



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 2036A -

ANNO: 2016

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Giuffré Esther

MATERIA: Processi e Tecnologia per l'ambiente 1 - Prof  
Chiampo

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Da prove sperimentali, la velocità  $v_g$  è circa il 50% della  
 termi\_mole :  $v_g \approx 0,5 v_t$

$$\left\{ \begin{array}{l} L \\ H \end{array} \right. = \frac{v \cdot t}{0,5 v_t \cdot t}$$

$$Q = v \cdot B \cdot H$$

Ho 6 incognite quindi devo  
 fare 2 ipotesi

$v \approx 10 v_g$  → riferito alla tramoggia : è il limite di  
 quanto vale la velocità per non avere  
 rimescolamenti vari

$$\frac{L}{H} = \frac{v}{v_g} = \frac{10 v_g}{v_g} = 10 \rightarrow \text{la spesa } \approx 0$$

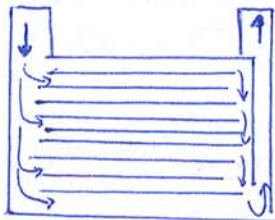
Viene poi ipotizzata la caratteristica che potrebbe essere  
 vincolante e si determinano le altre due.

-Invece, quando si tagliano su aree o si ha un particolato  
 solido :

$$v_t = \frac{D_p^2 \Delta \rho \cdot g}{18 \mu} \approx \frac{D_p^2 \rho \cdot \rho_s}{18 \mu}$$

$\Delta \rho \approx \rho_s$   
 (non vale per l'acqua)

• Poiché di solito le polveri sono di diverse dimensioni,  
 e il dimensionamento della camera a gravità non può  
 essere fatto sulla frazione più fine per motivi di ingombro,  
 l'efficienza di separazione globale del sistema è bassa.  
 Alcuni accorgimenti per aumentarla sono l'inserimento  
di setti; in questo modo i setti trasversali al flusso  
 permettono l'intercezione inerziale delle particelle che non  
 sedimentano, mentre i setti paralleli al flusso riducono  
 l'altezza  $H$  di sedimentazione e quindi la lunghezza  
 richiesta per la camera



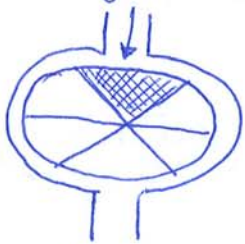
Come ultima osservazione si può notare che, in queste  
 camere, le perdite di carico sono generalmente basse  
 perché le velocità di attraversamento sono relativamente  
 poco elevate.

Per effetto delle pressioni zibotte, il gas converge verso il centro del vortice e fuoriesce dal separatore nella zona centrale.

A parità di velocità periferica del gas, l'aumento della dimensione radiale del ciclone diminuisce l'effetto centrifugo e quindi l'efficienza di separazione. A causa di questi effetti negativi dati dall'aumento di dimensione, si preferisce utilizzare batterie di cicloni, multi-cicloni, che elaborano in parallelo una frazione della portata totale del gas (↑ portata, ↑ sezione del ciclone, ↑ perdite di carico → non conviene).

Si ha la separazione quando  $F_{CF} > F_{CP}$ ; se invece  $F_{CF} < F_{CP}$  probabilmente le particelle non vengono separate. L'aria ruota intorno al tubo di scarico nella sezione annulare; quando si passa alla zona conica il vortice deve restringersi e la sua velocità aumenta perché la quantità di moto deve rimanere costante.

⊗ = valvole stellare = sistema che riprende il principio delle guardie idrauliche: è costituita da 6 settori



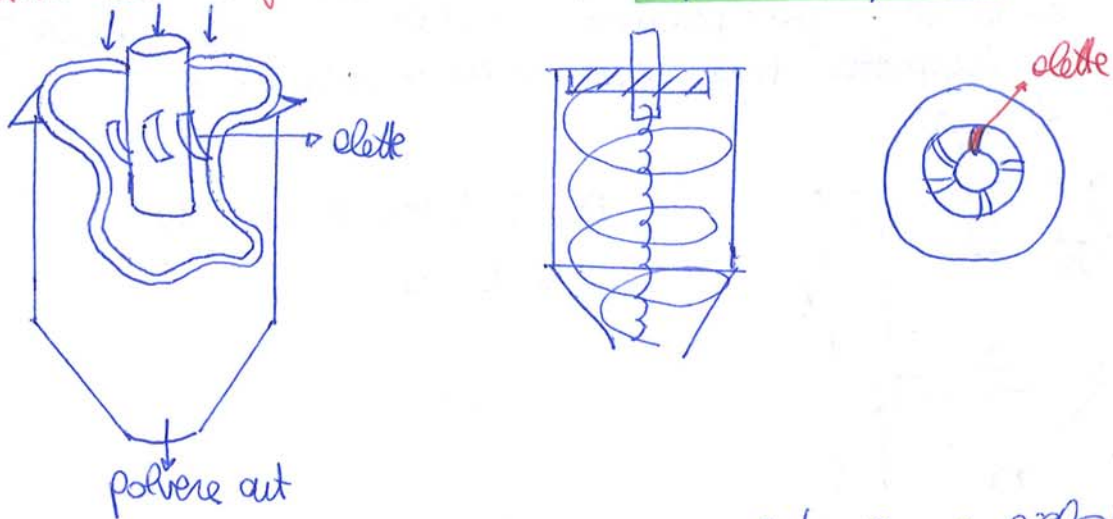
Quando il settore è pieno la valvola si muove di  $60^\circ$  e ci sarà un altro settore vuoto che ruota e sarà riempito.

Permette alla polvere di essere scaricata e di fare tenuta perché non può passare aria. Arrivato sul fondo il vortice inverte la direzione ruotando sempre nello stesso verso e risale verso l'alto per poi essere scaricato.

Ci sono delle perdite di carico localizzate (e/o di trascinamento) all'ingresso, dove i due vortici si incontrano (uno che sale e l'altro che scende al suo interno).

• Il dimensionamento teorico dei cicloni consiste nel calcolo dell'efficienza di separazione e delle perdite di carico. Il parametro più importante per caratterizzare le prestazioni del ciclone è il fattore di separazione che rappresenta il rapporto tra le velocità di sedimentazione prodotte per effetto centrifugo rispetto a quelle prodotte dalle gravità.

c) Ciclone ad ingresso assiale:  $D_p \geq 7-8 \mu m$



Sono molto piccoli, non vengono usati come cicloni singoli, ma a batterie con decine di cicloni. d'ingresso è assiale, la geometria è ancora ad asse verticale e ci sono ancora un tubo di scarico.

Nella zona di ingresso ci sono una sezione annulare impegnata da blatte saldate sul tubo di scarico (catturatore di vortici) ~~che sono fissate al tubo di scarico~~. Le blatte impegnano solo questa sezione e sono fisse, non c'è niente che si muove → apparecchiatura statica.

d'aria viene inviata dal basso verso l'alto con velocità lineare in questa zona e le blatte deviano il moto di  $90^\circ$  e trasformano la componente assiale in componente tangenziale. Ci sono una prima perdita di carico localizzata: le blatte sono soggette ad un bombardamento di particelle di polvere che viaggiano alla velocità del gas (aria) e le più grossolane possono provocare dei danni permanenti.

Le blatte sono tutte uguali e dirigono il moto. I rapporti geometrici restano invariati; i costi di gestione sono legati all'energia elettrica spesa, cioè alle perdite di carico: costi di più anche come manutenzione.

Ho una tesi superiore ed è un ciclone adatto per  $D_p \geq 7-8 \mu m$ . È usato per polveri preziose e per puelcola che può essere recuperato.

Se ho una batteria di 25 cicloni, ogni volta che scalo di 5 anni una portata minore e quindi si ridurranno anche le dimensioni.

dell'apparecchiatura. Lo strato crescente di polvere sul tessuto determina un aumento dell'efficienza filtrante, ma per contro anche un incremento delle perdite di carico. Sono necessari periodici interventi di pulizia.

• Metodi di contatto tra particelle e fibre:

IMPATTO: quando le grandi particelle hanno una grande inerzia, perdono energia cinetica e collidono con le fibre

INTERCETTAZIONE: si hanno particelle piccole

le particelle viaggia alla velocità  $v_0$ , l'inerzia è piccola e riesce a seguire le linee di flusso, però ad un certo punto le particelle si trovano intrappolate nelle zone di attrito viscoso e vengono fermate.

Si forma uno strato di particelle piccole e grandi e la separazione migliora sempre di più; l'accumulo del materiale è detto **torcia** o **letto granulare**, che cresce continuamente, aumentando le perdite di carico.

Entro un certo limite, bisogna fermare l'operazione e pulire perché le perdite di carico sono diventate molto alte da bloccare il tutto.

• la rimozione del particolato dipende dalle condizioni del gas, delle particelle e delle fibre. Si sceglie le fibre più adatte: spesso si usano le fibre polimeriche non molto costose, fibre naturali: lana e cotone.

## 2) Filtro in feltro:



Distribuzione disordinata di fibre  
Esempio: pile

Gli quando è pulito, lo spessore è maggiore e il feltro può essere visto come un letto granulare: all'inizio passano più particelle, ma c'è la probabilità che la particella piccola venga fermata. Anche qui si parla di deposito di materiale da eliminare: o si manda allo smaltimento e quindi bisogna pagare per esso, o si recupera.

Anche per ad un certo punto bisogna pulire e si usa il sistema a Venturi: l'operazione di pulizia viene fatta in continuo senza fermare la filtrazione. Ogni manico viene pulito indipendentemente e molto velocemente non lavora in pressione (solo  $1,2 \text{ atm} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ), il soffio dura meno di un secondo: lo jet viene iniettato ad alta pressione per probare il distacco della polvere. Staccandosi, gli agglomerati di polveri pesanti cadono giù e non devono essere ritraspirati.

Altri tipi di pulizia sono lo scuotimento e l'omelb viaggiante che può imporgano il blocco dell'operazione. Questo impone di avere dimensioni maggiori del filtro e cause dei tempi morti e quindi per eliminarli si è usato il sistema a Venturi.

Vantaggi: bassi costi di investimento, efficienze alte  
Svantaggi: costi di manutenzione non trascurabili, si deteriorano velocemente ad alte temp. elevate perdite di carico rispetto agli elettrofiltri.

Dimensionamento:

$V_f =$  velocità di filtrazione =  $0,01 - 0,06 \text{ m/s}$   
 È molto bassa, considerando che stiamo parlando di un gas.

$$V_f = \frac{Q}{S_f} = \frac{\text{portata da trattare}}{\text{superf. filtrante}} \rightarrow \text{molto alta e } < \text{ di quella effettiva}$$

Questo perché solo una parte delle superf. è usata per il passaggio, l'altra è costituita da fibre.

la filtrazione avviene in campo laminare e le velocità sono molto basse

$Q =$  portata volumetrica di gas che deve essere trattata  
 $S_f =$  superf. del filtro (una parte impegnata da fibre, una parte da vuoti dove passa il gas)

$$Q = S_f V_f \rightarrow \text{ipotizzo } V_f, Q \text{ è noto e trovo la superf. complessiva di tutte le maniche}$$

Devo ipotizzare  $D_B$  e  $L_B$ : le ipotizzo rispetto alla portata, se è molto piccola sicuramente non prendo un diametro di 70 cm, ma magari prendo quello da 15 cm.

$$S = N_m \pi D_B L_B \rightarrow \text{ricavo il n° di maniche, solitamente non è un n° intero, quindi bisogna arrotondare aumentando la superficie.}$$

• **DEPOLVERATORI A SECCO:**

Separano le particelle per azione meccanica o elettrostatica e prevedono l'iniezione di reattivi in polvere per la neutralizzazione dei gas acidi.

• **DEPOLVERATORI A UMIDO:**

Separano le particelle mediante lavaggio del gas. Il liquido è di solito acqua, che avrà un costo; Ci sono dei reintegri continui e delle perdite.

Un vantaggio è quello che, quando oltre alle polveri debbano essere eliminati gas o vapore, una parte di questi si può assorbire già nel liquido; lavando con acqua, si riduce il rischio di esplosione.

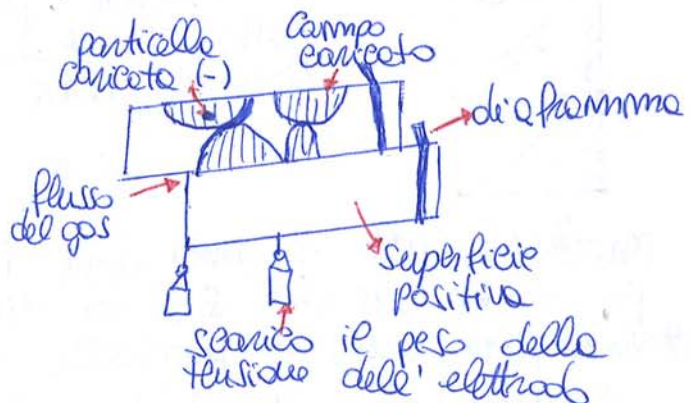
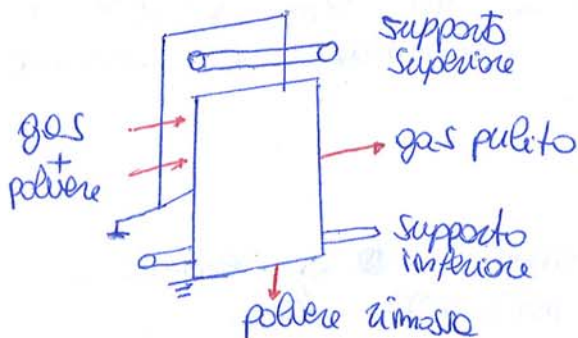
Le goccioline di liquido funzionano come le fibre, solo che qui abbiamo un moto relativo e possiamo basare il loro funzionamento sul principio dell'impetto (particelle grandi) e/o dell'intercettazione (particelle piccole).

Posso avere dei sistemi che danno gocce molto piccole, come l'atomizzatore: più riduce la dimensione delle gocce, più separa particelle piccole → vantaggio.

Del punto di vista della raccolta di ciò che separiamo, la tramoggia deve avere un angolo maggiore di quello del deposito delle polveri; nel caso di liquidi basta un fondo appena inclinato.

C'è il problema della corrosione (non esplosione), specie quando nel liquido si sciolgono gas e vapori, oltre il particolato.

• **A SECCO: SEPARATORE ELETTROSTATICO:**



È la classica apparecchiatura usata per gli inceneritori; le Centrali elettriche che bruciano combustibili liquidi o solidi. Funziona spesso da mezzo umido in sé.



Le particole infatti viene di fatto caricato e tende a dirigersi verso l'elettrodo di captazione dove, una volta a contatto con esso, perde la sua carica e cade lungo le pareti del precipitatore.

La tensione viene applicata tra un elettrodo positivo e uno negativo e sono di circa 30-60 kV fino a 150 kV e le estre sono messe a terra e il campo elettrico è maggiore al centro: solitamente è così, ma potrebbe succedere il contrario.

