
- 18 - Considerazioni sull'impianto di depurazione in cartiera
- 19 - Bibliografia
- 20 - Considerazioni finali

1. INTRODUZIONE

Per trattamento delle acque reflue civili o industriali si intende il processo di rimozione parziale o totale dei contaminanti di un'acqua di scarico, derivato dal ciclo civile o industriale di lavorazione, da immettere in un effluente privo di contaminanti organici e inorganici, tutto questo è soggetto a normative ambientali con tabelle e valori prefissati.

I reflui urbani o scarichi civili che dir si voglia sono di origine domestica e ricche di deiezioni umane, urea, grassi, proteine, cellulosa, acque pluviali, di ruscellamento che derivano dal circuito strade o piazzali.

Tutte queste acque reflue convergono negli impianti di trattamento biologico locali presentando sostanze inquinanti in ingresso come idrocarburi, pesticidi, detergenti, detriti plurimi come gomma etc.

Le industrie invece, che hanno la possibilità di sversare i reflui nel sistema fognario oppure in un emissario, sono soggette a rimuovere i contaminanti derivate dalle peculiarità di produzione con pretrattamenti o trattamenti in loco tali da allinearsi agli scarichi civili e comunque rispettando le normative vigenti.

L'attività cartaria necessita di acqua nel corso del processo di fabbricazione per lavorare la materia prima e questa viene prelevata dal sottosuolo (falde acquifere), la qualità dell'acqua inteso come valori di analisi chimica non è mai uguale allo stato di uscita dal ciclo di trasformazione e le sostanze inquinanti sono superiori alla capacità endogena dell'ambiente di auto depurarsi (terreno, fiumi, laghi, mare), è necessario quindi l'utilizzo di un sistema di depurazione artificiale tecnologico che imiti il processo biologico in natura accelerando i tempi di trasformazioni degli agenti inquinanti.

Il trattamento di depurazione consiste in una serie di fasi o stadi di processo nelle quali i contaminanti vengono rimossi dall'acqua reflua dando origine a dei fanghi in modo da permettere che l'acqua, nella parte finale del ciclo, sia compatibile con l'ambiente esterno che riceve l'emissione del liquido.

Il ciclo stesso di depurazione è formato da più processi di natura chimica, fisica e biologica e le sostanze indesiderate che sono anche tossiche, devono essere neutralizzate in modo da essere idonee allo smaltimento in discarica oppure ad altri usi come per esempio ammendante per terreno in agricoltura.

VALORI LIMITI DI EMISSIONE IN ACQUE SUPERFICIALI E IN FOGNATURA D. Lgs. 152/06 (Parte terza, Allegato 5, Tabella 3.)

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
1	pH	5,5-9,5	5,5-9,5	
2	Temperatura	°C	[1]	[1]
3	colore		non percettibile con diluizione 1:20	non percettibile con diluizione 1:40
4	odore		non deve essere causa di molestie	non deve essere causa di molestie
5	materiali grossolani		assenti	assenti
6	Solidi speciali totali [2]	mg/L	≤80	≤200
7	BOD5 (come O2) [2]	mg/L	≤40	≤250
8	COD (come O2) [2]	mg/L	≤160	≤500

(¹) Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura

**VALORI LIMITI DI EMISSIONE IN ACQUE SUPERFICIALI E IN
FOGNATURA D. Lgs. 152/06 (Parte terza, Allegato 5, Tabella 3.)**

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
9	Alluminio	mg/L	≤1	≤2,0
10	Arsenico	mg/L	≤0,5	≤0,5
11	Bario	mg/L	≤20	-
12	Boro	mg/L	≤2	≤4
13	Cadmio	mg/L	≤0,02	≤0,02
14	Cromo totale	mg/L	≤2	≤4
15	Cromo VI	mg/L	≤0,2	≤0,20
16	Ferro	mg/L	≤2	≤4
17	Manganese	mg/L	≤2	≤4
18	Mercurio	mg/L	≤0,005	≤0,005
19	Nichel	mg/L	≤2	≤4
20	Piombo	mg/L	≤0,2	≤0,3
21	Rame	mg/L	≤0,1	≤0,4
22	Selenio	mg/L	≤0,03	≤0,03
23	Stagno	mg/L	≤10	
24	Zinco	mg/L	≤0,5	≤1,0

**VALORI LIMITI DI EMISSIONE IN ACQUE SUPERFICIALI E IN
FOGNATURA D. Lgs. 152/06 (Parte terza, Allegato 5, Tabella 3.)**

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
25	Cianuri totali come (CN)	mg/L	≤0,5	≤1,0
26	Cloro attivo libero	mg/L	≤0,2	≤0,3
27	Solfuri (come H ₂ S)	mg/L	≤1	≤2
28	Solfiti (come SO ₃)	mg/L	≤1	≤2
29	Solfati (come SO ₄) [3]	mg/L	≤1000	≤1000
30	Cloruri [3]	mg/L	≤1200	≤1200
31	Fluoruri	mg/L	≤6	≤12
32	Fosforo totale (come P) [2]	mg/L	≤10	≤10
33	Azoto ammoniacale (come NH ₄) [2]	mg/L	≤15	≤30
34	Azoto nitroso (come N) [2]	mg/L	≤0,6	≤0,6
35	Azoto nitrico (come N) [2]	mg/L	≤20	≤30

**VALORI LIMITI DI EMISSIONE IN ACQUE SUPERFICIALI E IN
FOGNATURA D. Lgs. 152/06 (Parte terza, Allegato 5, Tabella 3.)**

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
36	Grassi e olii animali/vegetali	mg/L	≤20	≤40
37	Idrocarburi totali	mg/L	≤5	≤10
38	Fenoli	mg/L	≤0,5	≤1
39	Aldeidi	mg/L	≤1	≤2
40	Solventi organici aromatici	mg/L	≤0,2	≤0,4
41	Solventi organici azotati [4]	mg/L	≤0,1	≤0,2
42	Tensioattivi totali	mg/L	≤2	≤4
43	Pesticidi fosforati	mg/L	≤0,10	≤0,10
44	Pesticidi totali (esclusi i fosforati) [5]	mg/L	≤0,05	≤0,05
	tra cui:			
45	- aldrin	mg/L	≤0,01	≤0,01
46	- dieldrin	mg/L	≤0,01	≤0,01
47	- endrin	mg/L	≤0,002	≤0,002
48	- isodrin	mg/L	≤0,002	≤0,002
49	Solventi clorurati [5]	mg/L	≤1	≤2

**VALORI LIMITI DI EMISSIONE IN ACQUE SUPERFICIALI E IN
FOGNATURA D. Lgs 152/06 (Parte terza, Allegato 5, Tabella 3.)**

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
50	Escherichia coli [4]	UFC/ 100mL	nota	
51	Saggio di tossicità acuta [5]		il campione non é accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili uguale o maggiore del 50% del totale	il campione non e accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore: è del 80% del totale

(⁴) In sede di autorizzazione allo scarico dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5000 UFC/100 mL.

2. CLASSIFICAZIONE DEI SOLIDI DA RIMUOVERE

Le sostanze da trattare ed eliminare nel ciclo di trattamento acque possono essere sedimentabili oppure non sedimentabili, le prime sedimentabili sono sostanze solide più pesanti dell'acqua per cui se il flusso del refluo nel trattamento è nullo o quasi è facile intuire che esse si depositano sul fondo precipitando; le sostanze non sedimentabili logicamente galleggiano oppure in parte rimangono in soluzione allo stato colloidale.

La forma delle sostanze colloidali si può considerare una fase intermedia tra lo stato di sospensione e lo stato di soluzione.

I solidi sospesi misurati in mg/l sono circa il 30% ed i solidi filtrabili sono circa il 70 %.

I solidi sospesi sono a loro volta composti da solidi sedimentabili al 75% circa (tra loro il rapporto tra solidi sedimentabili organici e sedimentabili inorganici è 3:1), mentre i solidi non sedimentabili sono circa il 25% (ed il rapporto tra solidi non sedimentabili organici e solidi non sedimentabili inorganici è 3:1).

Per quanto riguarda i solidi filtrabili la percentuale si aggira al 70% composta da un 10% di filtrabili colloidali e da un 90% di filtrabili disciolti. anche qui si fa la distinzione tra i solidi filtrabili colloidali (con rapporto tra organici e inorganici di 4:1) e tra solidi filtrabili disciolti con rapporto tra organici e inorganici è circa 1:2.

3. IMPIANTI DI DEPURAZIONE

L'impianto di depurazione acque e reflui generalmente sono costruiti in cemento armato (calcestruzzo), attrezzati con tutto i componenti per il buon funzionamento del processo (pompe, coclee, etc.) e dimensionato in un certo numero di vasche per svolgere l'attività di depurazione con sufficiente tempo (polmone di sicurezza) considerando le anomalie che si possono incontrare nelle varie situazioni di emergenza.

Normalmente l'impianto trattamento reflui si divide in due linee che sono la linea acque e la linea fanghi.

Nella linea acque troviamo un pretrattamento, un trattamento ossidativo biologico e dei trattamenti ulteriori.

Il pretrattamento è una lavorazione di tipo prettamente fisica perché comprende la eliminazione dei contaminanti più corposi di quelli sedimentabili, troviamo quindi le fasi di grigliatura, disabbatura, di sgrassatura e la sedimentazione primaria.

- 3.1- Nel trattamento ossidativo biologico invece vi è la rimozione degli inquinanti organici sedimentabili e non sedimentabili contenuti nelle acque in entrata, qui vi troviamo l'aerazione e la sedimentazione secondaria.
- 3.2- Nel trattamento biologico il processo di epurazione si esegue con microorganismi presenti nel ciclo acqua, questa parte permette la separazione dei solidi disciolti.
- 3.3- I trattamenti ulteriori sono costituiti da tutte le fasi ante/post ossidazione biologica che permettono di abbassare il grado di depurazione. Possono essere costituiti da trattamenti particolari che sono idonei ad abbattere contaminanti non altrimenti eliminabili nelle antecedenti fasi.
- 3.4- La linea fanghi tratta i fanghi separati dal refluo chiarificato che si ottiene nelle fasi di sedimentazione della linea acque. In questa fase si vuole separare più acqua possibile dal fango in modo da ridurre i volumi, stabilizzare lo stesso fango in maniera che non si alteri decomponendosi nella sua parte organica, ed eliminare i microrganismi indesiderati presenti per poter arrivare allo smaltimento del materiale nel modo più economico e meno impattante sull'ambiente.

Le acque finali del trattamento sono poi convogliate all'uscita in un canale industriale od altro ricettore rispettando le tabelle ambientali come già detto.

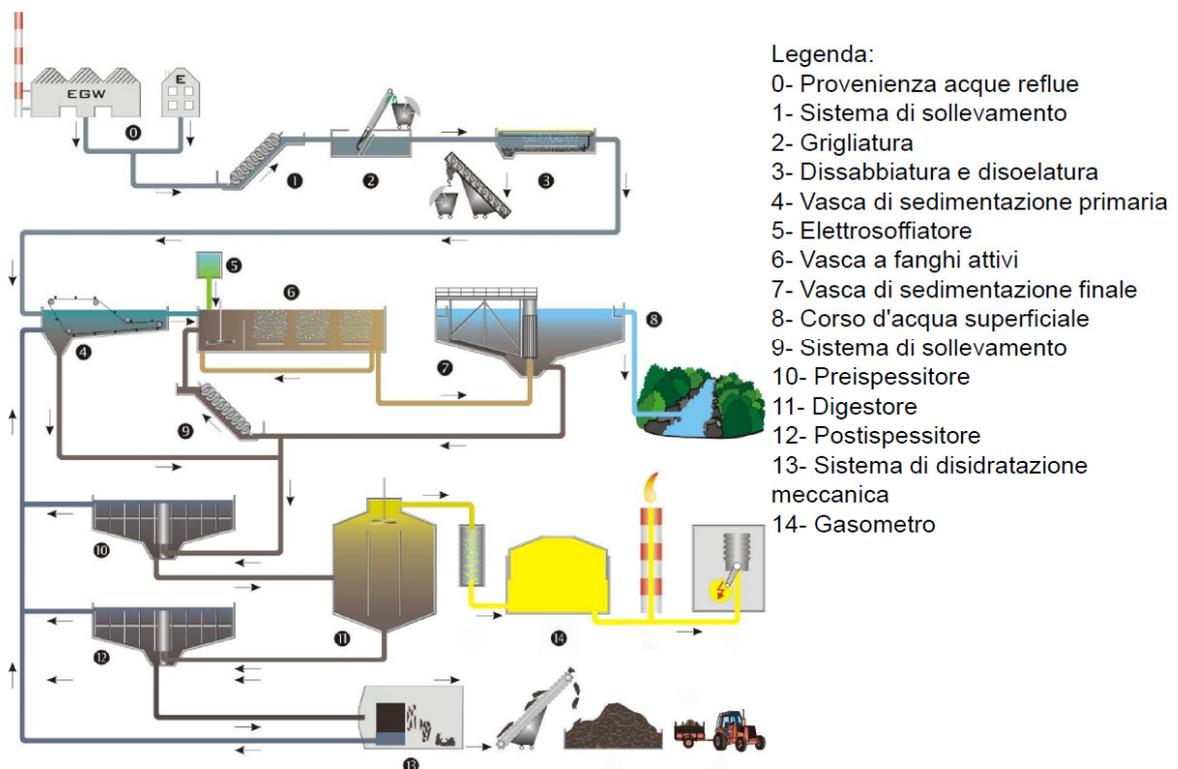
3.5- Il trattamento di processo nell'impianto di depurazione può essere di tipo meccanico oppure chimico e biologico.