Le particelle migrano verso le piastre: il campo elettrico viene distorto quindi in realtà il sistema non funziona in maniera stazionaria. d'ipotesi è che il campo elettrico sia omogeneo sulla sezione del canale, ma non è così; in ogni punto della sezione debba trovare la stessa concentrazione ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) se facessi un campionamento.

Non meno che il gas passa, il contenuto di polveri diminuisce e la situazione cambia ad ogni sezione perché le polveri è stata separata.

Cambiando la concentrazione e cambiando l'effetto del campo elettrico sulle polveri, il processo non può essere considerato continuo.

Lo strato di particelle che si forma sulle estre aumenta: la resistività specifica della polvere è un parametro che dà idea della facilità a cedere o no cariche elettriche (se ad esempio ho una polvere di rame, la resistività è bassa perché cede subito le cariche): è misurata in  $[\Omega \cdot \text{cm}]$ .

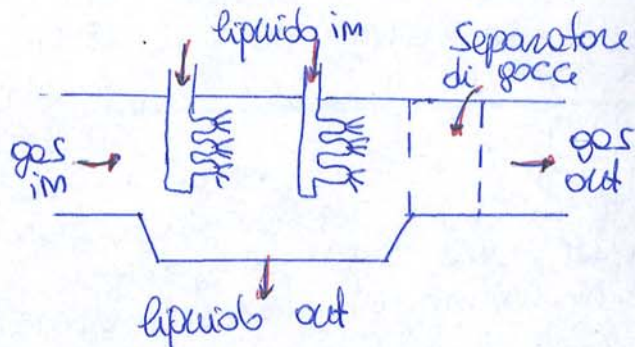
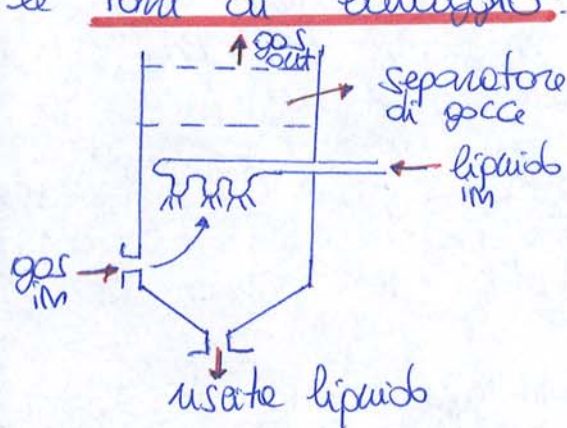
Se le particelle hanno una resistività troppo elevata, esse di fatto non perdono le loro cariche, da un lato schermando l'effetto del campo elettrico dall'altro imbastandosi sulle pareti del precipitatore.

Se invece le particelle hanno una resistività troppo bassa esse perdono troppo velocemente le proprie cariche e rischiamo di venire nuovamente raccolte dalle correnti dei fumi, anche se il gas viaggia a basse velocità.

Quindi in questi due casi l'apparecchiatura non funziona: il caso ottimale sarebbe dell'ordine di  $10^7 - 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ . Il problema è proprio la resistività super questi valori: allora si fa un drogaggio del gas, immettendo polvere che si prende le cariche elettriche: un composto, un

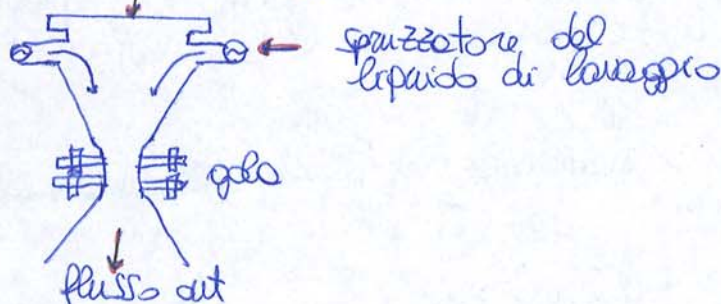
• Ad umido: SISTEMA A VENTURI:

Prima di parlare del sistema a Venturi, rappresentiamo le torri di lavaggio:



• Sistema a Venturi:

flusso d'aria contaminato



Permette di abbattere la concentrazione del particolato aerodisperso con alte efficienze. Sfrutta l'effetto Venturi: e' e' un fluido motore e un fluido trascinato: il fluido motore e' il gas da depolverare ed e' quello che percorre l'asse dell'iettoro dall'alto verso il basso, il fluido trascinato e' il liquido di lavaggio.

La velocità che si raggiunge e' molto alta e le particelle di particolato si trasformano quasi in proiettile: nelle gole (zone ristrette) si raggiunge la massima velocità, ≈ 150 - 180 m/s e arriva il fluido trascinato.

Quando entra e viene a contatto con il fluido motore che ha un'alta energia, parte di questa energia viene trasferita e si producono particelle molto piccole; quindi si mescolano le particelle di acqua e di polveri e viaggiano nella stessa direzione: se scelto l'accoppiamento giusto, il liquido ingloba le particelle solide e la separazione sara' piu' semplice. A valle di questo separatore bisogna mettere un ulteriore dispositivo per separare le polveri perche' la velocità e' ancora molto alta: ad esempio un ciclone, un separatore a maglie di filo, un sistema per evitare il trascinamento, sfruttando le forze centrifughe e di gravità.

# ADSORBIMENTO

d'adsorbimento è un fenomeno chimico-fisico che consiste nell'accumulo di una o più sostanze fluide (liquide o gassose) sulla superficie di un condensato (solido o liquido). Le specie chimiche instaurano tra loro un'interazione di tipo chimico-fisico sulla superf. di separazione tra due diverse fasi: tale superf. è detta interfase.

Adsorbimento: il soluto si accumula sob all'interfaccia tra soluzione e matrice adsorbente

Absorbimento: il soluto può penetrare nella fase condensata anche per parecchi micrometri

Absorbimento: tutti quei processi chimico-fisici che determinano uno scambio di materia tra le fasi presenti in un sistema.

• d'adsorbimento è un fenomeno di superficie, spontaneo ed è quindi accompagnato da una diminuzione dell'energia libera del sistema. Poiché una molecola, adsorbendosi, diminuisce i suoi gradi di libertà l'adsorbimento è accompagnato da una diminuzione di entropia. Inoltre i processi di adsorbimento sono esotermici:  $\Delta H_{ad} < 0$ ,  $\Delta G_{ad} < 0$ .

A seconda del tipo di interazioni che si manifestano tra adsorbato (o soluto) e adsorbente (o substrato), l'adsorbimento può essere definito di tipo fisico e chimico:

- chimico: vengono coinvolti legami forti di tipo intramolecolari (tra ioni o legami covalenti)
- fisico: vengono coinvolti legami deboli di tipo intermolecolari (ad es. legami di Van der Waals)

## • Adsorbimento fisico:

È un processo che raggiunge l'equilibrio molto rapidamente, esotermico e reversibile, cioè si recupera sia la sostanza adsorbita che dell'adsorbente. Gli inquinanti che rimangono non sono distrutti, ma separati: si parla di sostanze che si trovano allo stato vapore ed eliminare tramite carboni attivi. Bisogna sapere da subito quali sono le caratteristiche degli inquinanti per sapere quale carbone attivo scegliere, in quanto per avere la massima efficienza, bisogna scegliere la coppia carbone-sostanza giusta.

d'adsorbimento con carboni attivi è un sistema bifasico

- densità apparente :

$$\rho \cong 400 - 500 \text{ kg/m}^3$$

da densità del carbonio puro (grafite, diamante) e cioè pari a  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

- volume dei pori :

$$V = 0,1 - 0,8 \text{ mL/g C.A.}$$

d'efficienze si basa sul n° di siti attivi all'interno della porosità: un sistema non altamente poroso non ha necessariamente dei siti attivi ed ecco che questi devono essere attivati.

La maggior parte dei carboni attivi sono di natura vegetale e si usò il legno poco denso, leggero (cioè un grosso contenuto di resine, cere e lipidiche), come pini e abeti. Il sistema per membrare via le resine e le sostanze volatili consiste nel fare una parziale combustione cioè lavoro a temp. alta, oltre i  $700^\circ\text{C}$ , ho un' apprezzabile ossidazione non completa (si forma CO) e l'operazione avviene a spese delle sostanze combustibili nel processo, come resine e cere, invece le lipidiche è difficile da aggredire.

d'effetto termico e quello di membrare in fase passiva queste sostanze che verranno poi trasformate in  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , lasciando un vuoto nelle strutture del legno e l'attivazione è dovuta al fatto che c'è carenza di ossigeno. Quando il carbone attivo è esaurito e tutti i siti attivi sono occupati, si deve rigenerare, cioè rompere il legame e restituire il carbone all'utente. questa operazione di rigenerazione è molto semplice, quella di attivazione invece viene fatta dal produttore.

• **CAPACITA' DI ADSORBIMENTO:**

la capacità di adsorbimento può essere valutata attraverso le isoterme di adsorbimento (relazione esistente tra il grado di ricoprimento di un solido e la concentrazione del soluto):

quantità di adsorbato =  $f(C, p, T)$

dove C è la massa di materiale adsorbito all'equilibrio per massa di materiale adsorbente, la velocità di diffusione e il raggiungimento dell'equil. sono più rapidi a temp. elevata (effetto sulle cinetiche),

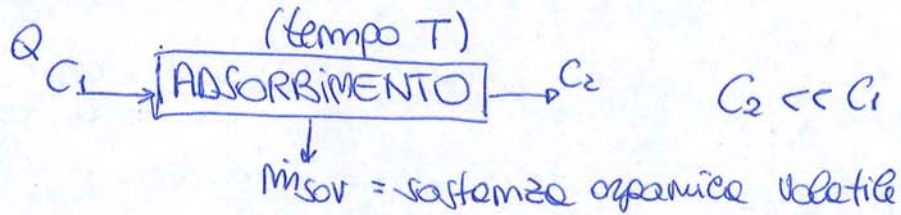
$$X = \frac{\text{masse adsorbato}}{\text{masse adsorbente}}$$

Da prove sperimentali ricavato  $K_{AD}$  e  $1/m$  :

$$K_{AD} = \text{capacità di adsorbimento} = \left[ \frac{mg}{g} \right] \times \left[ \frac{g}{mg} \right]^{1/m}$$

$\frac{1}{m}$  = intensità di adsorbimento: affinità adsorbato-adsorbente

Le isoterme si determinano sperimentalmente per un determinato tipo di carbone e per un determinato tipo di sostanza inquinante che può essere adsorbito.



$Q$  = corrente

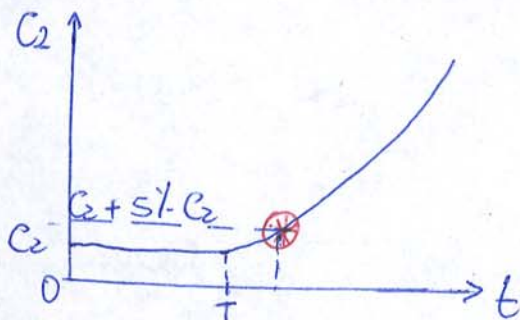
$C_1$  = conc. iniziale di inquinante

$C_2$  = conc. finale di inquinante

La conc. all'equilibrio è quella che si ha al fine processo, cioè  $C_2$ , quando il n° di siti attivi non cambia più.

Del punto di vista industriale, il sistema è continuo e ad un certo punto diventa saturo perché la maggior parte dei siti attivi è impegnata da molecole.

Però comunque rigenerare il carbone: conoscendo il complesso, determino la quantità di carbone che mi serve e considero anche il tempo di recupero. Un altro sistema, invece, è quello a valle: monitoro nel tempo la conc.  $C_2$ .



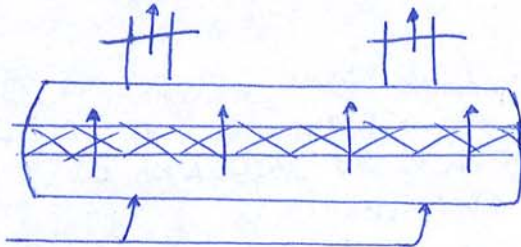
$C_2$  aumenta perché non ci sono più siti attivi disponibili e le molecole di inquinanti escono con la corrente stessa

Già da questo punto  $\otimes$  comincia la rigenerazione e non interessa quanto tempo sia passato perché comunque non si hanno più siti attivi, quindi si deve pulire. In realtà non si ripulisce tutto, alla lunga c'è un impoverimento di siti attivi e la rigenerazione non funziona più, allora si manda o allo smaltimento o alla riattivazione (alte temp., carenza di ossigeno).

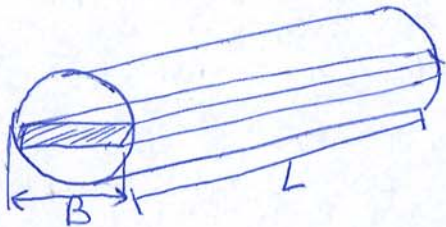
Com viscosità più elevate va bene il sistema megapora perché aumenta la resistenza interna e il tempo di contatto.

**Impianto di adsorbimento con rigenerazione:**

Quando ho un sistema a rigenerazione la geometria è diversa dalle solite colonne con il letto premolare



materasso:  
strato di carbone  
dell'ordine dei 40-60 cm



$$\frac{L}{B} = 204 \text{ circa}$$

Conviene avere due punti di captazione in modo da non avere difficoltà nello scarico. Nella rigenerazione si ha la produzione continua di aria e impurimenti, quindi come minimo si hanno due sistemi in parallelo in maniera alternata per evitare di interrompere il processo. Si possono avere anche 3 sistemi: il primo lavora e gli altri due sono in stand-by, poi il primo viene rigenerato e magari richiede talmente tanto tempo che il 2° tentativo è esaurito, quindi serve un 3° sistema dal punto di vista costruttivo; invece, i parametri non variano.

La rigenerazione è quindi quel processo per cui il solvente precedentemente adsorbito viene estratto dal carbone e, se possibile, recuperato per essere riciclizzato. Serve per ripulire le condizioni operative ottimali del carbone una volta raggiunto il grado di riempimento stabilito.

Si possono individuare più tipologie impiantistiche, relative al processo di rigenerazione dei carboni:

La formazione di specie di contatto che debbono essere successivamente trattate o smaltite derivanti dalle condensazioni, nel caso di sostanze solubili prevede la necessità di disporre di un sistema di distillazione per il recupero dei solventi e/o di smaltire grandi quantitativi di liquidi pericolosi. Esaurite la 2<sup>a</sup> colonna, ricambio la 1<sup>a</sup>; il tempo di rigenerazione delle colonne è minore del tempo di esaurimento delle colonne stesse.

Inoltre, dopo la vaporizzazione, il letto di carboni deve essere sottoposto ad un ciclo di asciugature, al fine di eliminare il vapore d'acqua residuo. È da prendere in considerazione anche il problema dell'eventuale acidificazione (idrolisi del solvente) e della conseguente possibilità di corrosione delle parti metalliche dell'impianto.

Il sistema parte ad una temp. che è quella ambiente. La rigenerazione tiene conto della temp. di ebollizione del solvente e ha quindi un tempo di riscaldamento del sistema (poi non si rampomano lepanni), poi si ha la rigenerazione vera e propria con rottura dei lepanni. Se ho il sistema ad esempio a  $110^{\circ}\text{C}$  devo riportarlo alla temp. iniziale, quindi devo raffreddare la colonna per portarlo a temp. ambiente; il raffreddamento è un processo lento, invece lo step della rottura e formazione dei lepanni è abbastanza veloce.

Qualsiasi grammo di carbone attivo è investito dal vapore e il sistema lavora in modo omogeneo.

### \* Calore sensibile:

Quando un oggetto viene riscaldato o raffreddato viene tolto calore da un oggetto, la sua temperatura aumenta o diminuisce e il calore che causa una variazione di temp. in un oggetto è detto calore sensibile.

### - Calore latente:

Tutte le sostanze pure presenti in natura sono in grado di cambiare stato: il calore che causa questi cambiamenti è detto calore latente.

• Metodi per separare sostanze organiche:

Rimozione di vapori organici, sostanze bassobollienti a temp. lontana dalle temp. ambiente.

1) CRICONDENSAZIONE:

È basata sul raffreddamento dell'effluente inquinato a temp. molto basse, usando come fonte di energia l' $N_2$  liquido. La separazione degli inquinanti è ottenuta grazie alla riduzione della tensione di vapore ai valori di equilibrio liq/vap o sol/vap, realizzati alle temp. minime raggiungibili per raffreddamento.

Dopo spingermi quindi al di sotto della temp. di rugiada delle sostanze inquinanti, le quali poi condensano e scambiano il calore latente delle sostanze. Le temp. sono basse,  $\approx 0^\circ$  o al di sotto di  $0^\circ$ , ma non tanto perché fare il freddo costa di più di fare il caldo. È un'operazione fisica: non semplicemente uno scambio termico.

L'effluente da depurare viene raffreddato progressivamente da scambiatori che devono avere ampie superfici; il coeff. di scambio <sup>termico</sup> sarà basso, ma riesco a separare allo stato liquido le sostanze inquinanti.

2) COMBUSTIONE o INCENERIMENTO:

La combustione è una reazione chimica che comporta l'ossidazione di un combustibile da parte di un comburente (in genere  $O_2$ ) e che avviene con emissione di luce e di calore (fiamma): durante questo processo l'energia chimica si degrada in energia termica.

Una reazione di combustione aumenta la propria velocità all'aumentare della temp.: per bassi valori di temp. le combustioni sono lente e avvengono senza sviluppo di calore, che viene dissipato man mano che si produce, ed esempio le combustioni biologiche.

Esiste una soglia di temp., detta temp. di ignizione, oltre la quale inizia la combustione vera e propria con emissione di luce e di calore.

[Alcuni metalli bruciano spontaneamente: metalli piroforici]  
 → bario, stronzio (polverizzati)



da CO<sub>2</sub> non è una sostanza mobile o pericolosa, anche se la sua concentrazione ultimamente sta aumentando: poco rischio di tossicità.

Il H<sub>2</sub>O vapore contribuisce all'effetto serra.

Per quanto riguarda la SO<sub>2</sub>, bisogna confrontare la conc. con il limite di norma e, se viene superato, bisogna trattarla.

• la camera di contatto è il bruciatore, con l'obiettivo di distruggere le sostanze inquinanti, e puoi versare materiale in questa camera. Bisogna usare il combustibile ausiliario per aiutare la combustione e serve per l'avviamento, ma anche dopo perché altrimenti le basse delle sostanze inquinanti non avrebbero un  $\Delta T$  sufficiente per mantenere le alte temp. del processo. Il processo è eterogeneo, quindi abbastanza veloce: dal punto di vista del tempo, è un'operazione simile all'adsorbimento, solo che in questo caso i costi sono più elevati.

Più aumenta la temp., più aumenta la cinetica: in questo caso la  $T = 850^\circ\text{C}$ ; un'altra variabile è il tempo di contatto, che deve essere dell'ordine di 1-2 secondi, e poi anche importante è il livello di turbolenza: ciò ricade nelle regole delle  $3T$  (tempo, temperatura, turbolenza).

Il tempo di contatto non è altro che il tempo di reazione: quando il processo è veloce, il livello di turbolenza aumenta e ciò produce risultati migliori.

La turbolenza è gestita dalla velocità di passaggio all'interno del sistema: abbiamo il trasporto di energie e di materia, coinvolgendo due coeff. di scambio che aumentano all'aumentare del livello di turbolenza.

La scelta del sistema regenerativo è dettata dall'obiettivo di recupero energetico molto elevato ( $> 90\%$ ): il recupero del calore sensibile dei gas combusti avviene mediante ceramiche / refrattarie che assorbono il calore sottratto ai fumi caldi per cederlo successivamente alle correnti in ingresso da depurare.

• Dal punto di vista del dimensionamento, si deve subito capire quanto combustibile ausiliario è necessario e fare una serie di bilanci.

ho danni strutturali se scendo di temp. Se mi muovo verso destra, invece, provo dei danni rovinando il catalizzatore: esso costa circa 1000 dollari/once ( $\approx 1 \text{ once} = 28 \text{ grammi}$ ), quindi è un sistema robusto e si usa sotto determinate condizioni di ripetere.

Un'altra differenza con la combustione termica consiste nella presenza di eventuali polveri che si possono assorbire sul catalizzatore, provocandone l'abrasione e lo sporcamento.

Anche i veleni sono un problema in quanto si legano sui siti attivi dei catalizzatori senza separarsi: essi diminuiscono l'attività catalitica e fanno perdere efficienza.

Anche se con questo combustore risparmio dei soldi per il livello termico, è comunque un sistema delicato; spesso si preferisce il sistema termico.

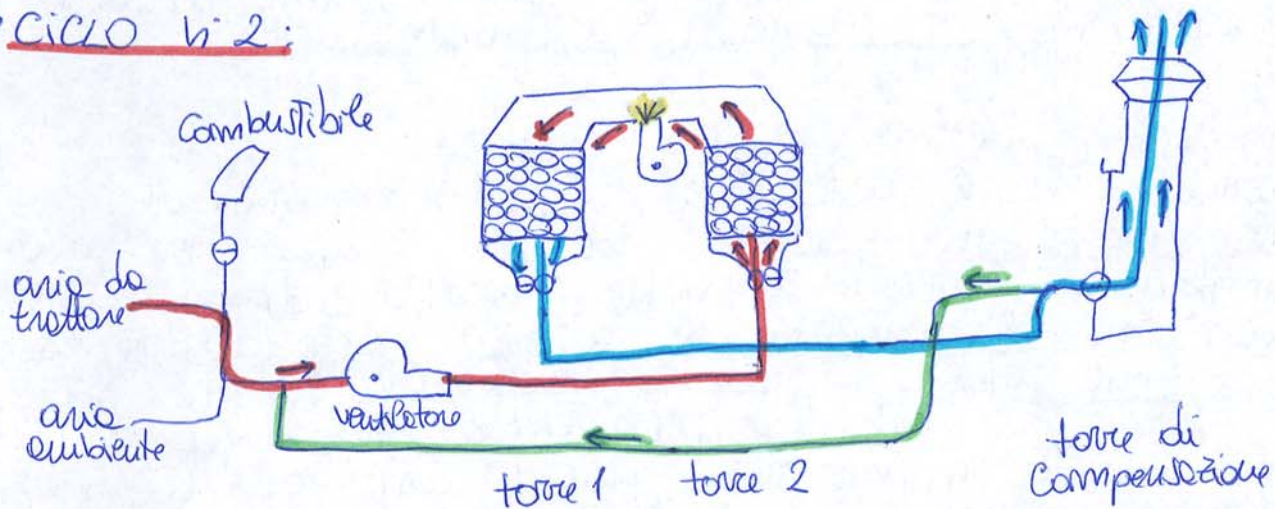
• Si possono avere 3 tipi di catalizzatori:

- in polvere: si usa il letto fluidizzato in cui ogni particella viene avvolta nel fluido: aumenta la superf. di contatto con le particelle in reazione
- o letto fisso: si hanno particelle di forma regolare, spesso sfere o cilindri (max 4 mm). Le sfere non è costituite tutte dal catalizzatore, ma questo ricopre lo strato esterno, finale, cioè il film. Costo non vero per la polvere perché è puro, irregolare.
- monolitica: quando si usa le classiche matriche catalitiche. Si ha un letto fisso ma irregolare.

Dal punto di vista di efficienza, e parte di catalizzatore di teste su unità di volume, nel 1° caso le teste sono molto alte, c'è un elevato contatto tra catalizzatore e particelle: è quello che costa di più perché devo considerare la minima velocità di fluidizzazione cioè quella minima a cui dobbiamo arrivare. Il letto fisso è la via di mezzo anche in termini energetici; infatti nel monolitico è come se avessi tanti catalizzatori sulle cui pareti vengono depositati i catalizzatori. Anche dal punto di vista della gestione, quello più controllabile nell'ossidazione è il catalizzatore a letto fisso: non si deve andare oltre il livello massimo di utilizzo del catalizzatore, il quale viene suddiviso in strati per diminuire la temp. di un certo

cominimo. Oltre un certo tempo, il letto sarà stazionario a temp. costante, siamo a 950°C e si deve scambiare l'operazione, cioè la 2° colonna ha raggiunto la max temp. raggiungibile:

Ciclo n° 2:



Il processo è inverso: la portata viene mandata nella 2° colonna. Quando la corrente entra si trova ad una temp. circa quella di combustione quindi l'utilizzo di Combustibile ausiliario sarà modesto (il  $\Delta T$  da fornire alle correnti è circa 60-50°C).

I fumi hanno una temp. alta e sono ossigenati e passano nel letto a sinistra e la colonna si scalda, invece la 2° colonna si raffredda. Per il tempo necessario a convertire c'è una zona di deposito dove vengono depositati quantità di portate per non perdere gli inquinanti che la ricomposizione da corrente verrà poi prelevata e unita al resto quando il ciclo funziona di nuovo come dovrebbe, questo polmone è quindi una camera di pseudo-sicurezza, non molto costosa e permette che la combustione avvenga sempre nel passaggio da una colonna all'altra.

Questi sistemi vengono usati quando si è in presenza di un impatto obbligato: non recupero molto, ma costo poco e serve soprattutto per eliminare queste sostanze obbligate che anche a basse concentrazioni sono più nocive.

l'operazione non può avvenire con specie selezionate perché per motivi economici non è possibile avere una sola specie. Il sistema prevede una distribuzione omogenea della sostanza da trattare; deve esserci  $O_2$  e disposizione per evitare di rallentare e poi bloccare le attività. Di tanto in tanto il sistema viene irrigato, non continuamente perché se non l'aria non passa più; e tal proposito l'umidità riveste un ruolo importante in quanto un insufficiente contenuto di acqua determinerebbe l'essiccamento del letto e la perdita di attività biologica. L'umidità ottimale di processo è compresa tra 60 e 80% in peso del substrato.

Gli scopi sono 2: fornire un mezzo per dissolvere l' $O_2$  e per portare il cibo, cioè l'impianto per questi microrganismi. È un sistema lento con cinetiche molto lente, quasi incontrollabili: oggi viene usato per l'abbattimento di sostanze odorose e per la deodorazione delle arie derivate dalle arie di compostaggio dei rifiuti solidi. In questo caso le dimensioni sono abbastanza elevate perché il parametro utilizzato è simile alle velocità di filtrazione ed è circa il fluss che può essere trattato:

$$V = 100 - 150 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$$

Avendo l'abbattimento di odori, bisogna avere dei ricambi di aria all'ora; nella parte bassa del biofiltro è presente aria e su una parte di acqua viene trattato dal materiale solido. Ciò che viene raccolto sul fondo deve essere poi prelevato e portato allo smaltimento. L'acqua non è più pura; non ci sono ricambi e il processo è lento.

Tra gli svantaggi di questo sistema abbiamo:

- la presenza di particolato nel flusso entrante può inibire l'azione batterica;
- possibilità di intasamento e cause di eventuali polveri contenute nell'effluente da trattare
- per alcuni sistemi è richiesta una grande disponibilità di spazio

è relativo ai limiti di scarico nelle condotte fognarie. Per le acque di origine industriale vale la stessa cosa delle prime per le acque di origine civile, solo che lo 2° comma cambia: l'azienda può scaricare nel condotto fognario, ma in certi casi no, quindi bisogna fare un trattamento grassoloso che tolga quella concentrazione in più per renderlo compatibile con i valori massimi delle tabelle.

Quando l'acqua è abbastanza pulita, si cerca di recuperarla, invece che scaricarla: il riciclo ha comunque un costo. Specie per piccole industrie, conviene pagare per smaltire direttamente queste acque; se nell'impianto è già presente la parte per il trattamento, si può decidere che trattamento fare per mandare o no le acque nel collettore fognario. Le spese del trattamento viene investite nel trattamento in sito, cioè nelle perdite dell'impianto; un'altra possibilità, presente in alcuni settori industriali, come il tessile e averi, la raccolta delle acque ed alto contenuto di impurimenti in maniera separata, soprattutto quando la loro portata è bassa.

Le altre acque non separate vengono scaricate nel condotto fognario per ridurre la spesa; è presente anche un'altra alternativa: lo stoccaggio delle acque in maniera separata, nessun trattamento ma smaltimento come rifiuto liquido. Il prezzo è correlato alla composizione.

Tutto ciò che passa lungo le tubazioni per arrivare alle condotte e acque di scarico: se non viaggia nel condotto fognario il prodotto segue le morfologie dei rifiuti.

Partiamo dal caso semplice di una cittadina: cosa succede quando piove? I bambini finiscono nel condotto fognario; l'acqua bianca (pioggia) è molto pulita, possono esserci solidi sospesi facilmente eliminabili, come sabbie o polveri. Quando arriva a terra, possono esserci altri impurimenti, come olio o sostanze del genere che possono essere tolte dall'acqua meteorica; quando queste acque vanno e dilagano in piazzali in cui sono presenti molti impurimenti, questo potrebbe diventare pericoloso.

Qui oggi le condotte fognarie sono miste: se l'acqua meteorica arriva con una portata superiore a quella che dovrebbe esserci per il funzionamento ci sarà un'elevata diluizione con il contenuto del collettore fognario.

Alle fine bisognerà scaricare una parte dell'impurimento nell'ambiente; la soluzione è una condotta separata.

• Parametri caratteristici per acque di scarico:

- COD (chemical oxygen demand - mg/L): domanda di  $O_2$  chimico deve essere pari a 40 per le acque superficiali.  
 È un' estrazione: lo si misura e non descrive gli inquinanti, ma solo se ce ne sono tanti o pochi.  
 Mi dice la quantità di  $O_2$  necessaria per ossidare chimicamente l'inquinamento presente nelle acque: poco  $O_2$ , poco inquinamento, basso valore di COD.  
 È un'analisi semplice e viene fatto sempre per prime; le misure del COD viene descritte da un metodo sperimentale.