Il trattamento meccanico utilizza principi fisici e meccanici con intenzioni di pulizia preliminare alla rimozione di solidi disciolti.

Il trattamento chimico è incentrato sull'utilizzo aggiuntivo di sostanze che hanno il compito di aiutare o produrre reazioni chimiche per raggiungere determinati obiettivi come la neutralizzazione del pH dell'acqua, oppure favorire la precipitazione dei solidi sospesi e la disinfezione per evitare il proliferare di alghe, muffe o patogeni indesiderati.

Il trattamento biologico nel suo processo di depurazione si basa sull'utilizzo di microrganismi presenti nell'acqua atti a svolgere la separazione dei solidi disciolti.

PROCESSO AEROBICO + PROCESSO ANAEROBICO



4. PRETRATTAMENTI MECCANICI

Nei pretrattamenti meccanici troviamo la grigliatura/stacciatura, disabbiatura, disoleatura, equalizzazione ed omogeneizzazione, sedimentazione primaria. Questi trattamenti sono logicamente a monte del ciclo poiché a causa delle dimensioni e del tipo di sporco che viene tolto, si provocherebbero danneggiamenti nelle fasi successive.

4.1- GRIGLIATURA

La grigliatura è un'operazione di pulizia meccanica grossolana che ha come intento trattenere i contaminanti non sedimentabili (plastica, legno, etc.) ed i solidi grossolani sedimentabili (sassi, materiale ferroso, etc.).

Questo trattamento è necessario per evitare accumuli di materiale indesiderato che può provocare mal funzionamenti nel ciclo come occlusione di tubature e giranti di pompe etc. La griglia viene sempre installata a valle dell'uscita del refluo finale, essa è sempre inclinata e dimensionata in modo da far mantenere una velocità di scolo acque $v = 0,6-0,9$ m/s, per poter funzionare bene. Infatti se la velocità risulta troppo bassa si possono ottenere delle sedimentazioni a monte del canale di scolo, mentre se risulta troppa alta la velocità si possono ottenere delle perdite di carico.

Di solito le dimensioni delle griglie, rispettando l'interasse di dimensionamento che regola la portata, possono essere sottili, medie, grosse (1-2,5 cm, 2,5-5 cm, 5-10 cm). Solitamente si parte dalla zona più grossolana per arrivare a quella più fine.

Le griglie possono avere una pulizia manuale oppure meccanica attraverso una spazzola dentata che gira in senso rotatorio e preleva il contaminante facendolo cadere in una vasca di raccolta o bidone apposito.

4.2- STACCIATURA

La stacciatura è un procedimento di pulizia simile alla grigliatura ma con un sistema di cilindri rotanti muniti di tele filtranti.

Esistono due tipi di stacci che sono a tazza o a tamburo.

Negli stacci a tazza il refluo percorre in senso coassiale il tamburo, i solidi aderiscono al cilindro cadendo poi in una canaletta attraverso degli spruzzi di acqua.

Negli stacci a tamburo il refluo percorre in senso ortogonale (angolo retto) il tamburo ed i solidi sono trattenuti sulla superficie esterna del cilindro e sono eliminati dalla superficie di contatto in modo automatico.

4.3 DISABBIATURA

La disabbiatura viene praticata per eliminare i contaminanti come sassolini, vetro a piccoli pezzi, parti di materiale ferrosi o altro di diametro maggiore di 0,2 mm che potrebbero anche questi provocare problemi fisici all'impianto come intasamenti oppure abrasioni indesiderate nelle parti meccaniche in rotazione-mobili.

La disabbiatura viene svolta in vasche nelle quali il materiale si deposita abbastanza brevemente sul fondo per differenza di peso specifico cioè il peso dei contaminanti è maggiore a quello dell'acqua. Dal momento che il materiale che sedimenta è di tipo granuloso non interferisce con le altre particelle ed il moto che ne risulta è fluido e regolare. La velocità di sedimentazione è dettata con approssimazione dalla legge di Stokes la quale ipotizza che le dimensioni delle particelle del contaminante siano sferiche ed il liquido si trovi in condizione di quiete a temperatura costante, per cui il moto di discesa non viene condizionato dalla presenza di altre particelle né dal contatto con le pareti della vasca.

Il disabbiatore è una vasca di cemento armato dimensionato in modo tale che il refluo lo attraversi con velocità tali da permettere la decantazione di materiali solidi o trasportati nel fondo con valore di diametro che varia da 0,2-2,4 mm, cercando di contenere il deposito delle sostanze organiche che decantano assieme agli stessi contaminanti.

Le vasche di disabbiatura sono solitamente dimensionate di 20-30 volte in lunghezza rispetto alla profondità dell'acqua con un flusso medio che ha valori di velocità tra 20-30 cm/s (solitamente esistono possibilità di regolare le portate in entrata).

La pulizia del materiale può avvenire manualmente o meccanicamente con coclee o raschiatori. In genere, visto la problematica di spazio, i disabbiatori negli impianti attuali

vengono costruiti a sezione circolare con tramoggia sul fondo con determinate configurazioni che permettono flussi particolari i quali agevolano la fase sedimentaria.

4.4- DISOLEAZIONE O SGRASSATURA

La disoleazione o sgrassatura serve per eliminare oli e grassi che possono interferire con il processo di trattamento biologico perché i grassi tendono a rivestire le sostanze biologiche con un film protettivo che impedisce alle sostanze il contatto con l'ossigeno impedendone l'ossidazione.

Il principio di funzionamento della disoleazione si basa sul minor peso specifico in quanto i grassi essendo più leggeri risalgono in superficie e volendo, se sono in grosse quantità, si potrebbero anche riutilizzare.

Di solito gli oli vengono trattenuti con dei paraschiume ed eliminati, solitamente la loro quantità è modesta e la si trova associata ad altre sostanze solide che hanno superato in precedenza i pretrattamenti; nel caso particolare di deinking lo smaltimento è determinato con codice CER riferito ai rifiuti speciali.

Il procedimento di disoleazione si effettua in vasche dove viene insufflato aria da diffusori. L'aria stessa forma con le sostanze grasse una emulsione che migra verso la superficie e viene eliminata attraverso dispositivi meccanici che scaricano in pozzetti o raccoglitori appositi. In questa fase di pulizia si esegue anche una pre-aerazione del refluo.

4.5- EQUALIZZAZIONE ED OMOGENEIZZAZIONE

Con l'equalizzazione ed omogeneizzazione del refluo si intende la stabilizzazione di un refluo nelle sue varianti di portata e di carica inquinante variabile. Infatti con l'equalizzazione si stabilizzano le punte di portata, mentre con l'omogeneizzazione si stabilizzano le punte di inquinamento.

La vasca di contenimento per questa fase, sempre in calcestruzzo, deve essere dimensionata in modo tale da contenere i picchi di portata e di carica inquinante perché i processi biologici sono sensibili alla variabilità della concentrazione del bod5, per questo motivo la vasca di equalizzazione deve garantire al refluo un tempo necessario di permanenza.

In questo tempo di stazionamento il refluo subisce un trattamento di agitazione abbastanza energico tale da garantire una accettabile o ideale condizione di omogeneizzazione e di aerazione in modo da impedire condizioni negative ovvero la proliferazione di batteri indesiderati.

La vasca di omogeneizzazione potrebbe fungere anche da disabbiatore in quanto l'insufflazione di aria dal basso, non essendo esagerata, permette il deposito della sabbia facendo rimanere in sospensione i solidi organici.

La collocazione di tale vasca può essere ubicata on-line e cioè lungo la sequenza del flusso con tutta la portata da trattare, oppure off-line e cioè ubicata in altra zona accettando solo una parte del refluo da trattare, ma con tramoggia e sfioro per l'eccedenza da rimettere in ciclo.

In questo caso abbiamo costi energetici da considerare per mantenere tutto in agitazione

4.6- SEDIMENTAZIONE PRIMARIA

Nella sedimentazione primaria avviene la separazione dei solidi sospesi sedimentabili (SSS) attraverso la decantazione ed ottenendo una riduzione del bod5 del 30% circa; l'altro 70% verrà trattato attraverso il procedimento biologico.

Le vasche di sedimentazione normalmente non sono molto alte, questo per evitare che il vento sollevi i solidi depositati, hanno comunque un'altezza di minimo 1,8 metri e sono costruite in modo da osservare due cose principalmente e cioè: 1° non devono essere vasche troppo corte per non creare una disfunzione tra entrata ed uscita refluo in modo da evitare una riduzione del tempo di permanenza all'interno della stessa vasca; 2° non devono essere troppo larghe per evitare la formazione di spazi non interessati al flusso che potrebbero portare ristagni ed effetti di decomposizione del materiale stagnante.

Solitamente il dimensionamento garantisce un tempo di stazionamento del refluo che varia da 1-3 ore, mediamente si considera 2 ore.

Le vasche di sedimentazione a sezione circolare, (diametro solitamente minore di 20 metri) sono costituite da un ponte con raccoglitori che ruotano su un perno centrale e convogliando i fanghi verso il centro, in un pozzetto che corrisponde alla parte più profonda del sistema, dal quale vengono pompati al ciclo successivo di digestione; il refluo chiarificato invece procede nel ciclo, per sfioro, al trattamento biologico.

5. TRATTAMENTO OSSIDATIVO BIOLOGICO

Il trattamento ossidativo biologico permette attraverso microrganismi, la biodegradazione di tutte le sostanze organiche esistenti nel refluo trasformandole dopo depurazione in sostanze semplici e non dannose per l'ambiente.

Il sistema di depurazione in questa fase ricopia in modo più veloce ciò che succede in natura accorciando e velocizzando il tempo di trasformazione. I modi per effettuare l'ossidazione biologica sono sostanzialmente:

- 5.1 impianto di ossidazione biologica con letti percolatori o filtri percolatori;
- 5.2 impianti ad ossidazione biologica con fanghi attivi o fanghi biologici che ormai è il processo più usato perché ha una resa maggiore del 90% di abbattimento del BOD.

Un altro sistema per il trattamento ossidativo che si sta sviluppando sono le tecnologie MBR che in sintesi combina un tradizionale processo biologico a fanghi attivi con un processo di separazione a membrana ottenendo una microfiltrazione ed ultrafiltrazione e sostituendo di fatto il sedimentatore secondario. Le membrane porose dei filtri possono essere dense-micro-meso-macro porose con dimensione dei pori tra <1 nm (micron) fino a >50 nm.

Con questi valori si intuisce la qualità del refluo in effluente.

Questi sistemi si stanno diffondendo nell'industria alimentare anche se sono ancora abbastanza costosi e richiedono attenzione e costanza nel seguire il processo.