- BOD<sub>5</sub> (biological oxygen demand - mg/L): è la quantità di  $O_2$  che viene utilizzata in 5 giorni dai microrganismi aerobici per ossidare alle temp. di  $20^\circ C$  le sostanze organiche presenti in un litro di acqua o di soluz. acquosa; la misura deve essere fatta in condizioni isoterme.

Il BOD<sub>5</sub> è una misura delle sostanze biodegradabili e non mi dice di molto di che tipo sono le sostanze inquinanti. Devo avere quindi una camera termostatica. Può succedere che si abbia il BOD<sub>25</sub>, ad esempio quando si deve vedere se ci sono sostanze recalcitranti, cioè biodegradabili ma in un tempo lungo, quindi il BOD<sub>5</sub> ha concentrazioni minori del BOD<sub>25</sub>.

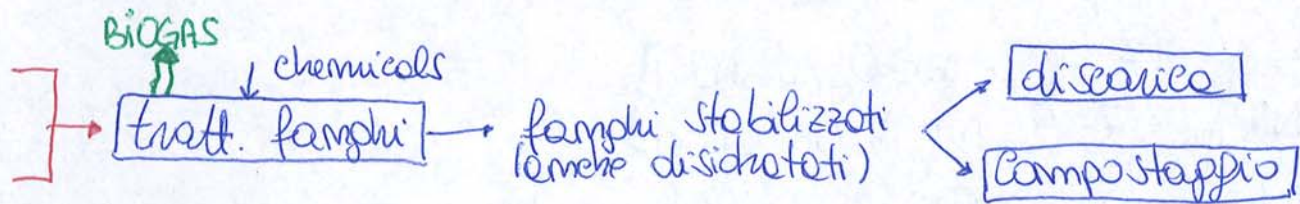
Ad esempio l'acqua di scarico trattata da un impianto di depurazione avrà valori di BOD<sub>5</sub> di circa 20 mg/l, invece l'acqua di scarico non trattata di circa 600 mg/l.

I corsi d'acqua superficiali hanno una capacità autodepurativa, cioè i microrganismi presenti nell'acqua non hanno bisogno di interventi esterni per eliminare gli inquinanti.

Se il BOD<sub>5</sub> = 0 non significa che l'acqua non sia inquinata perché magari il COD è elevato, ma non avendo sostanze biodegradabili, penso ad operazioni chimiche e non biologiche.

Il rapporto COD/BOD indica la biodegradabilità di un effluente: nelle acque reflue di origine urbana dove prevalgono le sostanze organiche biodegradabili, il valore COD/BOD è pari a 1,9/2,5, invece il rapporto risulta più alto negli scarichi industriali nei quali prevalgono le sostanze non biodegradabili.

l'impianto è costituito da più stadi:

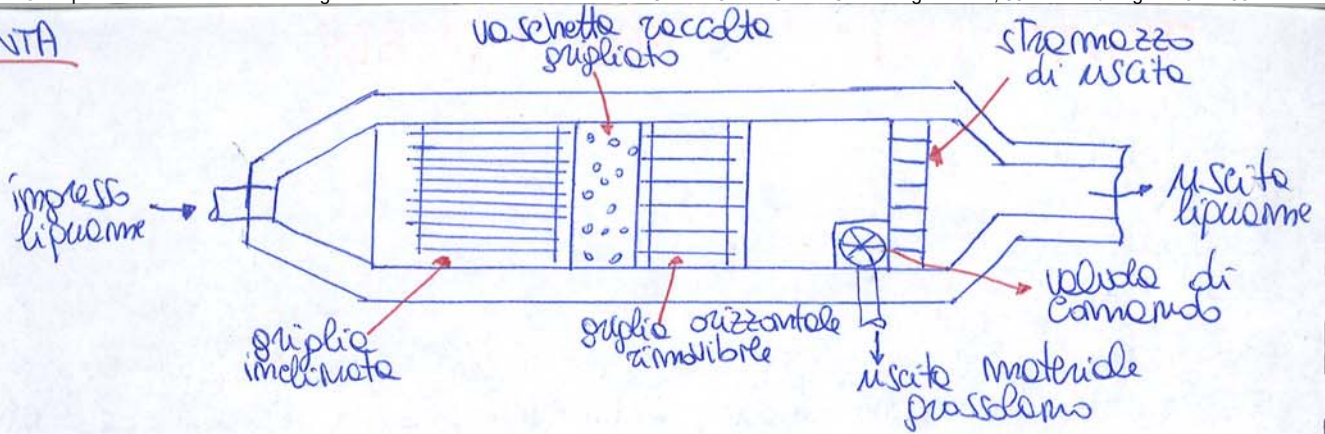


I fanghi stabilizzati sono comunque rifiuti; dalle disidratazione esce una certa quantità di acqua non pura che viene riciclata nelle zone dei trattamenti secondari.

Si produce biogas che viene usato come combustibile, quindi viene sfruttato per produrre acqua calda o vapore o energie elettriche, ma è comunque un rifiuto; il biogas non viene mandato in atmosfera, ma allo sfruttamento.

Anche prima che le acque di scarico vengano mandate ai pretrattamenti si deve verificare che esse non siano acque industriali: magari l'azienda non ha un collettore fognario, quindi mette tutto in serbatoi e se sono presenti piccole quantità, vengono ugualmente classificati come rifiuti.

## PIANTA



de grigliatura è la prima dei trattamenti meccanici preliminari e ha come scopo principale la rimozione di corpi e oggetti grossolani; permette di evitare danneggiamenti alle sezioni di impianto successive, ed esempio le pompe usate per spostare e sollevare il liquido, e ridurre l'accumulo di solidi nelle tubazioni.

È un'operazione semplice, economica e viene fatta sempre per operazioni civili; si esegue facendo passare l'acqua attraverso una griglia, che può essere di vari tipi, fissa, inclinata, e barre, e maglie.

La griglia viene sempre installata lungo il canale principale, cioè il canale di arrivo all'impianto, alimentato dal collettore terminale delle fognature. Tale canale in corrispondenza della griglia si allarga di un certo tratto in modo che la velocità dell'acqua e velocità si mantenga prossima a quella che si ha nel tratto a monte della griglia.

La velocità di attraversamento della griglia non deve essere troppo bassa da favorire la sedimentazione a monte della stessa, ma neanche troppo elevata per non incrementare le perdite di carico.

Il canale più in basso è il canale di bypass che di solito è chiuso, ma viene aperto durante le operazioni di pulizia. Si ha la prima produzione di rifiuti trattati dalla griglia stessa, ciò che viene recuperato da esse è materiale che deve essere mandato allo smaltimento come rifiuto: ci sarà quindi un cassone dove avviene lo stoccaggio di questi rifiuti.

L'operazione viene fatta al chiuso, in modo da trattare le acque presenti in pendenza le potenzialità e elevate e si tiene conto degli impatti odorigeneri da perdite di carico in generale e molto modeste.



Non è presente una tramoggia; il sistema è a due canali (bidimensionali) che possono essere paralleli e uno può essere usato come by-pass.

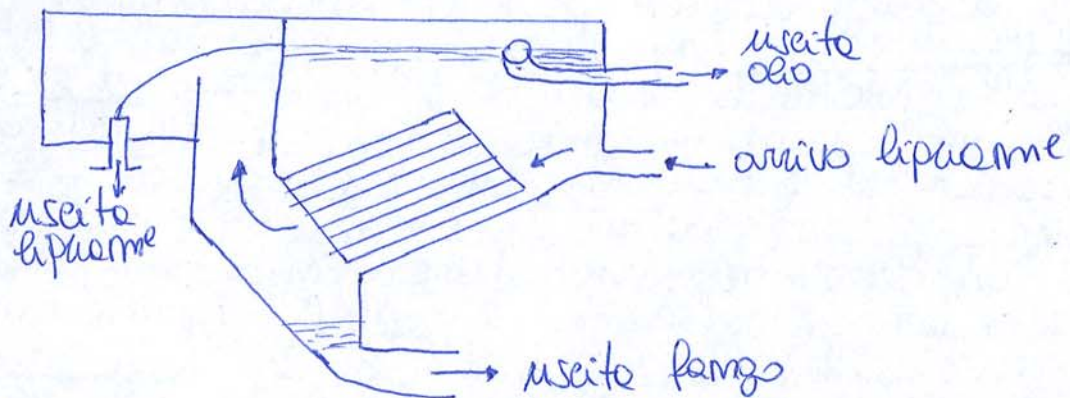
È un sistema che costa poco e costa in termini di terreno usato → per questo si preferisce un dissabbiatore a pianta circolare piuttosto di uno a canale.

Quello che viene raccolto come sabbie sul fondo dei canali è un  rifiuto , perché si porta dietro del lipume umidite; la puelle deve essere smaltita molto velocemente.

[ Densità acqua =  $1000 \text{ kg/m}^3$   
 Densità sabbie  $\approx 2000 \text{ kg/m}^3$  ]

### 3) DISOLEAZIONE:

Schema con pacco lamellare



La disoleazione è un'operazione di tipo fisico basata sulla gravità che viene introdotta nel ciclo operativo, a valle delle griglie e dei dissabbiatori, avendo è sicuro che oli e grassi sono presenti nei reflui in quantità tale da influenzare negativamente i trattamenti successivi soprattutto con riferimento ai trattamenti biologici.

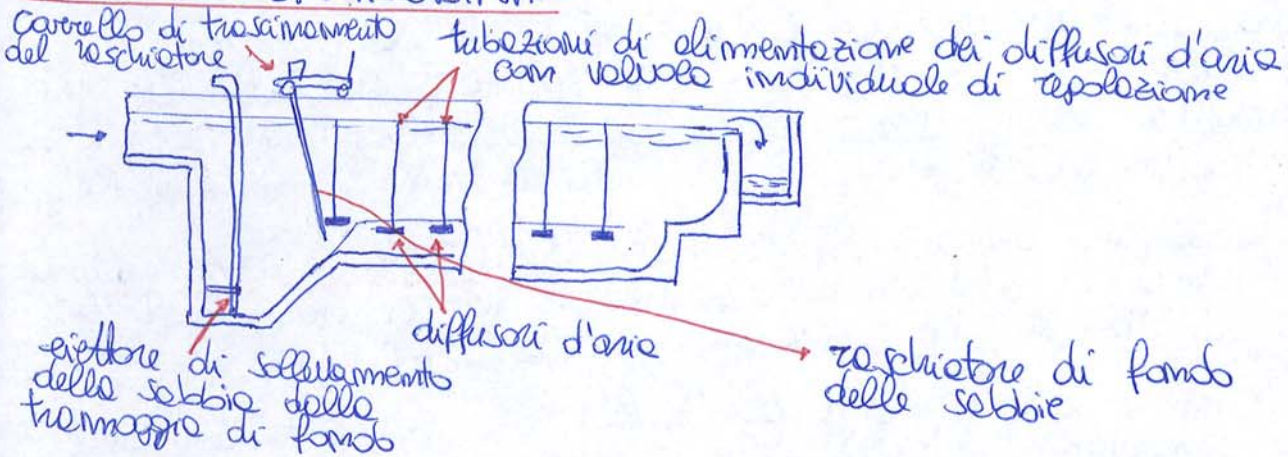
Il trattamento di disoleazione si fonda sul minor peso specifico dei grassi e oli rispetto all'acqua, che ne consente la risalita in superficie.

[ Densità acqua =  $1000 \text{ kg/m}^3$   
 Densità oli =  $800 - 900 \text{ kg/m}^3$  ]

Lo schema è detto a pacco lamellare perché è costituito da lamelle: tra una e l'altra c'è una piccola fessura di luce e viene a formarsi un canale con un altezza di 1 - 1.5 cm, d'insieme è posto in maniera compatta e il sistema è molto lineare: anche meglio.

• Tipo di dissabbiatore aerato - disoleatore:

SEZIONE LONGITUDINALE



Nello stesso vasca si procede a fare insieme dissabbiatura e disoleazione, prevedendo apposite zone di colma. Lo schema ha una linea di interruzione perché la vasca è abbastanza lunga: il lipume percorre la vasca da sinistra a destra, viene scaricato nella parte opposta esente di sabbie e oli.

Viene sfruttate le forze di gravità: fessie >> acqua ( $\approx 2000 \text{ kg/m}^3$ ) e le particelle grassoleme tendono a sedimentare; olio << acqua e l'operazione è più difficile da parte leggera viene raccolta sulla superficie della vasca e le sabbie sul fondo.

Ci sono dei diffusori d'aria: le bollicine d'aria indeboliscono la parte grassa e in superficie si forma un pelo di olio tappezzato da microbolle che porteremo ulteriormente e galleggia questa materia lipidica diminuendo la densità.

Sul fondo della vasca funziona come il solito dissabbiatore quello che viene recuperato da lui è un rifiuto liquido, le sabbie è molto sporca ed è un rifiuto solido da smaltire.

Per portate molto elevate, bisogna fare un conto economico e vedere se entrambe le operazioni sono effettivamente necessarie. Conviene separare e monitorare certe correnti impuranti che potrebbero dare problemi nei vari trattamenti.

La sabbia depositata viene poi tolta tramite cascia o raschiatore, ma non conviene le pompe perché pompando un solido tende a zovinarsi subito.

# TRATTAMENTI PRIMARI

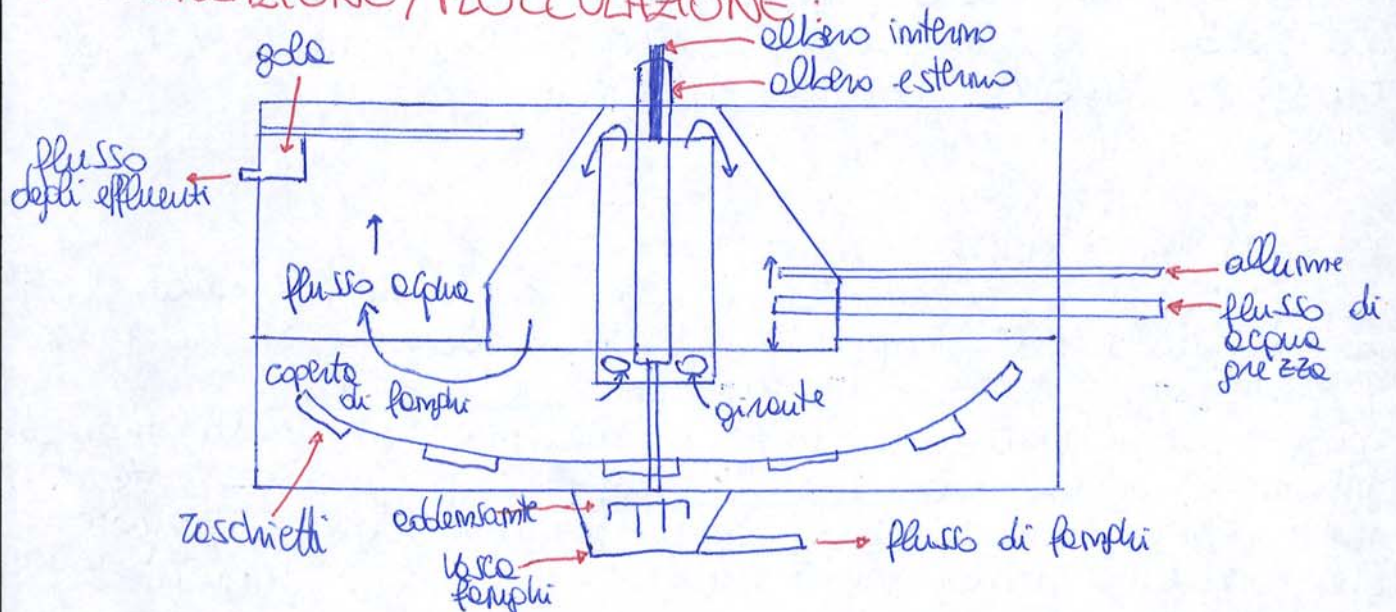
- correzione del pH
- Coagulazione / flocculazione
- sedimentazione primaria

l'obiettivo dei trattamenti primari è quello di rimuovere solidi organici ed inorganici mediante sedimentazione oltre alle eventuali materie flottanti come schiume, oli e grassi.

## 1) CORREZIONE DEL PH:

È un'operazione di tipo chimico e viene fatta su acque di scarico di origine industriale, perché per le acque civili il pH è attorno le neutralità quindi non è necessaria. Quest'operazione è fine ai trattamenti secondari; non c'è consumo una tepla generale, spesso si usa una soluzione di HCl diluito se ho un pH basico e viceversa.

## 2) COAGULAZIONE / FLOCCULAZIONE:



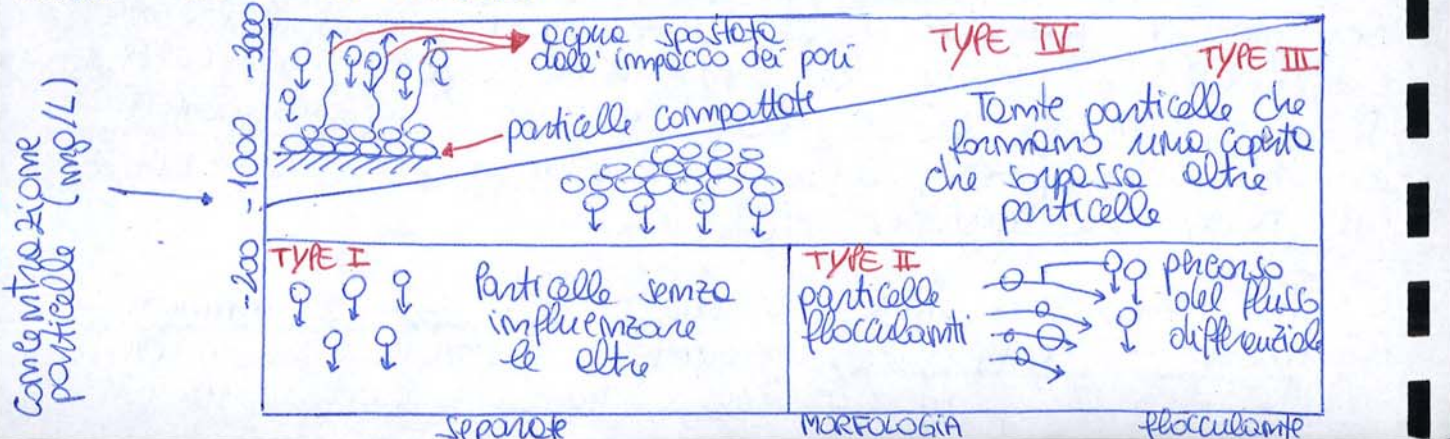
Introduciamo subito le due definizioni:  
 • la coagulazione è la destabilizzazione di particelle colloidali, realizzata tramite l'aggiunta di un reagente chimico, chiamato coagulante.  
 • la flocculazione è l'agglomerazione di particelle destabilizzate in microfloc e poi in fiocchi grossolani che si possono depositare, detti floc, d'aggiunta di un altro reagente detto flocculante o di un catalizzatore può promuovere la formazione dei floc.

me vogliamo due.  
 Nel trattore viene alimentato il liquore nella parte centrale avviene la miscelazione e mentre viene iniettato alum. Il contatto tra liquore e coagulante avviene nel cilindro piccolo centrale dove insiste l'elice; poi il liquore deve iniziare la flocculazione in una zona troncoconica e una cilindrica (centro e sinistra) e lo portate attraverso sezioni sempre maggiori man mano che scende: questo fa sì che la velocità diminuisca, il liquore quindi rallenta nella parte troncoconica e poi diventa costante. Questo serve a favorire l'operazione di flocculazione perché così gli aggregati hanno modo di aumentare le proprie dimensioni in un tempo lungo. Arrivati sul fondo, il flusso deve risalire verso l'alto, la sezione a sinistra sarà ancora più ampia e la velocità viene ancora diminuita: questa è la zona in cui avviene la sedimentazione.

È un sistema molto compatto, usato per portate basse e che lavora a se stante e i fattori che possono promuovere sono il gradiente di velocità, il tempo e il pH. Il tempo e il gradiente di velocità sono importanti per aumentare la probabilità delle particelle di unirsi; il pH è fondamentale nella rimozione dei colloidali.

**3) SEDIMENTAZIONE PRIMARIA:**

Lo scopo è quello di provvedere alla rimozione delle particelle facilmente sedimentabili (3-6 ore al massimo); ha effetto principalmente sui solidi sospesi, ma non interviene sulle componenti colloidali o disciolte. È la separazione di aggregati solidi da un sistema liquido e si identificano varie zone di lavoro:



aggiunto degli additivi chimici per favorire la sedimentazione. Nel sedimentatore secondario i valori sono bassi perché si hanno fanghi di origine organica, cioè microrganismi, risparmio sulla superficie e una sezione più piccola.

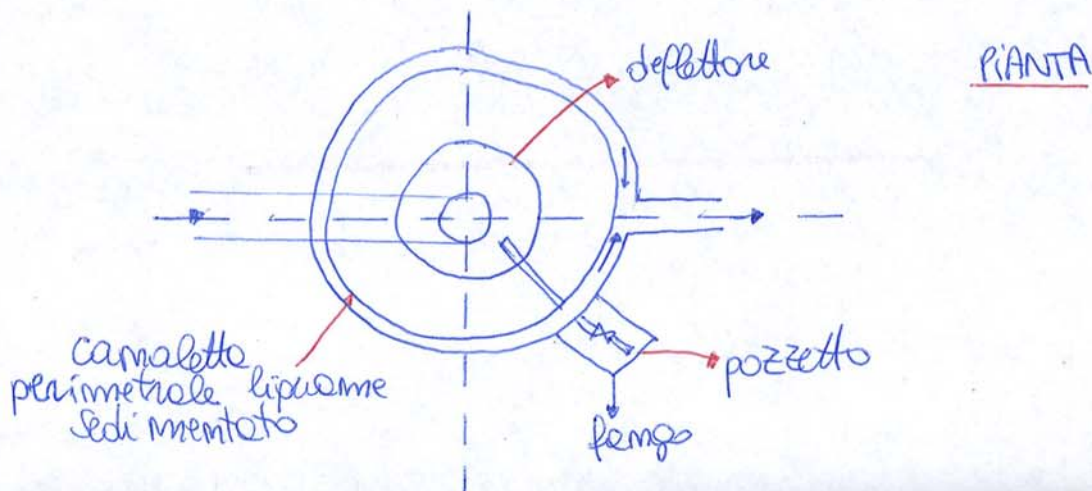
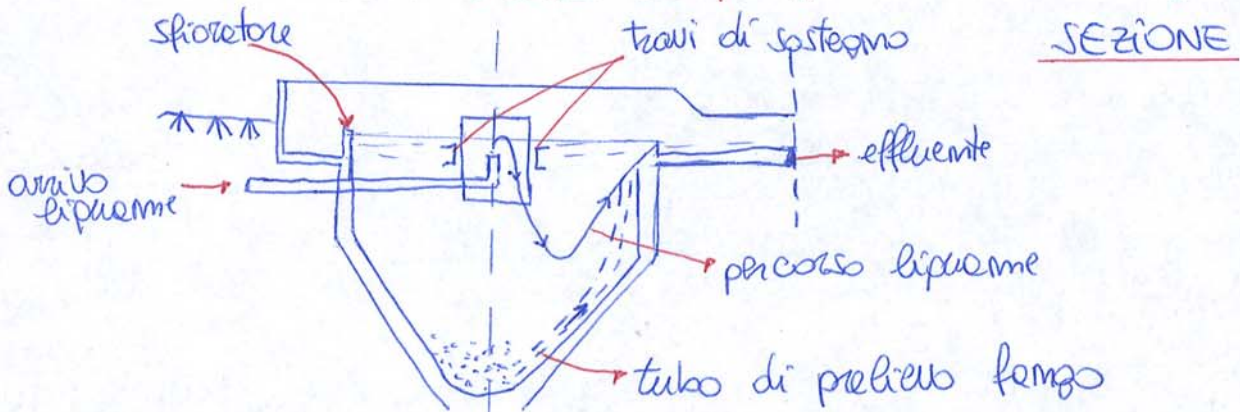
Carico idraulico superficiale (m/h)

	Sedimentatore primario	Sedimentatore secondario
- Solo trattamenti meccanici	1,5-0,8	
- con precipitazione chimica	4-2,5	1,5-1
- con yosee e fanghi attivi	1,5-0,8	1,5-1
- con letto percolatore	4-2,5	1,2-0,5

• Sistemi statici:

Sono usati per portate piccole, per impianti industriali e consortili piccoli ( $\approx 5000$  abitanti equivalenti).

SEDIMENTATORE DORTMUND (a flusso ascendente)



grado di intrappolare le particelle più minute presenti nel liquido, che altrimenti sarebbero trascurate fino allo sfioro delle vane del moto del liquido ascendente. Poi inverte il percorso per risalire incontrando delle sezioni crescenti e le velocità decrescono.

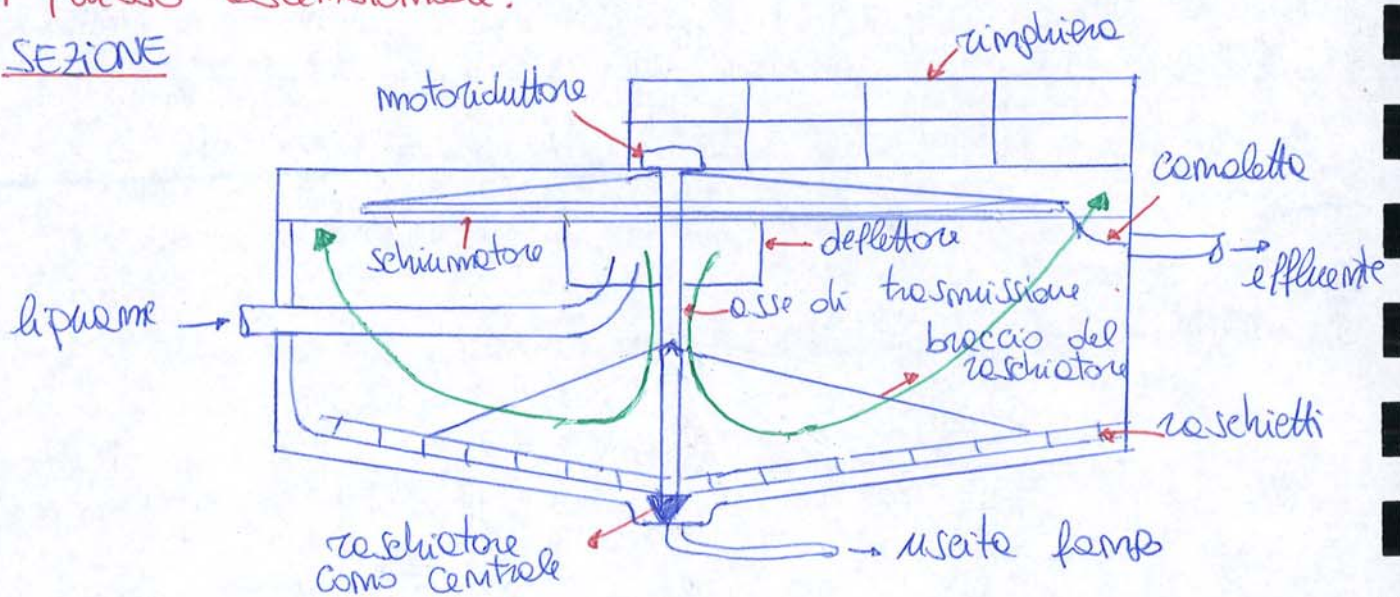
Lo sventaggio è che è necessario un cono ancora più grande, quindi aumenta la sua profondità avendo un angolo di 60° e i costi aumentano; di conseguenza spesso si ricorre a vasche con diverse conformazioni. Ecco allora che sono stati pensati i sedimentatori di tipo dimemico, con cui si sta su diametri di 6-8 metri.

• Sistemi dimemici:

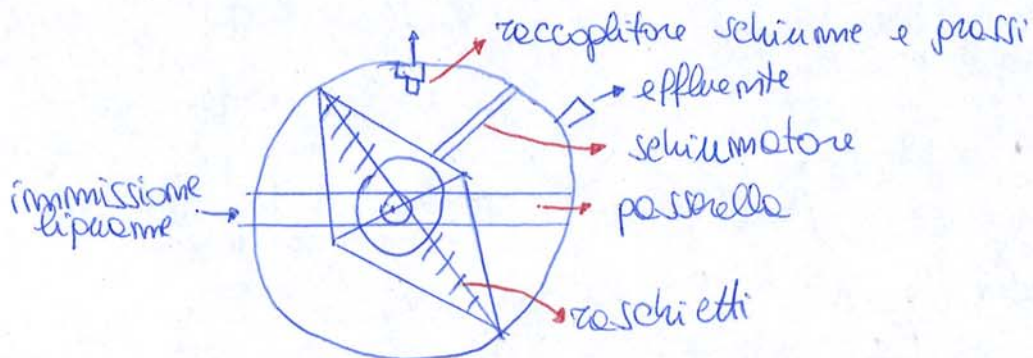
Per potenzialità d'impianto che richiedono capacità superiori a 600 - 1000 m<sup>3</sup> le vasche ascendenti diventano troppo profonde, per cui si ricorre a questi sistemi con vasche meno profonde dotate di fondo con limitata pendenza.

A flusso ascendente:

SEZIONE



PiANTA



Il tempo di permanenza di entrambi i sistemi è di circa un'ora e mezzo e vale sia per sistemi statici che dinamici: di solito dovrebbe essere tra 2 e 3 ore.