La classificazione degli impianti MBR si divide in: impianti MBBR, impianti a dischi biologici, impianti biologici a letto percolatore aerobico a flusso naturale.

Gli impianti MBR hanno membrane polimeriche con buona resistenza e poche variazioni al pH, non sono molto resistenti ai solventi organici e al cloro, le membrane possono essere organiche oppure inorganiche, naturali o sintetiche, solide o liquide. Le membrane possono avere anche carica elettrica residua ma devono essere pulite per non perdere la capacità di permettere il maggior flusso, quindi esigono lavaggi chimici, ad aria, in corrente oppure in controcorrente.

Gli impianti MBBR ovvero reattore a biomassa adesa a letto mobile, stanno sostituendo maggiormente i processi a fanghi attivi nel trattamento biologico del refluo. Le vasche, che sono i reattori biologici, hanno gli elementi che fanno da supporto sospesi e dispersi sui quali i microrganismi attecchiscono sviluppando un biofilm che è funzionale al carico organico del refluo in entrata; i supporti sono liberi di muoversi tra loro e all'interno della vasca.

La composizione del refluo in entrata associato al cambio del flusso ed al movimento di trasporto dei supporti fa variare la pellicola del film costituito da cellule microbiche in crescita insieme a produzione di polimeri extra cellulari che si insidiano nei substrati del biofilm con l'incremento dei substrati e dell'ossigeno.

Considerando il dimensionamento idrodinamico della vasca reattore si produce un distacco parziale dei film dal supporto chiamato distacco delle pellicole di spoglio, causato dalla predazione di organismi protozoi e metazoi insieme agli effetti di abrasione degli urti reciproci dei supporti ed alle forze perpendicolari dei fluidi che intaccano la superficie del film.

Il sistema MBBR può essere con o senza ricircolo del fango dal sedimentatore, può essere sistema puro non riciclando fango attivo, oppure ibrido o biomassa mista (adesa + sospesa).

L'impianto a dischi biologici (CBR) contattore biologico rotante è determinato da un sistema di depurazione biologica con biomassa adesa a supporto mobile è costituito da una serie di dischi in materiale sintetico, i quali ruotano lentamente immersi nel refluo per il 40% del loro diametro con velocità che variano da 2-5 giri/minuto, in questo modo la superficie di contatto dei biodischi alterna fasi di immersione liquida e di contatto con aria ossigenandosi per poi ritornare immerso ed adsorbire e metabolizzare le sostanze organiche e colloidali del refluo. In questa fase i microrganismi si depositano sul disco formando il microfilm di materiale organico che aumenta di continuo il suo spessore fino a cadere per distacco provocato dalla rotazione; la pellicola distaccata viene trasportata dal refluo e eliminata nella fase di sedimentazione secondaria.

I biodischi presentano dei vantaggi come: bassi consumi energetici (meno 40%); minimo impegno del personale di gestione; nessun problema di bulking; nessun problema odorigeno oppure di aerosol; minimo impatto ambientale poiché ogni disco è dotato di copertura.

6. IMPIANTO A FANGO ATTIVO

L'impianto a fango attivo è composto da una vasca di ossidazione o aereazione (oppure vasca a fanghi attivi) e costituisce il cuore del processo di depurazione biologica. La sostanza organica viene degradata attraverso i microrganismi che ossidano la parte organica, questi ultimi patogeni sono presenti nei fiocchi del fango e sono sospesi nella soluzione continuamente rimescolata ed ossigenata da una insufflazione continua ed energica che proviene da alcuni diffusori soffianti posti alla base della vasca.

Trascorso un certo tempo necessario, il fango viene inviato al sedimentatore secondario che separerà il fango attivo cioè quello che contiene ancora i microrganismi necessari alla depurazione biologica dal refluo chiarificato, ovvero l'acqua che ha subito il processo di depurazione biologica.

In questa fase si ottiene la nitrificazione dello ione ammonio a nitrato cioè da $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Gli impianti a letto percolatore appartengono al metodo di ossidazione biologica e si dividono in due categorie:

- 1- sistemi a biomassa sospesa nel quale i fiocchi sono liberi di muoversi nel refluo come nei fanghi attivi;
- 2 - sistemi a biomassa adesa nei quali la biomassa rimane adesa ad una superficie e possono avere supporti fissi oppure mobili es. Dischi biologici.

7. FASE OSSIDATIVA

La fase ossidativa è il procedimento più importante della depurazione perché sfrutta il metabolismo dei microrganismi aerobi esistente in colonie all'interno del refluo, per moltiplicarsi nutrendosi del contaminante organico. Questo procedimento di ossidazione necessita di grandi quantità di ossigeno per degradare la sostanza organica biodegradabile contenuta nella vasca. Più si presenta alto il valore di carica batterica organica all'interno del processo, maggiore sarà la richiesta di ossigeno dei batteri aerobi per effettuare la degradazione del materiale organico perché l'ossigeno viene in questa fase consumato velocemente e la solubilità dello stesso O_2 in acqua è relativamente bassa (a $20^\circ C$ abbiamo 9,1 mg di O_2 in 1 litro d'acqua). L'insufflazione/aerazione del refluo può essere meccanica, ad aria oppure a ossigeno; durante questa fase si ottengono più reazioni di biodegradazione nelle quali le sostanze complesse cedono molecole d'ossigeno trasformandosi in sostanze semplici come: anidride carbonica (CO_2), acqua (H_2O), catione ammonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-).

I batteri sono condizionati e selezionati dall'ambiente in cui vivono, per esempio con basse concentrazioni di ossigeno e sostanze organiche troviamo nitrosomonas e nitrobacter; con ambienti ricchi di carboidrati troviamo pseudomonas; in ambienti ricchi di proteine troviamo più generi come alcalinges, flavobacterium, bacillus. È da notare che una parte della degradazione si attua nel fango attivo per mezzo di esoenzimi che si alimentano di molecole organiche dalle quali traggono i loro fabbisogni energetici, quindi la turbolenza della vasca di ossidazione, che può essere anche meccanica, non deve mai essere esagerata per poter evitare la distruzione dei fiocchi ed il conseguente decesso dei microrganismi ospitati in essi. Per poter ottenere un'ottima resa dell'impianto di ossidazione si devono mantenere controllati alcuni parametri per i quali si ha la massima resa funzionale e cioè: pH neutro tra 6-8; ossigeno disciolto $>2\text{mg/l}$; temperature tra $25-32^\circ C$ con particolare attenzione nei mesi invernali.

8. SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

La sedimentazione secondaria serve per separare i fanghi biologici o attivi dalla rimanenza del refluo trattato e chiarificato dopo una permanenza degli stessi fanghi nella vasca di ossidazione.

Il fango secondario o biologico è sostanzialmente diverso dal fango primario perché nel secondo passaggio si ottiene la trasformazione batterica del refluo (prima non avveniva) ed esso è composto da fiocchi che essendo filamentosi sedimentano legandosi con altri fiocchi.

La velocità di sedimentazione non risponde alla legge di Stokes.

I fanghi secondari sono costituiti da biomassa come:

- 1-solidi sospesi sedimentabili (SSS),
- 2-solidi sospesi non sedimentabili (SSNS) non biodegradabili,
- 3-solidi sospesi non sedimentabili (SSNS) biodegradabili,
- 4-solidi disciolti (SDV) biodegradabili.

- i solidi sospesi sedimentabili che troviamo sono sostanze sfuggite al sedimentatore primario che non ha un rendimento del 100%;
- i solidi sospesi non sedimentabili non biodegradabili che troviamo sono sostanze resistenti o inattaccabili dai batteri che rimangono incorporati nella biomassa
- i solidi sospesi sedimentabili biodegradabili che troviamo sono quelle sostanze colloidali che attaccate e distrutte dai batteri si trasformano in biomassa.
- i solidi disciolti biodegradabili che troviamo sono quelle sostanze disciolte che attaccate e fagocitate dai batteri si trasformano in biomassa.

Il refluo della linea acque prosegue la sua depurazione con ulteriori trattamenti come la denitrificazione, la defosfatazione, la disinfezione.

A questo punto il fango sedimentato può percorrere varie strade: si può rimandare nella vasca di ossidazione; si può inviare in percentuale nel primo sedimentatore per migliorare le caratteristiche dei fanghi primari, si può inviare nella vasca di denitrificazione; si può inviare

nella vasca di defosfatazione; potrebbe subire un ispessimento; potrebbe subire la digestione anaerobica; potrebbe subire altri trattamenti a norma di legge utilizzati per uno smaltimento mirato.

9. ULTERIORI TRATTAMENTI

I trattamenti ulteriori sono attuati durante la prima fase di depurazione e si trovano a monte della vasca di ossidazione migliorando la qualità del fango biologico e conseguentemente il rendimento dell'ossidazione biologica. L'acqua chiarificata dopo essere stata trattata, può essere convogliata nella vasca di ossidazione biologica; il fango biologico può venire riciclato in percentuale per migliorare sempre la vasca di ossidazione.

I trattamenti ulteriori sono costituiti da trattamento chimico-fisico con:

- 9.1- chiariflocculazione;
- 9.2- trattamenti meccanici con filtrazione su carbone attivo oppure su filtri a sabbia;
- 9.3- trattamento biologico naturale con fitodepurazione e lagunaggio;
- 9.4- trattamenti biologici con nitrificazione, denitrificazione, defosfatazione;
- 9.5- trattamenti di disinfezione.

Per aiutare la sedimentazione si possono attuare trattamenti chimici-fisici sia nel sedimentatore primario sia nel secondario oppure in entrambi attraverso il processo di flocculazione.

Se nel refluo da trattare sono presenti quantità di azoto importanti che potrebbero causare l'aumento di sostanze nutritive (eutrofizzazione) e l'abbassamento della percentuale di ossigeno (anossia) per una zona idrica ricettrice nella quale si può sviluppare una proliferazione di alghe ed un abbassamento del tenore di ossigeno con la conseguente moria della fauna acquatica, si dovrà intervenire con la fase di denitrificazione svolta nell'apposita vasca a monte della vasca di ossidazione; mentre i fosfati subiranno un trattamento di defosfatazione nella loro relativa vasca; il trattamento finale sarà di disinfezione.

9.1.- CHIARIFLOCCULAZIONE

La chiariflocculazione è un procedimento nel quale le sostanze sospese non sedimentabili e sedimentabili danno origine ad aggregati maggiori come peso e dimensioni fino ad avere una precipitazione depositata sul fondo.

Questo processo permette la chiarificazione delle acque trattate, la precipitazione di metalli, la riduzione di COD e BOD, la riduzione o rimozione di fosforo, la rimozione di oli e grassi che rompendosi come emulsioni con l'acqua, salgono in superficie.

9.1.2- ABBATTIMENTO DELL'AZOTO TOTALE

L'azoto nelle acque reflue può presentarsi in varie forme come: azoto organico; azoto ammoniacale; azoto nitroso; azoto nitrico. Per eliminare l'azoto presente nei composti del refluo si deve procedere alla nitrificazione oppure alla denitrificazione.

Nel refluo l'azoto arriva in varie forme come ammonio (NH_4^+) se è stato biodegradato e deve essere portato a nitrato (NO_3^-) con il processo di denitrificazione come già anticipato.

Il procedimento di ossidazione per rimuovere le sostanze azotate avviene nella vasca di aereazione nella quale in condizioni aerobiche l'ammonio si ossida con l'ossigeno dando origine ad una reazione chimica e producendo nitrito che a sua volta reagendo ancora con l'ossigeno produce nitrato, ciò detto lo vediamo semplificato nello schema che segue: ammonio NH_4^+ che reagisce con $\text{O}_2 \rightarrow$ nitrito NO_2^- che reagisce con $\text{O}_2 \rightarrow$ nitrato NO_3^- . I nitrati (NO_3^-) potranno essere poi trasformati in azoto molecolare gassoso (N_2) attraverso batteri anaerobi cioè che reagiscono chimicamente in assenza di ossigeno disciolto nell'acqua ovvero in condizioni anossiche.

L'ossidazione è necessaria perché se il refluo andasse in emissario non ossidato, le sostanze inquinanti ossidandosi naturalmente assorbirebbero tramite reazione chimica ossigeno, quindi impoverirebbero l'ambiente stesso di ossigeno provocando per asfissia una moria fito-ittica.