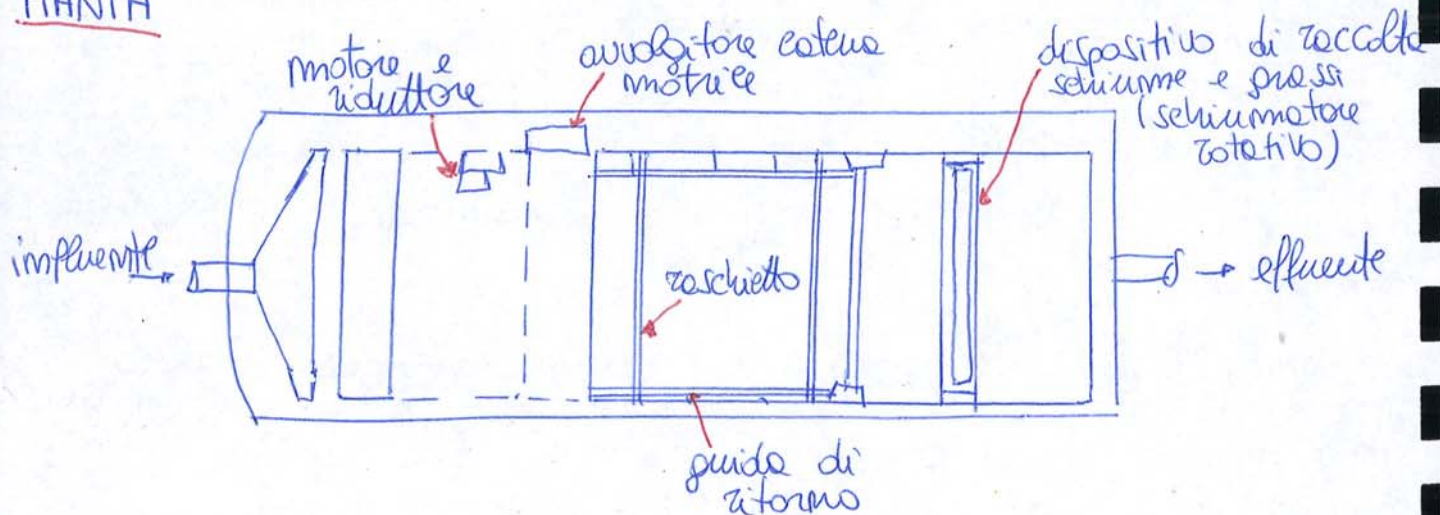
Nel passaggio del liquore il tempo di permanenza deve dare modo agli aggregati di sedimentare: il fondo della vasca è inclinato e ci sono dei raschiatori.

Con il sistema di catene essi spostano il fango verso il pozzo aumentando la sua concentrazione e liberando gli agglomerati dell'acqua; il liquore viene poi scaricato e procede nell'impianto.

Su grossi impianti possono esserci problemi di spazio quindi oltre usare M-sistemi di questi piuttosto che le vasche circolari: dal punto di vista del risultato, se sono ben dimensionati, i due sistemi presentano la stessa efficienza e gli stessi costi di gestione, in quanto da una parte ci sono i buccia e dall'altra le catene.

Il sedimentatore a flusso longitudinale non è altro che la vasca API, in cui avviene la separazione naturale, in base al peso specifico, delle sostanze pesanti che sedimentano da quelle leggere che risalgono in superficie. I principali fattori che influiscono sul dimensionamento sono: portata, temp. del liquido, densità delle particelle, dimensione delle più piccole particelle di olio che si vogliono separare.

### PIANTA



## 1) OSSIDAZIONE BIOLOGICA DI C E N:

Nel liquame c'è già una parte di biomassa e bisogna controllare la popolazione di questi microrganismi. Ci serviranno meccanismi di tipo aerobico e l'ossigeno è libero, non legato, cioè  $O_2$  molecolare, perché sono microrganismi aerobici obbligati.

Al di sotto di una certa concentrazione di  $O_2$ , il microrganismo non lavora, si disattiva. Crescono problemi nella popolazione, le concentrazioni di saturazione per l' $O_2$  in acque lette nelle tabelle comuni non sono più valide perché il liquame è sporco e non è acqua pulita, sono valori inferiori rispetto ai soliti. Bisogna garantire continuamente che nel liquame ci sia una come di  $O_2 > 1 \text{ mg/L}$ .

Se non ci fosse un'aerazione, queste come sembrerebbe nel tempo perché bisogna tener conto di 3 utilizzi:

- ossidazione delle sostanze inquinanti:  $O_2$  chimico;
- quota che deve essere garantita per la respirazione dei microrganismi, per il loro metabolismo;
- serve per ossidare il carico ammoniacale ad azoto nitroso.

Su acque di scarico civili, il 3° contributo è obbligatorio perché l' $N_2$  ammoniacale è sempre presente; su acque industriali, invece, questo contributo potrebbe essere nullo.

Le temperature in pratica non cambiano ma c'è un effetto termico visibile: i valori medi dell'effetto termico legato ad un processo ossidativo sono  $32-34 \text{ kcal/g}$  di  $O_2$  consumato. Le come di sostanze disciolte che verranno ossidate sono modeste, quindi quest'effetto non si vede; nelle acque di solito si arriva a  $30^\circ\text{C}$  in determinati settori industriali quando la popolazione cresce e si sviluppa colore e aumenta la temp., invece ciò non può succedere negli impianti civili.

Dal punto di vista impiantistico ci sono 2 possibilità:

- reattori trifasi  $\rightarrow$  biomassa sospesa
- sistemi a biomassa adesa



da una vasca di reazione dove avviene il contatto tra la popolazione batterica e lo scarico da depurare. da miscela aerea, in uscita dalla vasca, viene inviata alla sedimentazione dove i fiocchi di fango attivo vengono separati dall'effluente depurato che può quindi essere scaricato dalla superficie del decantatore, mentre il fango viene reintrodotta parzialmente nel sistema e in parte viene estratto periodicamente come fango di surplus da avviare allo smaltimento.

Il dimensionamento di una vasca del genere deve essere fatto conoscendo quanto mangiamo i microrganismi; il parametro che definisce il livello di inquinamento di quell'acqua di scarico è il BODs e si vuole sapere quanto se ne mangiano i microrganismi.

• Fattore di carico del fango (F/M) = kg BODs / kg VSS d  
 VSS = solidi sospesi volatili

Indice il rapporto tra il cibo e la quantità di microrganismi riferito al giorno; le cinetiche sono molto lente, proprio perché si usa il giorno come misura

e' e' poca quantità di organico e la parte inorganica a questo punto è più stata eliminata; i valori medi sono i 2/3 del totale, cioè circa il 70% e rappresenta la reale parte attiva di questi microrganismi.

d'analisi per capire l'efficienza si fa allo scarico = si individuiamo 4 campi di lavoro che riflettono 4 intervalli di F/M:

	<u>F/M</u>	<u>tempo (h)</u>
aerazione prolungata	0,02 - 0,15	12 - 78
basso carico	0,2 - 0,3	5 - 7
medio carico	0,3 - 0,5	3 - 5
alto carico	0,5 - 0,8	1,5 - 3

d'aerazione prolungata (o ossidazione totale) è un tipo di processo con cui quello che esce contiene ancora parte ossidabile, quindi non è una combustione. I valori di F/M sono molto piccoli, diemo poco da mangiare ai microrganismi, le loro cinetiche è lenta e il tempo di permanenza diventa lungo; altro quindi bisogno di

Molti problemi di odori perché non ho incontro a processi di putrefazione, cioè processi biologici anaerobici che avvengono magari quando il fango scaricato è tenuto lì senza essere usato.

→ ciò accade nell'aerazione prolungata

- Con l'alto carico la situazione cambia perché i microrganismi sono attivi e ciò che avviene, avviene nelle vasche e fanghi attivi; quando si trovano in mancanza di ossigeno, i microrganismi anaerobici cominciano a lavorare quindi bisognerebbe valutare la questione odorigene e di igiene e di conseguenze si deve far in modo di trattarli subito per evitare ciò.

Se X<sub>in</sub> dovesse essere diversa da zero e prima più di microrganismi, non sarebbe necessario il riciclo. Quando si ha tutto l'impianto nuovo e arriva la 1<sup>a</sup> portata, bisogna aumentare il n° di microrganismi per riempire le vasche; all'inizio tutto quanto è riciccolato per far crescere la popolazione e per arrivare alle condizioni stazionarie ci vorremmo circa 4 mesi.

Andando a vedere il colore del fango, si capisce cosa succede: se è giallastro vuol dire che sta succedendo qualcosa e si comincia a valutare i tipi di microrganismi che ci sono e assicurarsi che non ci sia presenza di alcuni di essi sugli altri.

A livello di concentrazioni, quelle considerate normali nelle vasche e fanghi attivi e non all'inizio sono comprese tra 3 e 6: X<sub>A</sub> = 3-6 kg VSS/m<sup>3</sup> con alto carico.

X<sub>A</sub> è la concentrazione nelle vasche in condizioni stazionarie, X<sub>F</sub> sarà superiore e corrisponde al 2-3% in peso uscente da un sedimentatore funzionante ed è dell'ordine di 12-13 kg VSS/m<sup>3</sup>.

Normalmente con l'aerazione prolungata si lavora con come di X<sub>A</sub> più alte, circa 5-6; le portate con cui si lavora, però, sono uguali sia per l'aerazione che per l'alto carico.

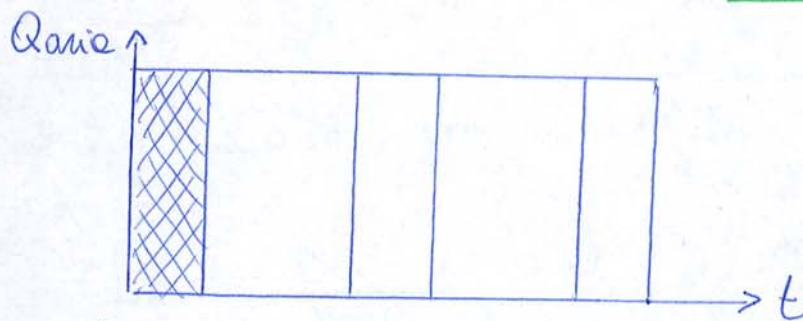
• Fattore volumico di carico del fango:

$$F_v = X_A \cdot F/M \quad \text{kg BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

questo, ci vorrà una quantità di ozono in rapporto stechiometrico perché in realtà si lavora con l'aria. Si nota che alla fine si deve portare una quantità maggiore di aria rispetto a quello che deriva dalla formula perché le rese di trasferimento sono molto piccole (le rese e diverse dall'efficienze di rimozione del carico inquinante).

d'O<sub>2</sub> non si assorbe completamente nell'acqua e ciò non ha a che fare con l'efficienza di rimozione che è circa 90%. invece la resa di trasferimento è circa 20%. perché assorbo poco, anche se ad esempio alzo il 100%, quindi ciò avrà un costo.

- Supponiamo di aver calcolato le Qarie giornaliere:



Devo avere un compressore in grado di mandare una portata di aria maggiore in quell'intervallo uguale a quella che manderei se lavorassi in continuo.

L'aerazione viene fatta in maniera discontinua, essa parte per 5 minuti e poi si ferma per 55 minuti = deb vedere qual è la portata ottimizzata nell'intervallo di aerazione, la portata sarà divisa in 5.24 e non 60.24 ore.

de cinetica e molto lenta e l'aerazione non è continua perché sprecherai più aria; significa in parte raffreddare la massa.

$$\eta = \frac{\text{portata reale}}{\text{portata ideale (O.R.)}}$$

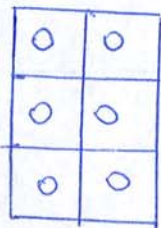
Se ho lipuame, e non acqua pura, l'efficienza diminuisce, ciò dipende anche dal battente di lipuame che varia nel tempo; quando questo aumenta, la pressione aumenta e anche l'efficienza migliore.

disperdono in piccole gocce in atmosfera, in prossimità della superficie. Entrate dell'aria che viene inglobata e ci sono bollicine di aria che devono essere inserite nelle vasche; si ipotizza che le conc. di microrganismi e di  $O_2$  disciolto siano costanti nelle vasche.

Si cerca di non avere zone di ammassamenti di microrganismi e di evitare che tra le linee di flusso possano esserci zone morte. Se facessimo la vasca di forma quadrata, anche nello spigolo potrebbe esserci una zona morta, quindi la rotazione delle turbine serve pure per evitare ciò.

È un sistema discontinuo, non costa tanto in termini energetici, ma di manutenzione. Nella rotazione si vengono a formare delle goccioline di liquido, in particolare di lipume, che potrebbero essere trasportati nei dintorni della vasca e magari colpire gli operatori; quindi dal punto di vista igienico non è il massimo.

La vasca è idealmente divisibile in sottovasche:



in base al volume di influenza, decido di mettere un certo n° di turbine in modo da avere tutte le masse di lipume investite dalle loro rotazioni.

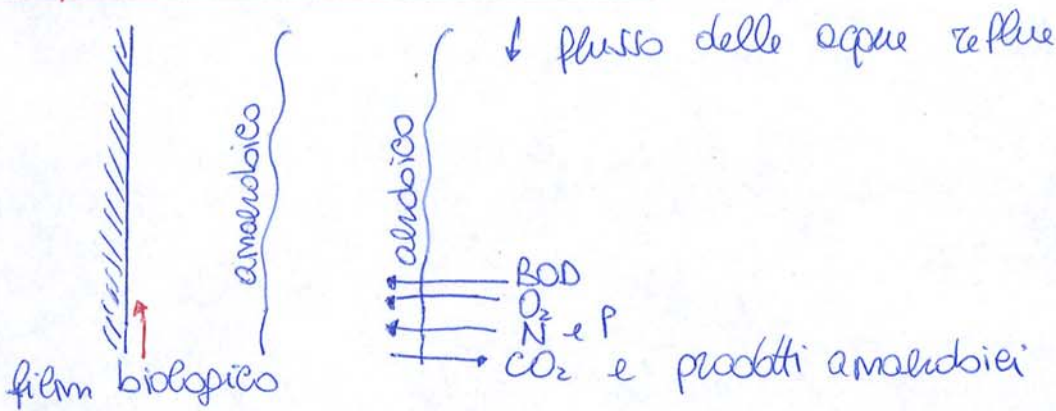
Le turbine girano tutte insieme e lavorano allo stesso modo. Il sistema aria-acqua è detto coalescente, cioè le bolle, anche se non sono piccole, diminuendo la pressione diventano più grosse: si crea quindi un'area superficiale minore, una efficienza più bassa e un sistema peggiore.

Ciò non significa che diamo meno ossigeno, ma ne mettiamo di più.

Un altro inconveniente per i paesi freddi è che la vasca ingloba aria fredda, quindi ci sarà un raffreddamento del lipume, che diventa importante quando le cinetiche dei microrganismi sono grosse.

I sistemi ad aerazione superficiale hanno buone rese, in termini di trasferimento di ossigeno al liquido per unità di potenza installata. Sono però più rumorose rispetto agli altri sistemi e formano la formazione di gelo invernale.