9.1.2 - NITRIFICAZIONE

La nitrificazione può essere attuata nella vasca di aereazione, nella vasca di ossidazione oppure nella vasca dei fanghi attivi, essa viene effettuata da batteri di tipo: autotrofi, litotrofi ed aerobici che rappresentano il 4% di tutti i batteri presenti nel fango.

I batteri utilizzano per sintesi cellulare carbonio organico (CO₂) e traggono energia per il loro sviluppo dal procedimento di reazione ossidativa dell'ammonio in nitrito e del nitrito in nitrato.

Il batterio nitrosomonas è il responsabile della nitrosazione che ossida l'ammonio a nitrito:



Il batterio nitrobacter è il responsabile della nitrificazione che ossida il nitrito a nitrato: $\text{NO}_2^- + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Da notare che i batteri nitrobacter e nitrosomonas hanno una velocità di crescita e sviluppo molto più lenta rispetto ai batteri che ossidano le sostanze organiche principali (batteri chemioeterotrofi), quindi se non si permette lo stazionamento sufficientemente lungo, oppure il fango è giovane, si rischia di dilavare in continuità la massa fangosa negando ai batteri stessi i tempi di reazione chimica.

La velocità di nitrificazione, essendo ossidativa è legata alla quantità di ossigeno presente nella soluzione; la velocità di crescita batterica è legata invece al pH che deve rimanere per essere ottimale tra i valori 7-8; un altro punto essenziale è la temperatura che deve stazionare sui valori 25-32°C.

L'azoto residuo cioè il nitrato per essere denitrificato deve essere mandato in una vasca anossica dove il nitrato reagendo cede elettroni ossidando le sostanze organiche (carboidrati (CHO)_n) e producendo azoto molecolare (N₂), anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O).

I batteri fautori delle reazioni chimiche sono batteri eterotrofi anaerobi in specie: pseudomonas aeruginosa, pseudomonas denitrificans, paracoccus denitrificans, thiobacillus denitrificans.

È da ricordare che i batteri eterotrofi per poter svilupparsi hanno esigenze di carbonio organico per cui la massa fangosa non deve essere troppo povera di nutrienti oppure esausta (vecchia).

L'esigenza di contenuti ad alto residuo organico in denitrificazione fa sì che la vasca sia posta prima di quella di ossidazione, così facendo essa potrà contenere il refluo che non è stato ossidato quindi alti contenuti di carbonio organico, ed il refluo ossidato contenente i nitrati da convertire in azoto. Se invece la vasca di denitrificazione viene ubicata a valle da quella ossidativa, per mantenere la corretta quantità di nutrienti carbonici organici si potrà attraverso

un riciclo reflui, far confluire una parte di acque dal sedimentatore primario oppure bypassando in parte il secondario che soddisferanno le volute esigenze.

9.1.3- DEFOSFATAZIONE

il fosforo rispetto all'azoto non si può ridurre in forma gassosa e la normativa ambientale in materia stabilisce che la concentrazione non può superare i 10 mg/l come presenza nel refluo in emissario, poiché darebbe origine a fenomeni di eutrofizzazione cioè ad arricchimento di elementi nutritivi provocando effetti simili all'azoto, precedentemente descritti.

Il fosforo è presente in forme varie come ortofosfato (PO_4^{3-}) ed è legato a strutture con base di calcio (Ca), ferro (Fe), alluminio (Al); lo si trova anche in forma organica come acido umico, acido fulvico oppure come fosfolipidi. Attraverso la rottura della sua membrana cellulare (lisi cellulare), il fosforo rilascia fosfato.

Da notare che in un impianto normale a fanghi attivi si ottiene la rimozione del fosforo per riproduzione cellulare dal 20-30% e con trattamenti specifici si arriva ad una rimozione di circa il 90%.

La rimozione è deputata al trattamento chimico-fisico attraverso la chiari-flocculazione oppure al tipo di trattamento biologico (bpe).

9.1.4- DEFOSFATAZIONE CHIMICA

La defosfatazione chimica avviene come già anticipato con la chiari-flocculazione nella quale il fosforo si deposita in precipitati di fosfati insolubili e dove il refluo viene filtrato con dischi oppure teli o sabbia.

I prodotti usati in questo procedimento sono: calce spenta o idrossido di calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); solfato di alluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro di alluminio (AlCl_3) e policloruri basici di alluminio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$); solfato ferrico o cloruro ferrico con parte di calce spenta, che alza il pH, es. solfato ferrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Tutte queste reazioni danno origine a prodotti insolubili parzialmente o totalmente. L'ortofosfato come forma di fosfato può, in base ai valori del pH, farsi trovare come fosfato monocalcico ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$), come idrogenofosfato (HPO_4^{2-}), come acido fosforico (H_3PO_4). In un ambiente a pH acido possiamo trovare il fosfato come acido ortofosforico (H_3PO_4) mentre in ambiente a pH basico troviamo il fosfato in forma di

ortofosfato (PO_4^{3-}). Abbiamo capito che regolando il pH si può favorire la quantità di fosfati insolubili che però danno origine anche a notevoli quantità di precipitati come fanghi.

9.1.5- DEFOSFATAZIONE BIOLOGICA

La defosfatazione biologica si avvale dei batteri eterotrofi fosfo-accumulanti come nel genere *acinetobacter species* che accumulano fosforo sotto forma di polifosfati $(\text{HPO}_3)_n$ $(\text{HPO}_2)_n$.

Se il processo è sottoposto a cicli alternati aerobico-anaerobico, si possono ottenere surplus di accumuli di fosforo indesiderati.

Il refluo passa prima in ambiente anaerobico nel quale i solidi sospesi sedimentabili organici si separano, assieme alla degradazione anaerobica sempre delle sostanze organiche, secondariamente il refluo areato si avvia alla seconda sedimentazione a fanghi attivi, nella quale l'azoto e il substrato organico si ossidano.

Il procedimento chiamato Phoredox si avvale della rimozione simultanea di azoto e fosforo attraverso un reattore anaerobico in testa al ciclo ossidativo. Nella fase anaerobica, mancando ossigeno, i batteri si avvalgono dell'enzima polifosfatochinasi per alimentarsi degli ortofosfati rilasciando in acqua la volutina, essa non è altro che una grande quantità di polifosfati sotto forma di granuli. Nello stesso tempo i batteri si nutrono di poli-idrossidobutirrato (phb); in questo processo i batteri consumano i polifosfati delle loro cellule producendo ortofosfati nel refluo. Alla fine si otterrà una riduzione di fosforo con consumo di poli-idrossidobutirrato.

La defosfatazione biologica ha come vantaggio la minor quantità di fango prodotto confrontandosi con la precipitazione chimica, ha anche dei costi inferiori. Degno di nota è che il fosforo potrebbe essere abbattuto anche attraverso la fitodepurazione, pratica desueta ma usata già fin dal tempo dei romani in quanto nella Roma imperiale la cloaca massima veniva scaricata nelle paludi pontine per sfruttare la loro capacità depurante.

9.1.6- DISINFEZIONE

la disinfezione viene praticata nel refluo che deve immesso nell'effluente, per abbattere tutte le presenze di patogeni come: batteri, funghi, virus, spore, altri microrganismi non desiderati; essa avviene in vari sistemi come: clorazione, uso di acido peracetico, ozonizzazione, attinizzazione.

1- la clorazione viene effettuata con cloro sotto forma molecolare (Cl_2), ipoclorito di sodio (NaClO), biossido di cloro (ClO_2), cloroammine come (NH_2Cl) (NHCl_2), tutte queste sostanze reagiscono inattivando i microrganismi ed ossidando le sostanze organiche e inorganiche.

La disinfezione con cloro rappresenta il procedimento più diffuso per la depurazione microbiologica dell'acqua. In presenza di ammoniaca il potere di disinfezione si affievolisce.

2- l'acido peracetico (CH_3COOOH) deriva dalla reazione del perossido di idrogeno (H_2O_2) con l'anidride acetica ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) ed è un biocida che agisce sulle strutture cellulari alterandole.

3- l'ozonizzazione è un metodo costoso poiché l'ozono (O_3) viene scisso, con l'utilizzo di energia elettrica ad alto voltaggio, in atomi di ossigeno chiamati radicali, i quali daranno origine ad una molecola di ozono dopo aver precedentemente reagito ed essersi ricostituiti con l'ossigeno molecolare (O_2). La molecola di ozono ricostituita è molto instabile ed aggressiva. L'ozono è efficace oltre che per l'abbattimento di odori anche nei confronti di batteri e virus.

4- l'attinizzazione rappresenta il massimo dell'azione battericida e biocida nei confronti di batteri, spore, virus, funghi, nematodi. Essa sfrutta l'azione di lampade a raggi UV-c, è un procedimento molto costoso (è usato soprattutto in ospedale) anche se garantisce ottime qualità di disinfezione; con questo sistema si possono trattare fino $100\text{m}^3/\text{h}$.

Sono usati anche i raggi gamma e con questo trattamento si ottiene la rottura e la mutazione degli acidi nucleici, direttamente o indirettamente con l'ossigeno che si produce dalla ionizzazione.

10. TRATTAMENTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

Il trattamento dei fanghi di depurazione serve a migliorare le qualità dei fanghi perché possa essere smaltito correttamente attraverso processi chimici, biologici, fisico/termico. Nel nostro caso i processi si possono dividere in due categorie:

- 1- i processi di separazione che hanno come scopo dividere la parte liquida da quella solida dei fanghi;
- 2- il processo di conversione ha come scopo modificare le caratteristiche dei fanghi per agevolare i trattamenti che seguiranno.

I trattamenti principali dei fanghi attuati sono:

- ispessimento;
- stabilizzazione biologica con digestione aerobica-anaerobica;
- condizionamento;
- disidratazione con metodo centrifugo, per filtrazione, pressatura meccanica, per essiccamento.

Le tipologie dei fanghi sono essenzialmente tre:

- 1- fanghi primari che derivano dalla sedimentazione primaria, contengono il 4% di solidi e il 96% di umidità, sono ottimi per produrre biogas in quanto si degradano più velocemente con metodo anaerobico;
- 2- fanghi secondari, biologici o attivi che derivano dalla sedimentazione secondaria e sono costituiti da fanghi fioccosi con meno elementi solidi 1% e 99% di umidità, ricchi però di azoto e fosforo;
- 3- fanghi chimici derivati dal processo di chiariflocculazione.

L'umidità totale dei vari fanghi raggiunge il 96-99 %, è necessario quindi un addensamento successivo.

11. ADDENSAMENTO FANGHI

L'addensamento dei fanghi serve per ridurre il volume dei fanghi per le lavorazioni a seguire, mentre con l'ispessimento si toglie più acqua possibile.

Un sistema parallelo all'ispessimento è la flottazione che riguarda i fanghi in surplus derivati dalla sedimentazione secondaria.

12. DIGESTIONE FANGHI

La digestione dei fanghi si divide in aerobica e anaerobica e fanno parte del processo metabolico nel quale il contenuto organico putrescibile dei fanghi primari e secondari si trasforma in sostanze più semplici.

Le vasche che si prestano a tale funzione si denominano digestori. Dopo la digestione si potrebbe smaltire il fango con lagunaggio (stagni di ossidazione biologici) oppure su terreno avendo a disposizione grandi metrature in estensione ma contemporaneamente mantenere accurati controlli per non inquinare.

13. CONDIZIONAMENTO FANGHI

Il condizionamento è un metodo utilizzato prima di disidratare i fanghi poiché migliora la filtrabilità dei fanghi e può essere: chimico; fisico (maggiormente usato); organico.

Ricordiamo che i fanghi primari derivano da depuratore chimico-fisico ed i fanghi secondari derivano dal depuratore biologico

14. DISIDRATAZIONE FANGHI

La disidratazione o essiccamento riduce la quantità di acqua contenuta nei fanghi e può essere meccanica o naturale: nella meccanica si usano centrifughe, filtropresse, nastropresse e filtrazione sottovuoto;

15. ESSICCAMENTO FANGHI

Nella essiccazione naturale vengono impiegati i letti di essiccamento cioè in un'apposita vasca nella quale il fondo è costituito da elementi drenanti come ghiaia e sabbia disposti dall'alto verso il basso in ordine granulometrico da fine a grossolano (3 strati per 25 cm di altezza totali).

In questo modo il fango digerito viene posto sopra al letto in strati di 20-30 cm e si potrà essiccare attraverso il drenaggio e l'evaporazione. Notiamo che in questo caso per grosse quantità servono diverse vasche.

Il liquido percolato viene rimesso in ciclo reflui. Da notare l'utilizzo di tettoie per il mal tempo ed il diverso tempo di essiccazione che aumenta tra fanghi primari, secondari e vecchi, dovuto alle peculiari capacità di drenaggio.

Una attenzione da considerare è la copertura dei letti essiccati con coperture trasparenti (nylon) che producono un effetto serra aumentando la resa di essiccazione del 50%.

Al termine la concentrazione dei solidi nei fanghi essiccati è il 50-70%, la rimozione totale avviene con mezzi meccanici.

L' incenerimento, rimanendo un processo di essiccazione, viene utilizzato per lo smaltimento dei fanghi.

Altri modi di smaltire i fanghi sono: la discarica 55%, il compostaggio in natura 33% osservando d.lgs n. 152/2006; inceneritore 12%.

16. ABBATTIMENTO DEGLI ODORI MOLESTI

Gli odori molesti originati dagli impianti di depurazione si verificano nei suddetti punti:

- 1- dove viene stoccato il materiale organico sedimentazione primaria, pozzetti, impianti di sollevamento);
- 2- nelle fasi dove il fango permane più a lungo (ispessitori, digestori aerobi);
- 3- nei luoghi dove sono agevolati i fenomeni di volatilizzazione;
- 4 - dove vi è la disidratazione dei fanghi.

Le sostanze odorigene a causa di situazioni anaerobiche, per varie cause come scarse portate, pendenze ridotte, elevate temperature, producono sostanze gassose di natura organica molto volatili e producono sostanze gassose di natura inorganica da batteri anaerobi dall'impianto di depurazione e da quello fognario.

Le principali sostanze che causano il problema odorigeno sono:

- 1- ammoniaca con odore pungente;
- 2- acido solfidrico con odore di uova marce,
- 3- ammine con odore di pesce morto;
- 4- mercaptani con odore di cavolo decomposto;
- 5- scatolo e indolo con odore fecale,
- 6- dimetil-solfuro con odore di vegetali decomposti.

Per eliminare tutti i cattivi odori e rendere l'ambiente lavorativo più salubre nonché anche quello esterno, si provvede all'aspirazione dell'aria fetida che verrà trattata per:

- 1- adsorbimento con filtri a carbone attivo;
- 2- ossidazione termica con temperature di 600-800°C, nella quale con un tempo adeguato di permanenza si trasformano le odorigene in sostanze inodori come anidride carbonica, ossidi di zolfo ed azoto;
- 3- biofiltrazione dell'aria per effetto di filtri con microrganismi aerobici che ossidano biochimicamente gli inquinanti aereo dispersi,
- 4- il lavaggio chimico nel quale all'interno di una torre di lavaggio, l'aria viene introdotta dal basso mentre in controcorrente viene nebulizzata acqua., in questo modo le sostanze solubili in acqua come l'ammoniaca ed acidi organici, passano nella fase liquida. Il sistema si può ripetere in più stadi per ottimizzare il lavaggio stesso.

17. FATTORI DETERMINANTI PER IL DIMENSIONAMENTO DEL DEPURATORE

Il dimensionamento di un depuratore deve essere progettato per una durata di esercizio di almeno 25-30 anni con parametri da conoscere come:

- carico idraulico in metri cubi,
- eventi meteorologici,
- carico organico complessivo espresso in BOD5 e COD (per metro cubo);
- carico di nutrienti,
- inquinanti presenti eventuali come oli, metalli pesanti, detersivi;
- parametri che condizionano gli inquinanti e loro abbattimento come pH, O₂ disciolto,
- conducibilità,
- temperatura;

- vasca prima pioggia;
- scolmatore cioè una vasca idonea ricevente i reflui a monte dell'impianto di depurazione che provveda ad alleggerire il surplus dell'impianto provocato da fenomeni di pioggia prolungata, che potrebbe mettere in difficoltà la portata di epurazione nella sua totalità.

18. CONSIDERAZIONI SULL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE IN CARTIERA

1- Lo scopo dell'impianto biologico è di abbassare i valori di COD, e di BOD, sotto ai valori di legge trasformando le sostanze organiche solubili in gas oppure in materiale sedimentato (fango attivo). L'operazione è compiuta come abbiamo già visto da microrganismi (batteri) dispersi in acqua o adesi a dei supporti, (ricordando che il rapporto BOD/ COD esprime la biodegradabilità).

Il COD esprime la domanda di ossigeno chimico in (mg) di ossigeno necessario per ossidare tutte le sostanze ossidabili in 1 litro di refluo all'atto del prelievo (ppm O₂ - mg/l O₂).

Il BOD esprime la domanda di ossigeno biologico in (mg) consumata dai microrganismi aerobi nella degradazione ossidativa di materiale organico biodegradabile, presenti in 1 litro di refluo al momento del prelievo (mg/l O₂ – ppm O₂).

2- Il BOD₅ ed il BOD₂₁ sono riferimenti ad un certo intervallo di tempo (5 e 21 giorni). Il BOD₅ si riferisce al valore misurato dopo 5 giorni ed è un indice indiretto ma affidabile della concentrazione della sostanza organica biodegradabile perché è stato verificato che rappresenta circa i 2/3 del totale presente nel campione. I valori normati sono BOD < 40 mg/l e per COD < 160 mg/l.

Il rapporto BOD/ COD come già detto rappresenta la biodegradabilità infatti con:

1- BOD/ COD > 0,60 (60%) = refluo biodegradabile;

2- BOD / COD = 0,25-0,6 refluo biodegradabile solo con microrganismi selezionati;

3- BOD / COD < 0,25 refluo scarsamente biodegradabile. Dato che il bicromato ossida anche le sostanze che non sarebbero state ossidate dall'ossigeno durante il periodo di determinazione del BOD, i valori del COD risultano sempre maggiori di quelli del BOD. Questo si verifica soprattutto in presenza di certe sostanze inorganiche e organiche ma non con sostanze difficilmente biodegradabili come lignina e cellulosa.

Una volta determinato un refluo con caratteristiche abbastanza uguali nel tempo, individuato una correlazione tra BOD5 e COD, si può procedere alla sola misura del COD perché più veloce e semplice infatti la misura del COD comporta 2 ore di lavoro. Ricordiamo che si può distinguere tra BOD solubile e BOD associato ai solidi sospesi, cioè il BOD solubile è quello che non viene rimosso dopo una filtrazione con membrana avente porosità di (0,45 nm), mentre il BOD non solubile è quello che dovrebbe essere il più possibile rimosso nel trattamento primario.

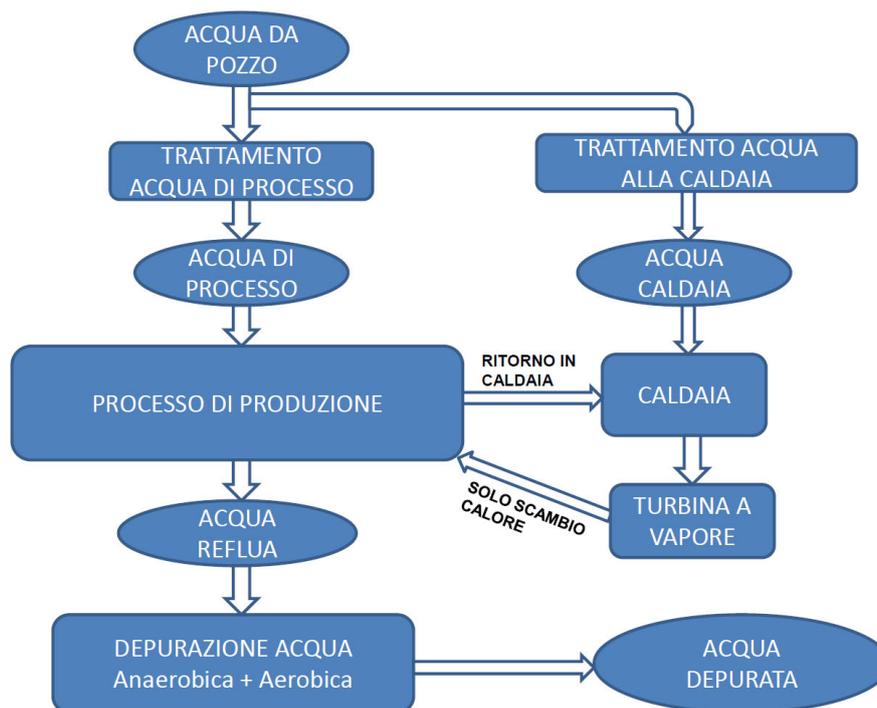
3- Il ciclo d'acqua può essere aperto: entrata acqua da pozzi ed uscita in refluo, oppure chiuso con riciclo di acqua nel ciclo e refluo minimo. Uno dei problemi del ciclo è la durezza totale dell'acqua ovvero il contenuto dei sali di calcio e magnesio contenuti in essa e misurati in gradi francesi (°F) ovvero (mg/l); da considerare che 1°F corrisponde a 10 ppm (gr/ton). Con le temperature sopra i 35-40°C si formano i carbonati di sale calcio - magnesio che precipitano dando origine ad incrostazioni ed impedendo lo scambio di calore. Le incrostazioni possono dare origine a processi di corrosione che è un processo elettrochimico nel quale avviene l'asportazione di metallo.

I trattamenti dell'acqua di processo sono:

- la filtrazione per i solidi sospesi,
- l'addolcimento della durezza totale con resine a scambio ionico, metodo della calce-soda e del fosfato;
- la deferrizzazione;
- la demanganizzazione,
- il degasaggio eliminando (CO₂) e (H₂S);
- la clorazione per i microrganismi e l'uso di carboni attivi per la riduzione del cloro libero.

Anche l'acqua della caldaia (c.t.e.) deve essere trattata con:

- 1- filtrazione per i solidi sospesi;
- 2- con osmosi inversa per ridurre i solidi disciolti;
- 3- addolcita per la durezza totale;
- 4- demineralizzata con resine a scambio ionico per ridurre il residuo fisso a 180°C (tds);
- 5- demanganizzazione;



ACQUA DI PROCESSO: caratteristiche

Caratteristiche	Valori	U.M.	NOTE
ASPETTO	limpida, incolore	-	assenza di sostanze colorate
ALCALINITÀ (CaCO ₃)	< 70	mg/L	
pH	6,5 – 7,3	-	
CO ₂ libera	< 10	mg/L (ppm)	Interferisce nella fase di formazione dei fogli
Cloro libero	< 2	mg/L (ppm)	
Durezza totale	< 10	°F	Problemi depositi di calcare sulle macchine, aumenta il consumo di allume [solfato di alluminio e potassio dodecaidrato KAl(SO ₄) ₂ ·12 H ₂ O], porta alla formazione di resinati che modificano le proprietà collanti
Ferro (Fe)	< 100	μg/L (ppb)	riduce la brillantezza e provoca ingiallimento della carta
Manganese (Mn)	< 50	μg/L (ppb)	
Ossidabilità (Kubel)	< 10	mg/L (ppm)	
Solidi totali disciolti (TDS)	< 200	mg/L (ppm)	
Silice	< 20	mg/L (ppm)	
Torbidità	4	NTU	Indice dei solidi sospesi
H ₂ S	< 1	mg/L (ppm)	Problemi di corrosione e alterazione caratteristiche della carta

ACQUA DI PROCESSO: TRATTAMENTI

Trattamenti	Inquinante	NOTE
FILTRAZIONE	Solidi sospesi	
ADDOLCIMENTO	Durezza totale	Metodo calce-soda Resine a scambio ionico (cationiche)
DEFERRIZZAZIONE	Ferro (Fe)	Aerazione Resine Zeoliti
DEMANGANIZZAZIONE	Manganese (Mn)	
DEGASAGGIO	CO ₂ e H ₂ S	
CLORAZIONE	Presenza di microrganismi	
CARBONI ATTIVI	Riduzione del cloro libero	