• Impianti a biomassa estesa:



Si ha una struttura su cui viene fatta crescere la biomassa, la quale deve essere inerte al processo di crescita dei microrganismi, non si deve consumare.

È un sistema a film: liquame, microrganismi che devono crescere, ma che deve fornire l'ossigeno. Spesso oggi le strutture sono in materiale polimerico, più leggero e si può avere una porosità a piacere; il supporto può essere pinnati di origine minerale o polimerico.

È necessaria dell'aria, ossigeno che serve per il metabolismo degli organismi, che vogliamo siano aerobici; il sistema prevede un passaggio del liquido dall'alto verso il basso per gravità. Nella precipitazione, attraverso il supporto, viene a contatto con la popolazione microbica e con l' $O_2$ , che deve essere disciolto in modo da poterlo riutilizzare; viene a contatto anche con  $N_2$  e  $P$  nella concentrazione.

Si forma  $CO_2$  e acque nelle respirazioni, insieme a nuove cellule. Il film biologico, cioè lo strato di microrganismi si divide in due parti:

- strato esterno → aerobico e contatto con l' $O_2$
- strato interno → anaerobico

Devo popolare un sistema solido su cui cresce la popolazione e lo strato di film cresce con la popolazione fino a quando diventa molto spesso; dopo un po' i microrganismi debbono staccarsi dalle strutture per essere immobilitati. A contatto con il mezzo, con le strutture, se c'è carenza di  $O_2$ , i microrganismi anaerobici non lavorano più e si trovano sparsi lì sul mezzo, sotto forma di bollicine.

Quando il sistema è anaerobico i prodotti del metabolismo sono  $CH_4$  e  $CO_2$  (di solito c'è più  $CH_4$  che  $CO_2$  sono entrambi gas); il film biologico è molto sottile e

Si tratta di un sistema a riempimento polimerico con due colonne ad assorbimento, insieme alle vesche e fanghi attivi, rappresenta uno dei metodi di trattamento biologico aerobico degli effluenti urbani.

d'azione avviene in maniera naturale e causa delle reazioni esotermiche che avviene all'interno che riscalda e quindi, essendo aperte sopra e sotto, si crea un tiraggio naturale, oppure artificialmente mettendo delle ventole ai lati nella parte bassa della vasca con un sistema che lo distribuisce per tutta la superficie.

Il liquame proveniente dalle fase di sedimentazione primaria e quindi già chiarificato, viene distribuito a spruzzo sulla superf. del pietrisco per mezzo di alcuni bracci rotanti, il cui moto è dato dalla spinta del liquame stesso fuoriusciti dai bracci costituiti da tubi forati.

Si usano di solito 4 bracci rotanti perché poi di più costa di più, invece se ne avessi di meno, darei più o meno più velocemente e schizzerebbe tutto. Questi bracci girano lentamente per evitare la centrifugazione; anche se ruotano velocemente ci sarebbero lo stesso le zone appese prima o appese dopo i bracci che non sono interessate al liquame quindi la distribuzione non è omogenea, il sistema non è perfetto e non è continuo ma nell'insieme funziona.

Nella parte inferiore c'è il materiale grossolano che serve come drenaggio e dei bocchetti che servono per fare passare l'aria; il fondo è leggermente inclinato.

Il passaggio del liquame attraverso il letto avviene per caduta e percolazione da una pietra all'altra in modo che l'intero letto non è mai sommerso e gli spazi liberi consentono il passaggio dell'aria; è un processo lento durante il quale si lavano i microrganismi morti che si sono staccati.

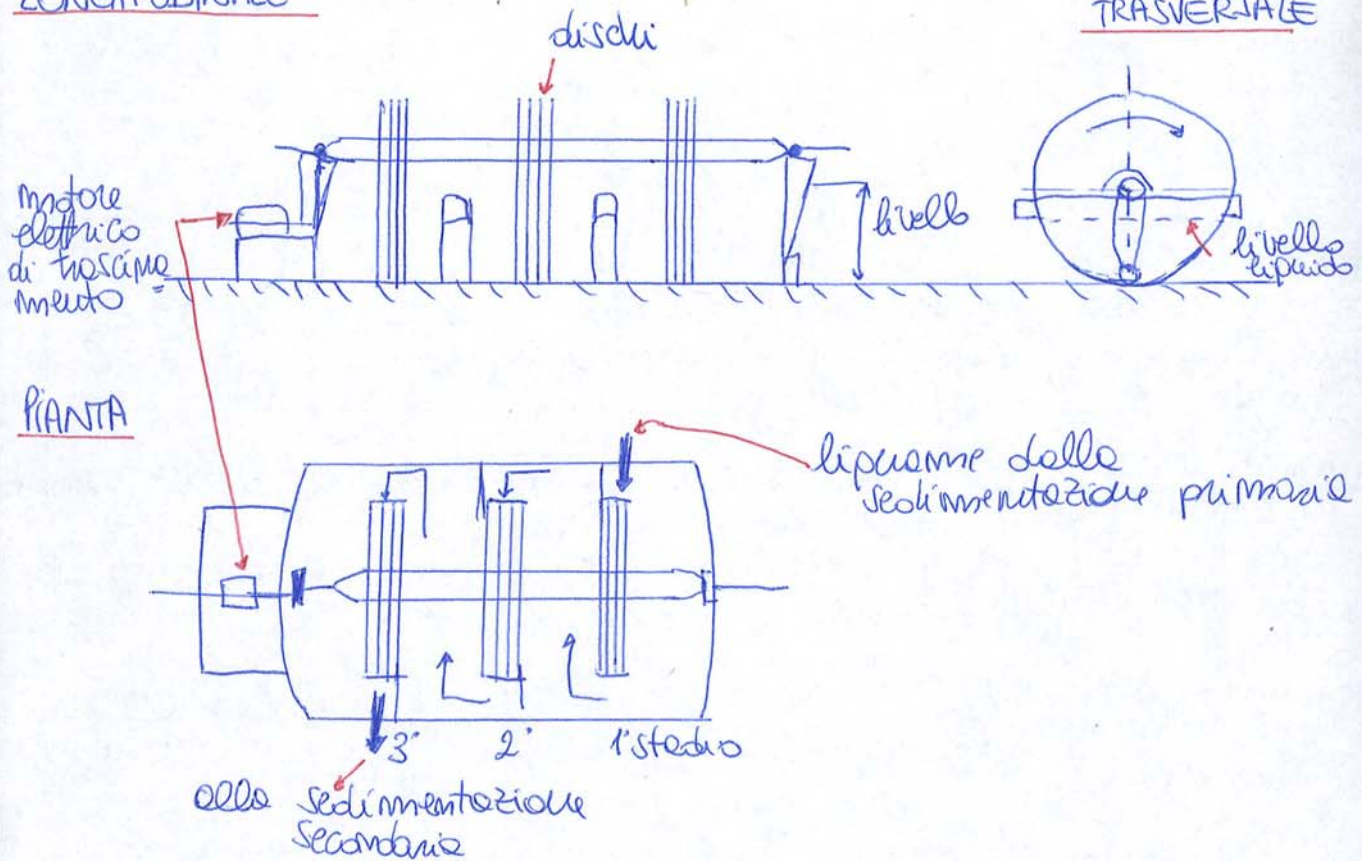
d'ambiente aerobico favorisce l'adsorbimento delle sostanze organiche sulle superfici del pietrisco tramite lo sviluppo di una ricca popolazione batterica che è in grado di metabolizzarle.

Allo base del letto il liquame depurato e le pellicole batteriche che periodicamente si staccano dal pietrisco vengono raccolti tramite canalite diamanti e convogliati verso un sedimentatore finale con lo scopo di separare i fanghi dal

• BIODISCHI :

SEZIONE LONGITUDINALE

SEZIONE TRASVERSALE



È un sistema utilizzabile per la biomassa edera ed è costituito da contattori biologici rotanti non ad alta velocità. Sono di selci in materiale polimerico per evitare che si staccino durante la rotazione, non liscie ma collegati in modo che la crescita del film sia facilitata. Questi sistemi vanno bene per piccole portate, non per grandi impianti per motivi economici e non di efficienza; vanno bene anche per impianti industriali.

Il sistema può essere posto al chiuso e ciò è un vantaggio per quando piove o quando ci sono basse temp.; è un sistema trafasico, costituito dal supporto su cui crescono gli organismi.

Mentre nei letti percolatori la fase liquida scorre percolando su un supporto fisso, nei dischi biologici sia il liposoma sia il supporto sono in movimento; in entrambi i casi le masse attive ederose, sotto forma di pellicola, al supporto.

Il sistema a dischi viene inserito di norma subito a valle della sedimentazione primaria oppure, non sussistendo

fredda che entra, viene a contatto con una zona calda e c'è un effetto di tiraggio naturale e l'aria va dal basso verso l'alto. Nelle stagioni estive invece più si raffredda più l'aria diventa pesante e l'azione avviene dall'alto verso il basso.

Durante l'operazione si cerca quindi di mantenere i dischi in verticale e quelli che si sono rovinati devono essere sostituiti. Il parametro di progetto è il carico di fango ( $\text{kg BOD}_5 / \text{m}^2 \text{dischi} \cdot \text{d}$ ): i dischi hanno due facciate quindi devo calcolare l'area complessiva. L'operazione è molto simile a quella delle torri a riempimento: qui muovo i dischi, là muovo l'aria; questo sistema costa di più.

Si può ridurre il carico e permettere una maggiore nitrificazione o aumentare il carico e ridurre la nitrificazione. L'area di scambio da calcolare può essere ottenuta supponendo che:

$$0,5 - 2 \text{ ab. eq. / m}^2 \text{ d} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} = 1 \text{ m}^2 \text{ abitante} \\ \sim 90 \rho \text{ BOD}_5 / \text{ab. eq.}$$

Si capisce quindi che le dimensioni possono essere limitate (1000 ab  $\sim$  1000  $\text{m}^2$   $\sim$  500 dischi); per questo motivo tali apparecchiature si impiegano per piccolissime operazioni.

A livello industriale, il dimensionamento viene fatto sulla base dell'attività specifica, che può produrre più o meno  $\text{BOD}_5$ . In entrambi i casi i calcoli effettuati devono essere semplificati al massimo e bisogna prevedere un dimensionamento, a causa di possibili oscillazioni durante gli anni.



In questo modo trasformo l'azoto poco alla volta e si forma meno gas ed è più favorita la sedimentazione. In questo modo non ho bisogno di aggiungere substrato in più perché all'inizio ho una giusta quantità di carbonio e azoto.

All'avviamento il sistema non è perfetto, per questo si deve raggiungere un transitorio = così facendo il substrato è subito disponibile per la denitrificazione.

I processi avvengono in modo non molto controllato per piccoli impianti, mentre per grandi impianti si preferisce il II° schema, più controllato. Inoltre, per strutture simetriche, la liberazione di  $N_2$  può avvenire in ritardo ed è un problema nel I° schema; tale problema può essere risolto introducendo una vasca opposta per la depurazione.

## TRATTAMENTI TERZIARI

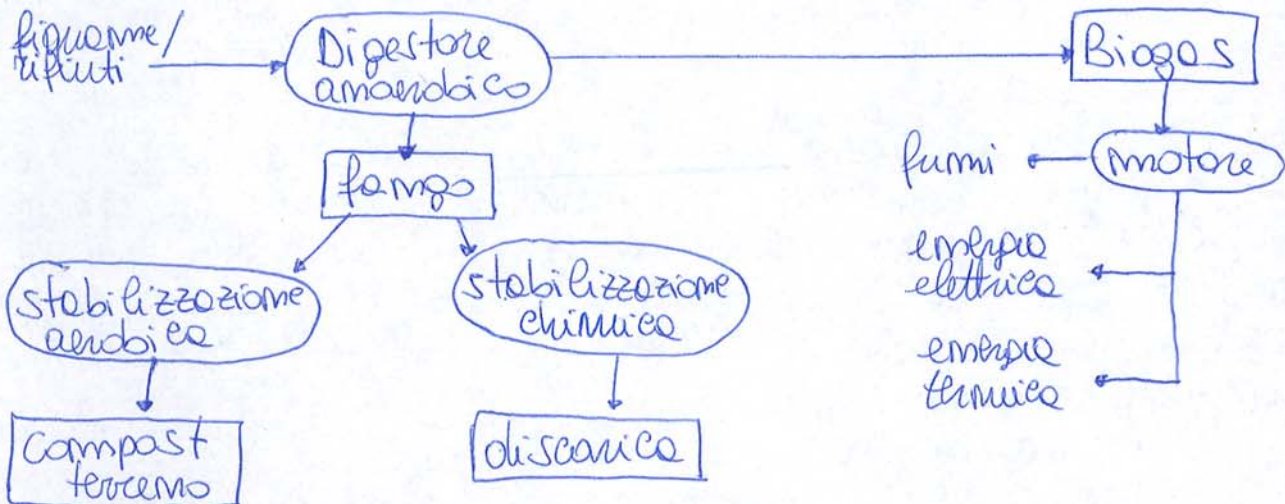
- filtrazione
- decolorazione con carboni attivi
- disinfezione (clorazione)

Sono finalizzati alla rimozione di specifici inquinanti e possono sfruttare processi chimici, fisici e biologici; sono trattamenti destinati al raggiungimento di livelli di qualità superiore.

### 1/FILTRAZIONE:

Allo scarico dei secondari, si ha un minimo di solidi sospesi che possono essere rimossi; questa operazione ha un costo bassissimo. Viene effettuata su un letto di sabbie in moto continuo, in modo da permettere ai corpuscoli di depositarsi. Con l'operazione del sistema avviene iniettando in controcorrente dell'acqua di lavaggio a velocità superiore, prima per rimuovere più facilmente i solidi e poi perché così si impiega meno tempo e si ha una portata modesta di acqua sporca, la quale deve essere mandata nuovamente al

# TRATTAMENTO DEI FANGHI



l'obiettivo primario del trattamento dei fanghi è rendere, al minimo costo, il fango idoneo per lo smaltimento finale. Anche quando l'impianto è semplificato, il trattamento secondario c'è sempre, invece il primario non sempre. I fanghi prodotti dalle linee acque degli impianti di depurazione si distinguono in:

- fanghi primari: rappresentano quella parte di solidi sospesi sedimentabili, non biodegradabili, che viene separata dalle acque reflue presso i decantatori primari; i quali non raggiungono mai un rendimento pari al 100%.

I fanghi primari sono praticamente costituiti da una miscela di composti organici, come cellulosa, zuccheri e proteine, sostanze inorganiche inerti, come sabbie e carbonati e sostanze organiche, come fibre e pomme.

- fanghi secondari o biologici: sono costituiti dalle sostanze sedimentate nei decantatori secondari dopo che il liquame è stato sottoposto al ciclo biologico del processo depurativo. Sono costituiti principalmente da biomassa batterica e da sostanze inorganiche (sali); sono biodegradabili e sono quindi soprattutto i microrganismi, in parte vivi e in parte morti. A causa di quelli vivi, il fango va in putrefazione molto velocemente, invece con aerazione prolungata si lavora con microrganismi morti, quindi il fango è più stabile e va in putrefazione più lentamente.