ACQUA CALDAIA: caratteristiche

Caratteristiche	U.M.	1-15 atm	15-25 atm	25-60 atm	60-100 atm	< 100 atm
Solidi sospesi	mg/L	0	0	0	0	0
Sostanze organiche	mg/L	100	25	10	5	5
Sostanze oleose	mg/L	3	3	1	1	1
Solidi totali disciolti (TDS)	mg/L	6000	2000	1500	1000	300
Durezza totale	°F	1	0,5	0,2	0,05	0,02
CO ₂ libera	mg/L	-	10	5	1	0,5
Ossigeno	mg/L	-	0,2	0,05	0,02	0,01
Silice (SiO ₂)	mg/L	30	25	0,6	0,5	0,3
pH	-	-	-	> 8	> 8	> 8

ACQUA CALDAIA: TRATTAMENTI

Trattamento	Inquinante	NOTE
FILTRAZIONE	Solidi sospesi	
OSMOSI INVERSA	Riduzione dei solidi disciolti	
ADDOLCIMENTO	Durezza totale	Metodo calce-soda Resine a scambio ionico (cationiche)
RESINE A SCAMBIO IONICO	Residuo fisso a 180°C (TDS)	acqua demineralizzata
DEFERRIZZAZIONE	Ferro (Fe)	Aerazione Resine Zeoliti
DEMANGANIZZAZIONE	Manganese (Mn)	
DEGASAGGIO	CO ₂ e H ₂ S	
CARBONI ATTIVI	Riduzione del cloro libero e sostanze organiche	

6- degassaggio per eliminare (CO₂) e (H₂S) e trattata con i carbone attivo per eliminare il cloro libero e le sostanze organiche.

I valori da considerare più importanti in centrale termo-elettrica per l'acqua di processo sono: rapporto silice/ossigeno e pH/CaCO₃.

4- Le vasche di prima pioggia sono vasche necessarie in cartiera deputate alla raccolta delle acque piovane all'interno della superficie aziendale. Quando piove i primi 5 mm di acqua (per superficie di piazzale) devono andare al biologico e la rimanenza nell'effluente. La vasca di prima pioggia deve essere svuotata entro 48 ore. All'interno del pozzetto vi è uno sfioro (5cm) che deve essere rispettato per normativa ed è soggetto al controllo arpa (rischio condanna penale). Il volume di contenimento della vasca deve essere costruito considerando 5m³/1000 m² di piazzale. Possiamo aggiungere che è assolutamente tassativo diluire il refluo in effluente (anche in questo caso c'è il penale), esso dovrebbe avere una temperatura ideale

di $<30^{\circ}\text{C}$ e non può essere immesso con differenza di temperatura ambientale dell'effluente stesso di 3°C in totale ($\Delta t = 3^{\circ}$ in uscita).

5- Il vantaggio dei cicli chiusi sono di tre tipi ovvero: vantaggi tecnici cioè si ottiene una riduzione di volume di acqua di processo e l'impianto per il trattamento è più piccolo; vantaggi economici con minor costi di trattamento acqua e minor perdite di fibre e cariche; vantaggi ambientali poiché vi è risparmio di energia.

6- Gli svantaggi però di un ciclo chiuso si possono così enumerare: aumenta l'accumulo in percentuale di sostanze dannose incidendo sulla qualità della carta e sulla macchinabilità; aumentano i contenuti di sali provocando effetti di corrosione; aumentano le temperature del ciclo acque a causa della favorita crescita dei microrganismi e delle sostanze solubili e colloidali.

7- i problemi che possono nascere dal processo di depurazione viene determinato da molteplici fattori come:

- 1- scarsa ossigenazione;
- 2- presenza di scarichi industriali tossici;
- 3- variazioni di carico organico eccessivo;
- 4- carenza di nutrienti;
- 5- presenza di solfuri;
- 6- variazioni di pH e temperatura in brevi tempi.

Il pH deve essere controllato giornalmente e non dovrebbe superare la variazione di ($\text{pH} = 0,2/\text{h}$) di variazione con Δ max di 0,4 totale. Se il valore è sempre stazionario è probabile che ci siano problemi di sonda che per sicurezza andrebbe sostituita ogni 6 mesi.

8- Nel ciclo reflui si possono avere delle problematiche che riportiamo:

- crescita dispersa nella quale i batteri non aderiscono più gli uni agli altri e la bioflocculazione è impedita;

- bulking viscoso nel quale i batteri producono elevate quantità di materiale extracellulare e danno origine a fiocchi di aspetto gelatinoso e trattengono grandi quantità di acqua;
- bulking filamentoso che si deve all'eccessiva proliferazione di batteri filamentosi assieme a batteri floccoformatori, in questo caso il fiocco si manifesta grande e ricco appunto di batteri filamentosi;
- note sul bulking: il rigonfiamento riduce la velocità di sedimentazione e la compattazione del fango sul fondo del sedimentatore secondario; quando il fango si ammala di bulking perde le sue capacità adsorbenti ed ossidanti diventando inadatto alla sua funzione depurante e sedimenta con fatica; in questo frangente si può operare sui dosaggi di sostanze correttive per evitare l'inibizione dei batteri saprofiti, per evitare appunto l'inefficienza della depurazione dell'acqua.

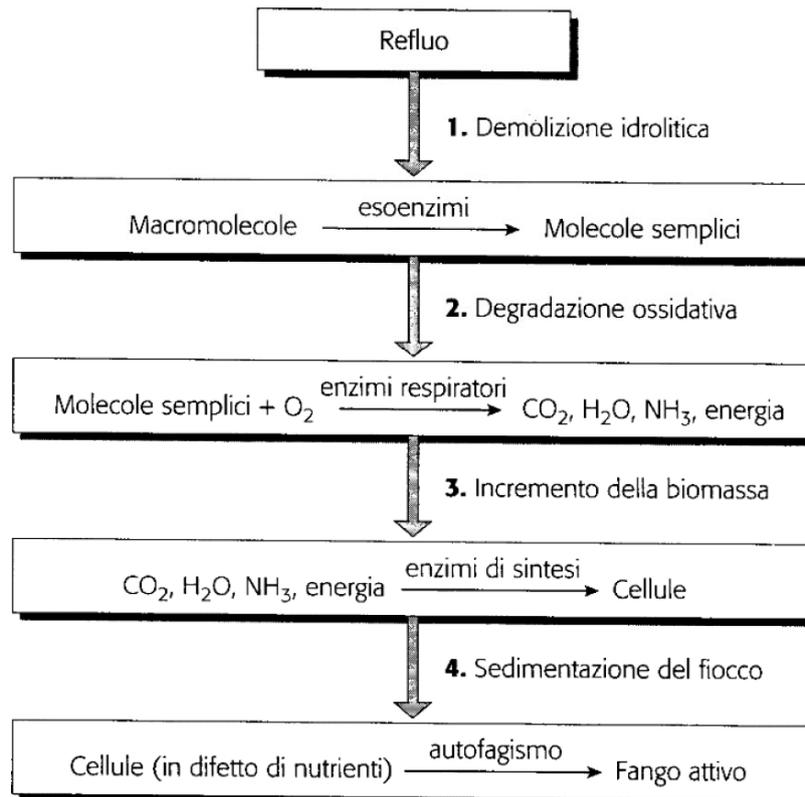
Si possono dosare: sostanze coagulanti come i sali di ferro (cloruro di ferro); ipoclorito di sodio oppure acqua ossigenata che sono prodotti tossici per i batteri filamentosi; aggiungere batteri selettivi liofilizzati.

Il bulking può provocare, se non controllato, fenomeni di trascinamento della biomassa con l'effluente e peggioramento della disidratabilità del fango;

- fiocchi pin point dovuto alle dimensioni molto ridotte dei fiocchi che producono un effluente morbido, in questo caso i batteri filamentosi sono quasi assenti; la coagulazione si presenta a pezzetti perché il polielettrolita non ha legato bene ciò vuol dire che il flocculante non è dosato bene oppure vi è una % di inquinante che non favorisce l'attività biologica.
- rising che corrisponde alla risalita e galleggiamento del fango dovuto alla denitrificazione la quale avviene sul fondo del sedimentatore secondario, i nitrati sollevano il fango che esce allo scarico.
- foaming cioè si formano delle schiume biologiche sulle parti del ciclo dove esiste aereazione e sulla superficie del sedimentatore, in questo caso il COD si manifesta alto come valore sbilanciando i nutrienti;
- indice di volume del fango (SVI) ed è un indice che viene misurato in laboratorio in base al volume occupato da un unità di fango sospeso dopo 30 minuti di sedimentazione, esso è espresso dal rapporto tra il volume di fango sedimentato e la quantità dei solidi sospesi:

(ml/l) / (mg/l), più è alto il valore e peggiori sono le caratteristiche di sedimentazione, lo SVI deve rimanere tra 60-150 ml/g; con $SVI = < 60 \text{ mg/l}$ otteniamo fiocchi pint point e con valori $SVI = > 150 \text{ mg/l}$ otteniamo effetto bulking.

Fasi della formazione del fiocco



SCHEMA BIOCHIMICO

SSV "sostanze solide volatili" si indica la quota di materia decomponibile rispetto a un certo quantitativo di materia prima introdotta nel digestore dell'impianto.

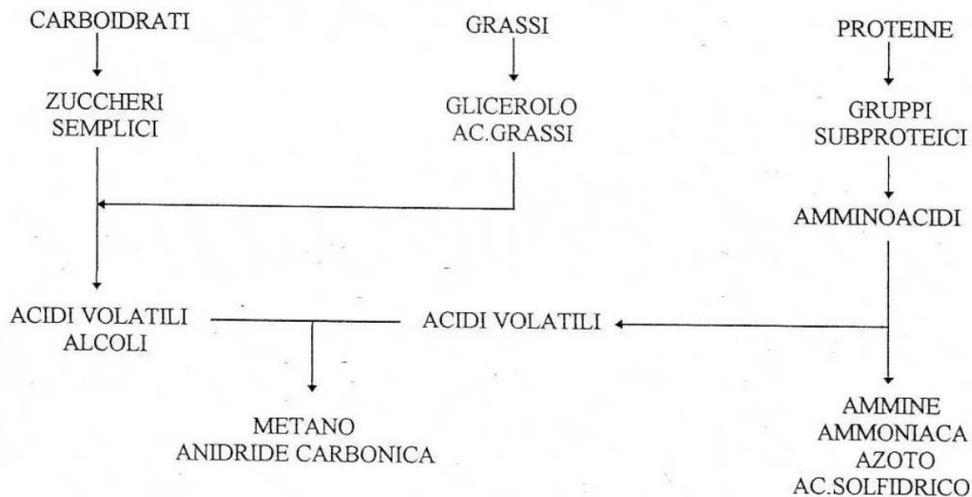


FIGURA n.1

9- Caratteristiche delle acque di cartiera

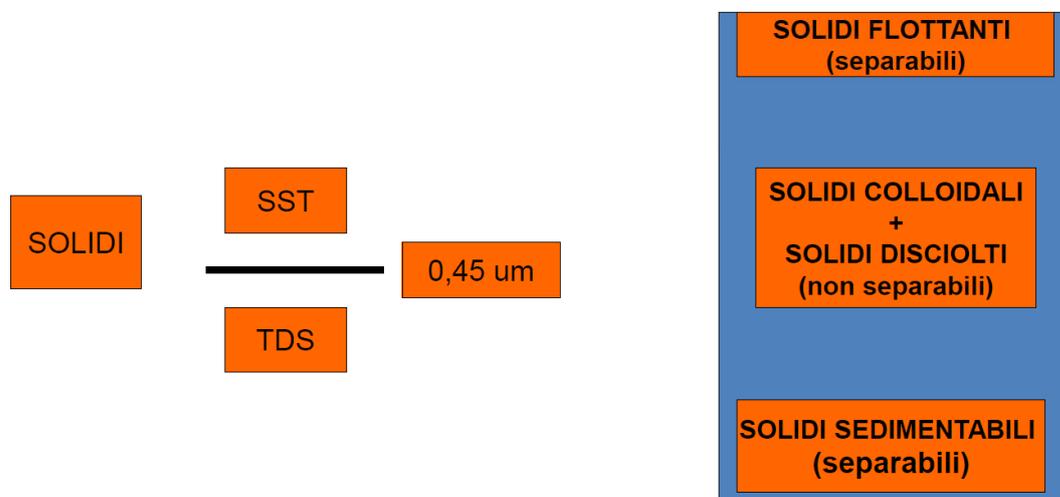
Le acque dell'industria cartaria sono caratterizzate dalla presenza di inquinanti in varie forme: sostanze flottanti che sono separabili; sostanze sedimentabili che sono separabili; sostanze colloidali + sostanze disciolte non separabili.

- i solidi totali disciolti (tds) sono ottenuti come contenuto di residuo, dopo evaporazione a 105°C su campione filtrato con membrana a (0,45 nm). Le sostanze disciolte sono normalmente sali inorganici (cloruri, solfati, calcio, etc.) Che non possono essere definiti come carico inquinante poiché si trovano nelle acque come sali. Da notare che gli inquinanti di tipo organico in cartiera sono quelli più problematici (es. amido disciolto), perché sono caratterizzati da un periodo di ossidazione molto lento ed innalzano moltissimo i livelli di COD/BOD. (attenzione!)
- i solidi sospesi totali (SST) rappresentano quella parte del materiale presente in sospensione in un campione di acqua che può essere separato per filtrazione, mediante un filtro a membrana con porosità di (0,45 nm). Si deve considerare che trattenere le sostanze

sospese grossolane evita il rischio di intasare tubazioni, valvole e pompe. Si possono aggiungere coagulanti e flocculanti per ridurre il tempo di sedimentazione con riduzione del 30% di COD e BOD.

- i solidi sospesi totali (TTS)

CARATTERISTICHE DELLE ACQUE DI SCARICO IN CARTIERA



I solidi sospesi totali si suddividono in:

1. solidi non separabili i quali rimangono in sospensione in un prefissato volume liquido tenuto a decantare per un tempo di un'ora e sono costituiti da sostanze di natura soprattutto colloidale. Le sostanze colloidali comprendono quella parte di solidi sospesi che non sedimentano se non in tempi lunghi (da ore ad anno solare) e sono filtrabili solo con filtri a membrana di 0,22-0,25 (nm). Esse sono caratterizzate da cariche elettriche negative che si respingono reciprocamente per cui è impossibile la loro separazione dall'acqua se non con l'ausilio di reagenti coagulanti come allume;
2. solidi separabili i quali sono separabili ad un preciso volume di liquido fatto decantare per il tempo di un'ora. A loro volta i solidi separabili si suddividono in:

2.1- solidi flottanti poiché presentano un peso specifico inferiore a quello del liquido nel quale sono presenti, per cui tendono a raccogliersi sulla superficie;

2.2- solidi sedimentabili che presentano una densità maggiore di quella del liquido in cui si trovano e quindi tendono a precipitare ed ad accumularsi sul fondo. Questi solidi tendono maggiormente a decantare quando la velocità di trasporto idraulico è abbastanza modesta dando origine a veri e propri depositi. Le sostanze sedimentabili sono costituite da fibre, cariche minerali come caolino, talco e solfato.

10- Microrganismi diversi tra loro li troviamo nelle vasche in cui confluiscono le acque da depurare ed i più importanti sono:

1- batteri che sono responsabili della formazione di colonie fiocose e della depurazione aerobica;

2- lieviti;

3- funghi che ostacolano la sedimentazione con la loro struttura filamentosa;

4- protozoi che sono predatori di batteri;

5- alghe le quali originano proliferazioni dannose.

Il fiocco di fango attivo si presenta come un insieme di particelle gelatinose di qualche millimetro che è formato da molecole organiche in via di decomposizione, composti inorganici allo stato colloidale, batteri in parte viventi.

11- Oligoelementi: sono necessari per la crescita delle cellule che hanno bisogno di azoto e fosforo per riprodursi. Se gli oligoelementi sono carenti occorre immetterli artificialmente sotto forma di sali oppure bisogna miscelare gli scarichi con quelli civili perché questi ultimi ne sono provvisti. Il rapporto ottimale per una buona depurazione è (BOD:n:p=100:5:1). Per mantenere costante il rapporto tra i nutrienti è necessario aggiungere i seguenti oligoelementi:

1- urea che è fonte di azoto;

2- acido fosforico che è fonte di fosforo;

3- idrossido di sodio che mantiene esatto il valore del pH.

Essi sono costituiti da:

- 1- urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) fonte di azoto, essa non da residui dell'impianto;
- 2- acido fosforico (H_3PO_4) e sale di potassio fosfato (K_3PO_4 con rapporto P/K = 3/1), che sono fonti di potassio (può influire sul pH);
- 3- idrossido di sodio o soda caustica (NaOH) (è una base) che mantiene il giusto valore di pH; ricordiamo che gli acidi abbassano il pH mentre le basi innalzano il pH.

12- Ossidazione biologica si effettua con solfato di alluminio ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3$) che è un coagulante e con il PAC policloruro di alluminio (Al_3^+) che è un flocculante. Il coagulante avvicina le molecole ed il flocculante le lega insieme; il flocculante con cariche elettriche forma una catena di polimeri molto grandi attraverso una rete di collegamenti che danno origine al fiocco.

13- Trattamento anaerobico: esso è caratterizzato dal fatto che la materia organica di scarico viene ridotta in situazione di assenza d'aria per la produzione di biogas ed ha una efficienza in termini di rimozione di COD che varia dal 75% al 90%; proprio per questo motivo è adatto per industrie con scarichi molto inquinanti soprattutto nelle parti disciolte (BOD in ingresso > 3/4000 ppm, se inferiore a BOD 3000 ppm in ingresso conviene il processo aerobico).

Il tempo del processo di depurazione necessita di 21 giorni mentre 8 giorni per quello aerobico. Il biogas prodotto, che può fornire un recupero anche del 30%, viene desolfurato ed inviato, dopo aver eliminata la condensa, ad un motore ciclo otto a combustione interna da quale si ricava energia elettrica e termica. Il rapporto che si ottiene nel recupero calore/energia varia da 2/1 a 3/1. I valori di ossigeno ottimali per questa fase sono di 2mg/l di O_2 per aver un buon funzionamento senza variazioni metaboliche dei microrganismi. Si deve considerare che nel processo anaerobico si forma acido solfidrico (H_2S) che è tossico, il quale se reagisce con ossigeno produce ($\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$) acido solforico che è corrosivo ed inoltre si forma anche ammoniaca (NH_3) che è corrosiva ed infiammabile.

La desolfurazione nel processo avviene invece con l'ossidazione dell'acido solfidrico ($2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$) cioè si forma zolfo elementare (2S) solido che verrà trattenuto da appositi

filtri. Nel biogas prodotto ci sono ancora quantità di acqua (< 60 grammi H₂O /l) che si toglie facendola condensare a 7-8°C.

Prodotti del processo anaerobico

Il biogas costituisce il prodotto di maggior interesse economico ed è formato da una miscela di:

CH ₄	metano	50-75 %
CO ₂	anidride carbonica	25-50 %
H ₂ O	vapore acqueo	3 %
N ₂	azoto	1 %
O ₂	ossigeno	0,3 %
H ₂	idrogeno	< 1 %
H ₂ S	acido solfidrico	0,1 %
NH ₃	ammoniaca	< 0,1 %

BIOGAS

Viene inviato, dopo desolforazione ed eliminazione della condensa, ad un **MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA** dal quale si ricava **ENERGIA ELETTRICA** ed **ENERGIA TERMICA**

Il biogas ha un potere calorifico compreso tra 15000 25000 KJ/m³.

14- Fasi anaerobiche che si distinguono in:

- 1- fase idrolitica cioè gli enzimi esocellulari dei batteri anaerobi facoltativi idrolizzano lipidi, glucidi e protidi dando acidi grassi, glicerolo, monosaccaridi ed amminoacidi. Il BOD aumenta perché siamo in presenza di sostanze più facilmente ossidabili, il volume del fango è stabile e si ha scarsa produzione di gas, in pratica si forma quasi solo (CO₂),
- 2- fase acidogena o fermentazione acida dove i batteri anaerobi facoltativi degradano, utilizzando le opportune vie metaboliche, i prodotti della prima fase ad acidi volatili, con, progressivo abbassamento del pH che se non tamponato può raggiungere valori prossimi a pH = 4,
- 3- fase alcalina o metanogenesi, questa è la fase più importante in quanto qui inizia la produzione di biogas. I batteri anaerobi obbligati (metaniferi), inizialmente poco numerosi

e molto sensibili alle condizioni ambientali, con l'aumento del pH tra pH 7-8, permettono ai batteri metaniferi di elevare il loro numero e di iniziare la fermentazione con la degradazione di acidi grassi e la produzione di biogas. Per elevare il pH vengono utilizzate le ammine prodotte nella seconda fase più (NH_3).

I valori da tenere sotto controllo sono:

- 1- temperatura mantenuta tra $30\text{-}42^\circ\text{C}$ (ed è questo il motivo che spinge ad installare il procedimento anaerobico prima di quello aerobico poiché si sfrutta la temperatura più elevata, viceversa nel processo aerobico, che richiede temperature ideali più basse ($10\text{-}20^\circ$ gradi) per permettere all'ossigeno di solubilizzarsi meglio in acqua, si richiederebbe uno spreco di energia per abbassare la temperatura);
 - 2- agitazione tenuta costante per mantenere una temperatura della biomassa, questo perché trattandosi di una reazione eterogenea contiene reagenti allo stato fisico diverso; pH con valore ottimale tra pH $6,5\text{-}8,5$. Se il pH scende sotto il valore pH $6,5$ aumenta la produzione di idrogeno ed acido solfidrico mentre si inattivano i microrganismi metaniferi se il pH sale sopra il valore pH $8,5$.
- 15- La nitrificazione e la denitrificazione: questi processi sono eseguiti in fase aerobica con ossigeno ed in fase anaerobica senza la presenza di ossigeno ridotta o quasi nulla ($\text{O}_2 = 0,3\text{-}0,5\%$).
- 1- la nitrificazione con ossigeno che è una ossidazione si può così riassumere: azoto ammoniacale (NH_4) \rightarrow ossigeno (O_2) \rightarrow azoto nitroso/nitrito (NO_2^-) \rightarrow ossigeno (O_2) \rightarrow azoto nitrico/nitrato (NO_3^-) che deve essere < 20 come indice.
 - 2- la denitrificazione equivale al processo inverso cioè ad una riduzione di ossigeno e si può esercitare come correzione con valori fuori norma (emergenza): azoto nitrico / nitrato (NO_3^-) \rightarrow ossigeno (O_2) \rightarrow nitrito/azoto nitroso (NO_2^-) \rightarrow ossigeno (O_2) \rightarrow azoto ammoniacale (NH_4^+).
 - 3- il nitrito (NO_2^-) è un indicatore del buon funzionamento dell'impianto e non deve superare il valore ($\text{NO}_2^- = <0,1$). Già con valori di ($\text{NO}_2^- = 0,2$) iniziano i problemi e si deve stare attenti.

16- Condizioni del trattamento anaerobico: la concentrazione di acidi grassi volatili (ACV) è espressa come concentrazione di acido acetico nell'unità di volume (mg/l oppure meq/l) ed è dipendente dalla qualità e dalla quantità delle matrici in ingresso insieme all'equilibrio tra batteri acidogeni e metanigeni.

Il valore ottimale AVG non deve superare i (15 meq/l), questo parametro non deve subire cambiamenti di valore veloci durante l'intero processo.

Il sistema tampone che è alla base dell'equilibrio in grado di far fronte alla riduzione del pH per effetto degli acidi grassi volatili prodotti, è dato dall'ammoniaca originata dalla degradazione di urea, di proteine ed aminoacidi e dallo ione bicarbonato (HCO_3^-) che si produce dalla dissoluzione della (CO_2) nel substrato.

L'alcalinità indica la capacità del processo di accettare protoni (H^+) e viene di norma espressa in concentrazione di carbonato di calcio (meq/l CaCO_3).

I valori ottimali di alcalinità non devono essere inferiori a 50 meq/l.

Il rapporto (AGV/alcalinità = $x = 0,3$) assume una valenza di tipo diagnostico, mettendo in relazione la capacità del sistema di produrre acidità ed alcalinità per effetto dell'evoluzione della digestione delle molecole con conseguente produzione di ammoniaca e ceneri.

Il valore ideale di tale rapporto è $x = 0,3$ ed indica una stabile attività del processo di digestione anaerobica.

L'ammoniaca originata dalla degradazione di proteine ed aminoacidi ad elevate concentrazioni, può inibire sia i batteri acidogeni che quelli metanigeni. La sua presenza è comunque importante per il contributo dato dalla capacità tampone del sistema. L'ammoniaca non è tossica con valori 200 -1500 mg/l, diventa a volte inibente con pH sotto pH 7,4 e valori da 1500 - 3000 mg/l.; sempre inibente con valori di $> 3000\text{mg/l}$.

17- Deinking e sbianca o imbianchimento delle fibre: per l'inchiostro bisogna considerare che esso nel 95% dei casi è apolare, se l'inchiostro è a base d'acqua è difficile eseguire la separazione dalla carta, per aiutare il procedimento si usa il sapone.

La ricetta comune per il processo di disinchiostrazione riferita con impasto al 1% di secco è:

- idrossido di sodio (NaOH) = 1-1.5 %,

- silicato di sodio ($\text{Na}_2 \text{SiO}_3$) = 1-1,5 %,
- complessanti dtpa, edta (Ca) = 0,2 %,
- perossido di idrogeno (H_2O_2) = 0,7-0,9 %,
- tensiottivi/saponi = 0,000-0,1 % ,
- acidi grassi = 0,4-0,6 %.

La sbianca può essere ossidante oppure riducente. Di solito si procede con due trattamenti ossidanti (che aumentano il bianco) ed uno finale riducente (che “sgiallisce” cioè toglie il giallo: con meno giallo per differenza otteniamo più bianco) per guadagnare 20-30 punti di grado di bianco.

- ossidante: soda (per il pH) + silicato (che mantiene) + perossido (che sbianca);
- riducente: idrosolfito di sodio (NaHSO_3) che dà meno giallo come già visto.

18- Prodotti ausiliari usati nel trattamento il trattamento delle acque può essere:

- 1- proattivo nel quale si usano prodotti su base regolare e vengono considerati parte integrale ed essenziale del processo;
- 2- reattivo (terapia chimica) nella quale si usano prodotti chimici in caso di problemi di resa dovuti alle limitazioni dell’impianto o dei con questi prodotti possono essere aggiunti in modo continuo oppure ad intermittenza.

18.1 Applicazioni proattive:

- controllo del pH che deve rimanere tra pH 6-9, per correggerlo si usano: acidi, soda, calce, allume. (I sovradosaggi di prodotti possono portare ad inibizione);
- nutrienti e micronutrienti per l’impianto biologico si possono annoverare in:
 - azoto come sali di ammonio, urea, nitrati;
 - fosforo come acido fosforico o ortofosfati;
 - composti a base di ammonio + fosforo che hanno un fissato rapporto tra loro (N:P = kost.) e prevalentemente sono i fertilizzanti,
 - ferro usato per il controllo dei filamentosi;
 - micronutrienti che sono inoculi cioè stimolano il processo.

- polimeri per la disidratazione per disidrattare meglio, per controllare il fango biologico asportato e per migliorare la resa della pressa fanghi.
- polimeri per il trattamento primario usati nel flottatore e nel chiarificatore primario per ridurre il BOD5 del 30%.

È importante sapere che la curva di flottazione, nel suo grafico ortogonale, esprime la massima resa con un tempo di 6 minuti, quindi se dobbiamo lavorare, ad esempio, 1000 l/min. Di refluo dobbiamo immettere 6000 litri al massimo, altrimenti si perde fibra perché siamo alla sommità della curva stessa.

- polimeri per il trattamento fanghi,
- clorazione e dechlorazione.

18.2 Applicazioni reattive o di terapia chimica:

- polimeri per la chiarificazione secondaria: cioè si usano flocculanti contro coagulanti e ausiliari per la decantazione contro ausiliari per la chiarificazione;
- composti ossidanti: si usano per il controllo dei filamentosi per bulking.

In questo caso si deve fare attenzione:

- al dosaggio ed al tempo di uso;
 - al punto di applicazione;
 - al cloro gas ed all'ipoclorito;
 - al biossido di cloro ed al perossido di idrogeno;
 - si deve monitorare al microscopio e controllare SVI;
 - si deve utilizzare batteri nutrienti;
 - bisogna individuare le cause dei fenomeni.
- antischiuma e disareanti: normalmente si usa un solo prodotto scelto non associato, essi possono essere: a base d'acqua, a base olio oppure concentrati; hanno un grande impatto su nocardia che è un filamentoso idrofilo, la schiuma si trasporta le fibre;
 - colture batteriche: si usano per rivitalizzare il fango, per inoculare i corretti ceppi batterici e qualche volta si usano anche in macchina dopo i lavaggi perché necessari;
 - controllo dell'odore: si usa cloruro di zinco, coprenti e profumi, batteri specifici, biossido di cloro (purate naldiox).

- biocidi: che possono essere specifici o totali, ossidanti, non ossidanti, disperdenti, biodisperdenti.

La titolazione della carica (colloidale) serve per determinare le sostanze interferenti nel ciclo di cartiera. Consiste nella titolazione di un campione con sostanze polimeriche standard anioniche o cationiche in grado di neutralizzare la controparte di carica opposta mediante la formazione di rapporti stechiometrici (chimici) ovvero la relazione tra due o più sostanze che reagiscono tra di loro. La misura si ottiene con l'apparecchiatura per la domanda cationica od anionica (PCD), ad esempio solitamente al chimico-fisico la carica ionica varia da -200 -300 siemens.

Coagulanti: solfato di alluminio; PAC; polimeri organici; miscela di polimeri organici/inorganici.

L'allume è il coagulante più diffuso; esso produce ottimi risultati se usato per la riduzione del colore e la torbidità; il pH ottimale dell'allume è pH 6,5-7 ma funziona anche con range di pH = 5,5- 8; la sua reazione è più lenta in acque fredde; richiede alcalinità naturale oppure aggiunta per produrre alluminio idrossido precipitato; esso consuma alcalinità perché è il sale dell'acido; una nutrizione eccessiva di allume può provocare precipitazioni nel sistema a valle; crea grandi volumi di difficile disidratazione dei fanghi; con pH basso, se liquido è corrosivo.

PAC: possiede una carica cationica superiore all'allume, il consumo di alcalinità è inferiore all'allume; produce un volume di fanghi basso; può essere più conveniente rispetto all'allume. I polimeri organici sono di due tipi: coagulanti e flocculanti; hanno più effetto in acqua fredda; generalmente reagiscono più velocemente con gli inorganici;

- coagulanti organici: solitamente hanno carica cationica; hanno una carica più alta degli inorganici; al variare della composizione solitamente presentano una catena molecolare più corta; producono meno fanghi di quelli inorganici. Sono costituiti da omopolimeri cationici come:

diallyldimethyl ammonium chloride (DADMAC), epichlorohydrin/dimethylamine (EPI/DMA), polyamino amide-epichlorohydrin (PAE), polyethyleneimines (PEI)

- flocculanti: sono polimeri a catena lunga ad alto peso molecolare; possono essere cationici, anionici, non ionici; generalmente sono seguiti da un coagulante; hanno un alto livello di volume idrodinamico e favoriscono i ponti; la formazione di ponti è influenzata per la quantità della carica del polimero (in piccola parte); generano grandi strutture dei fiocchi (macro fiocchi); più è forte la carica maggiore è il legame; sono sensibili al taglio. Possono essere flocculanti comonomeri anionici come sodio acrilato oppure cationici come (DMAEM) dimethylaminoethylmethacrylate e (DMAEA) dimethylaminoethylethacrylate; acrylamide; polimeri di ammina come: formaldeide, dimetilammina, poliacrilammide non ionica.

19- Dosaggi chimici più frequenti. Il dosaggio dipenderà sempre dalle caratteristiche dell'acqua da trattare, ma comunemente si usa:

- coagulanti inorganici, dose = 10,0 - 100 mg/l;
- coagulanti organici, dose = 0,5 - 50 mg/l;
- flocculanti, dose = 0,1 - 0,2 mg/l

BIBLIOGRAFIA

Appunti e dispense del corso per tecnologia cartaria San Zeno di Verona in particolare dei: prof. Zaninelli Paolo - prof. Gurzoni Francesco - ing. Andrea Burato - sig. Gardusi Massimo - dr. Contado Cristiano (Nalco) - dr. Paccagnella Luca (Acquaflex) - ing. Anelli Caterina. – informazioni internet da wikipedia.

CONSIDERAZIONI PERSONALI

Come considerazione finale, visto che l'azienda dove lavoravo è stata chiusa a causa di scarichi reflui elevati e continui nell'effluente, posso affermare che questo fatto è stato il motivo che mi ha spinto a scegliere il tipo di tesi di fine corso. La depurazione del refluo è una parte di cartiera considerata spesso in secondo piano, ma a fronte di gravi problemi che possono nascere, ci si accorge troppo tardi dei danni considerando che non è immediata la risposta correttiva. I problemi con l'impianto di depurazione possono essere verbalizzati da ARPA con, obblighi di ripristino (più o meno costosi), sanzioni, denunce penali oppure sospensioni temporanee dell'attività produttiva; quindi mi sento di consigliare di non curare solo dove esce la carta, ma tutto il processo produttivo in egual modo. A mio parere, a parte l'attenzione che si deve ai controlli e la manutenzione agli impianti del depuratore, con la costanza nell'esecuzione anche se a volte può sembrare noioso, vale la pena di fare attenzione al ciclo di processo della carta per non avere perdite da pompe, agitatori, premistoppa, tracimi di vasche di raccolta pasta, tracimi di vasche recupero fogliacci e soprattutto una buona ritenzione in parte umida; bisogna fare attenzione anche alle fermate nell'anno lavorativo (estiva natalizia- pasquale) per non sbilanciare il processo di depurazione con corposi aumenti di pasta dovuta alle pulizie o manutenzioni; ricordo che è sufficiente cambiare un valore dell'equilibrio perché cambino anche gli altri. A nulla vale risparmiare sui prodotti chimici per poi avere contestazioni sul prodotto finito e pregiudicare il buon funzionamento del depuratore correndo rischi inutili. Personalmente spero ci sia una tendenza ai cicli chiusi per ridurre la quantità di acqua ($m^3 H_2O$) / (ton) prodotte, cosa che ritengo soprattutto morale ma di difficile esecuzione perché nel bilancio si valutano le spese di processo. Un'altra cosa che

auspicio è la tendenza ai filtri MBR, anche se oggi giorno non numerosi, per l'eccellente qualità del refluo in uscita ed il rispetto ambientale. Ringrazio Assocarta nella persona del suo presidente ing. Poli ed Aticelca per la gentile disponibilità ricevuta. Ringrazio tutto il corpo docente del San Zeno per la passione e l'impegno trasmesso durante il corso. Un grazie anche ai miei colleghi studenti poiché da loro ho imparato molto sia come vita condivisa che come esperienza: amicizie che porterò sempre nel cuore. È doveroso, dopo questo mio periodo così intenso, che mi ha arricchito professionalmente fornendomi moltissime basi su cui poter riflettere, consigliare alle aziende cartarie/cartotecniche di mandare i loro ragazzi al "Corso di tecnologia per tecnici cartari" per formarli in modo competente, cosicché quando ritorneranno in azienda alimenteranno la cultura del lavoro con un proficuo scambio di nozioni tecniche atte a far crescere loro stessi, gli altri colleghi e soprattutto le aziende, le quali ne trarrebbero sicuramente enormi vantaggi, migliorando sicuramente la gestione del processo ed ottenendo guadagni superiori per merito delle nuove competenze introdotte.