Non posso usare una turbina a vapore perché perderei troppo; nel caso delle turbine a gas ci sono ancora inconvenienti perché il biogas non è ancora compatibile con esse, ha ancora delle impurità presenti.

La combustione dei fumi ( $\approx 150^\circ\text{C}$ ) che vengono emessi in atmosfera, ma non inquiniamo molto perché il  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .

L'energia contenuta nel biogas corrisponde a circa il 90% di quella contenuta nelle sostanze organiche biodegradabili presenti nel fango. Il recupero più pregiato può essere quello di energia elettrica: l'energia viene prodotta in maniera continua e viene riversata sulla rete nazionale e poi pagata con un prezzo. L'energia termica può essere prodotta in impianti modesti (e non conviene produrre energia elettrica), negli impianti medio-grandi viene sfruttata in termini di produzione di acqua calda, spesso utilizzata in buona parte nell'impianto stesso, quello che avanza deve essere collocato, se non viene proprio prodotto. Ad esempio spesso si usa per il teleriscaldamento ma il problema è che questo funziona solo per 6 mesi, quindi bisogna stare attenti a non produrre più energia termica del dovuto.

Attualmente si ha Mem. elettrica  $\approx 40\%$ , cioè dal biogas può recuperare circa il 40% di energia elettrica; quello che si può sfruttare come energia termica è circa il 50% e un recupero del 90% è molto buono.

Se scarico il biogas, che è un gas infiammabile per la presenza di  $\text{CH}_4$ , ci dà anche effetto serra; se la quantità diventa rilevante, la sicurezza diventa un problema grosso.

• la digestione anaerobica è un sistema costituito da 3 fasi principali e il punto di partenza è il substrato: il substrato che arriva non è sempre lo stesso, le composizioni sono simili e le colonie presenti sono miste. Le molecole di partenza sono semplici: lipidi, proteine e polisaccaridi e gli steps sono:  
 - idrolisi: attraverso l'azione enzimatica i composti ad alto peso molecolare vengono trasformati in composti

Negli impianti di depurazione i processi di digestione anaerobica avvengono all'interno di apparati contenitori; perché la stabilizzazione del fango avvenga, si devono instaurare nel digestore condizioni ambientali tali da consentire lo sviluppo dei batteri metaniferi (fattore limitante):

- ambiente sufficientemente alcalino (pH > 6,2)
- assenza di ossigeno
- efficace miscelazione

Il digestore anaerobico è un sistema trifasico: fase liquida, fase solida (microorganismi sospesi) e fase gas che viene smaltita.

Al termine del tempo di permanenza medio, lo scarico viene scaricato (≈ 1 mese per avere una buona conversione) e trattato ed esausto: il sistema è omogeneo e continuo.

Ho due possibilità:

- aerobic stabilization (più raro)
- chemical stabilization (più sicuro)

Seguendo la 1° strada, può accadere che venga mandato all'impianto di combustione di compost; con la 2° viene mandato in discarica (sistema controllato).

Il fango, come già detto, deve essere stabilizzato perché contiene circa il 94-96% di acqua: stabile non vuol dire inerte e da allora qualche sostanza biodegradabile.

Si hanno problemi con la 2° strada perché nei fanghi possono essere ancora presenti colonie che possono dare problemi all'ambiente.

Il digestore viene in parte interrotto per due motivi: si riceve lo spazio e si coibenta la struttura; queste ultime opzioni permettono ai batteri di sopravvivere in punto mesofili e termofili ( $T \sim 30^\circ\text{C}$ ).

Condizioni termiche di reazione:

- psicrofilia:  $20^\circ\text{C}$  > 30 giorni
- mesofilia:  $35-37^\circ\text{C}$  14-30 giorni
- termofilia:  $> 55^\circ\text{C}$  14-16 giorni

All'aumentare della temp. di processo, diminuisce in modo proporzionale il tempo necessario a decomporre le materie organiche: per queste ragioni le cond. ottimali di esercizio

acqua, 5% solidi); per aumentare le rese si procede ad una concentrazione dei fanghi (~8% solidi, ispessimento) mediante un processo identico alla sedimentazione, anche usando le stesse apparecchiature e quindi con lo scarico dell'acqua chiarificata.

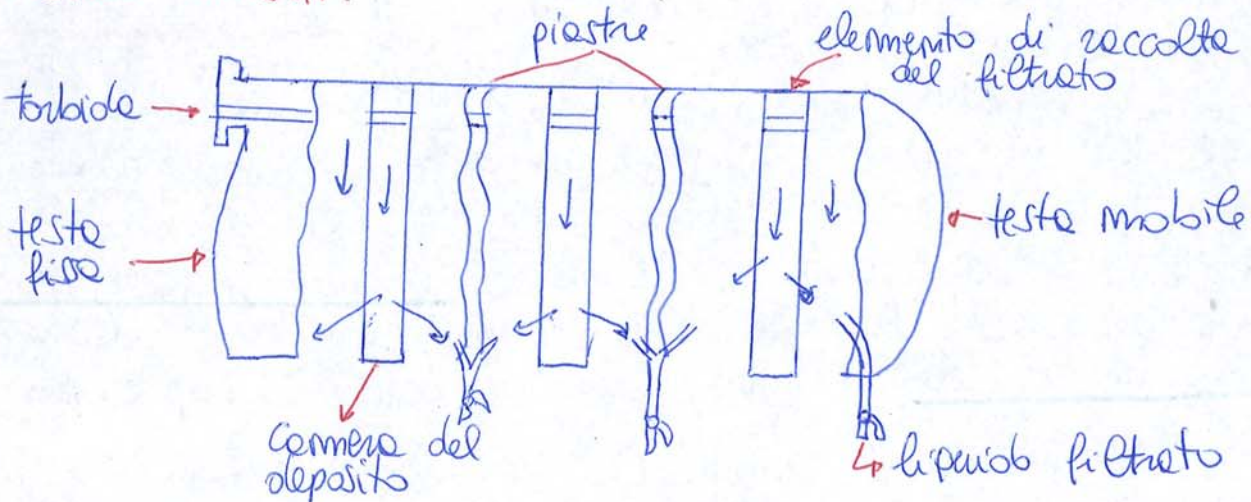
Il fanghi ispessito viene mandato nelle vasche per il condizionamento, dove si hanno due operazioni sequenziali: la prima attiene alla disidratazione del fango in cui si impiegano sostanze ( $FeCl_3$ ) che permettono la disidratazione (coag. + floccul.); la seconda operazione serve per l'igienuizzazione mediante il latte di calcio che aumenta il pH e in tali condizioni i microrganismi muoiono.

A questo punto il fango viene mandato ad apparecchiature che separano ulteriormente fanghi e acqua, la quale viene riciclata, tramite il filtro pressa, il solido viene raccolto mediante sistemi di trasporto idonei ai solidi e viene mandato in discarica (50%  $H_2O$ , 50% solido).

Se si effettua il compostaggio, economicamente non cambia nulla, ma deve limitare i reagenti per evitare sostanze pericolose, quali  $SO$ ,  $NO$ , ... Questo porta ad una diminuzione della quantità di carico; i fanghi possono essere usati in agricoltura, ma con problemi sulle sostanze non organiche.

Il fango viene disidratato mediante tecnologie, quali: filtro pressa, mastropresse e centrifugazione:

### 1) FILTRO PRESSA:



Il processo consiste nel far separare l'acqua del fango mediante l'applicazione di una forza centrifuga.

Il fango viene immesso nella centrifuga attraverso un tubo fisso che corre al centro di un tamburo cilindrico, con un'estremità troncoconica, in rotazione ad un alto n° di giri. In brevissimo tempo i solidi si addensano contro la parete interna del tamburo.

All'interno del cilindro c'è una coclea, che ruota nello stesso senso del tamburo, ma ad una velocità inferiore e muove il fango. Questo trasporta continuamente i solidi verso l'estremità del tamburo stesso dove è situato lo scarico; lungo il percorso il fango perde parte della sua acqua che viene scaricata all'esterno attraverso un disco sfioratore.

La separazione avviene nelle zone cilindrica e quella conica, diminuendo la luce di passaggio; avviene in continuo, ma con costi elevati.

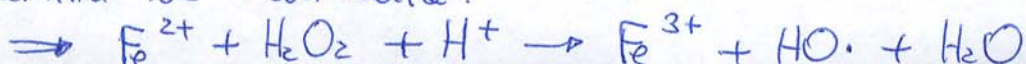
## TRATTAMENTI NON BIOLOGICI

Utilizzabili con acque di scarico con molecole non biodegradabili e capite con acque industriali, ma anche acque civili. Sono di tipo chimico, più costosi perché hanno la necessità di avere dei reagenti e anche per lo smaltimento; possono essere anche di tipo fisico, più semplici da gestire e più economici.

Esempi: sistemi fotochimici, carboni attivi, processi e membrane.

### 1) FELTON:

Il meccanismo prevede l'intervento di un radicale libero che si lega alla sostanza da eliminare, nel nostro caso al gruppo cromoforo. Per fare ciò si deve lavorare in ambiente fortemente acido (pH ~ 2-4) e si può utilizzare  $Fe^{2+}$  che si converte in  $Fe^{3+}$ . Al termine dell'operazione è quindi necessario eliminare tutti gli ioni presenti e garantire la neutralità.



# TRATTAMENTI PER RIFIUTI SOLIDI E LIQUIDI

Il trattamento dei rifiuti consiste nell'insieme di tecniche volte ad assicurare che i rifiuti, qualunque sia la loro sorte, abbiano il minimo impatto sull'ambiente.

Può riguardare sostanze solide, liquide o gassose, con metodi diversi per ciascuna. Sono regolati dalle normative 2008/98/EC, in cui si definisce una gerarchia per il loro smaltimento. Si ha quindi una lista di operazioni finalizzate ad evitare il conferimento dei rifiuti in discarica, con recupero di materiale o energia.

- riduzione della produzione di rifiuti (prevenzione): è bene considerare le pericolosità dei rifiuti prodotti, paragonabile alle quantità → tecnologie pulite
- riutilizzo: diverso dal riciclaggio, recupero del rifiuto, piccole operazioni di ripristino (es. lavaggio)
- riciclaggio: incluso compostaggio, prevede il dispendio di una certa quantità di energia e alla fine si ottiene un nuovo prodotto da impiegare
- recupero di energia: prevede incenerimento, combustione dei biogas di discarica e gasificazione e pirolisi, con la formazione di sostanze che portano al recupero di calore
- smaltimento o discarica: tutto ciò che viene messo in discarica è perso per sempre, è un'operazione che dovrebbe essere bandita. È comunque una forma di trattamento ancora utilizzata e consiste nella perdita di ogni tipo di energia o di materia in esse contenute.

## • Parametri caratteristici per rifiuti solidi e liquidi:

Bisogna caratterizzare il rifiuto per poi capire come trattarlo:

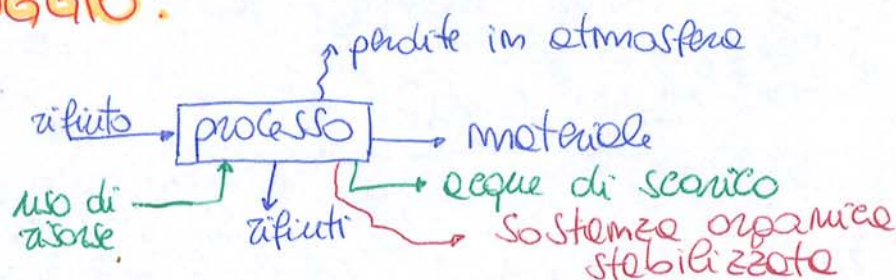
- frazioni merceologiche (% in peso su tutto il rifiuto): sono il vetro, le plastiche, il tessile, le carte, ecc...  
Si fa un'analisi quantitativa e, facendo più analisi, il risultato di queste sarà diverso per ognuno.  
Facciamo una standardizzazione "locale" dove c'è un mezzo che raccoglie i rifiuti da una zona per rappresentare bene il campione: mescoliamo tutti questi rifiuti e dividiamo in campioni, circa omogenei, poi fanno le analisi di ogni campione. Su esso bisogna poi separare il campione

- potere calorifico (KJ/Kg): è alto per gomme e plastiche e basso per i metalli; le ceneri sono la parte non combustibile quindi hanno una certa importanza, così come il contenuto di acqua.

Il contenuto di ceneri riduce il potere calorifico; inoltre l'acqua presente nei rifiuti sottrae troppo calore quindi riduce il potere calorifico, invece, carte e plastiche, avendo una piccolissima % di acqua o umidità presentano una grande quantità di calore durante la reazione di combustione.

La gestione dei rifiuti liquidi è più semplice, anche se la presenza di cloro implica problemi nel controllo di fumi.

## • COMPOSTAGGIO:



Entrò con un rifiuto, ma lo trasformo in materiale, quindi il rifiuto viene recuperato e rimesso sul mercato. L'uso di risorse, a parte un po' di energia, è abbastanza scarso nel caso del compostaggio.

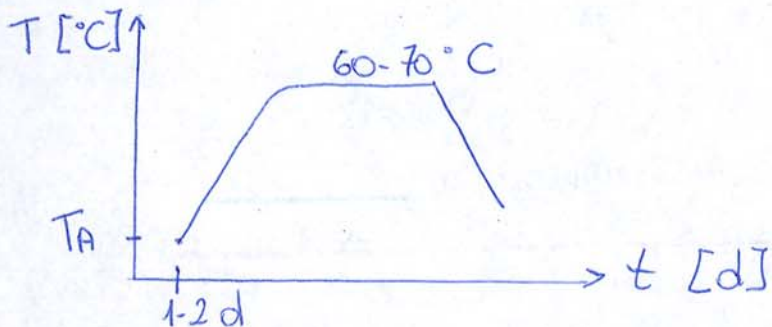
Il compostaggio, o biostabilizzazione, è un processo biologico aerobico e controllato dall'uomo che porta alla produzione di una miscela di sostanze unificate, cioè il compost, o ammendante (anche se non è un vero fertilizzante) a partire da residui vegetali o animali mediante l'azione di batteri e funghi.

Il compost serve a migliorare la struttura del terreno, non deve avere impurità, cioè metalli e plastiche, per i quali bisogna fare molta attenzione. Se si arriva al fondo dell'operazione e c'è molta plastica, si manda tutto in discarica perché non è più compost, ma viene detta frizione organica stabilizzata (rifiuto).



mente. Un altro parametro da controllare è la temperatura: puomo c'è un' affidazione, si ha sempre un  $\Delta H$  ripetito e uno sviluppo di calore.

Avendo una matrice solida, c'è un aumento della temp. della matrice stessa, anche se con delle perdite.



Spesso si lavora con sistemi aperti, cioè non c'è un reattore controllabile con le pareti esterne.

Inizialmente ho la temp. ambiente; al massimo in due giorni debbo avere un aumento repentino di temp. semmo vuol dire che i microrganismi non stanno lavorando.

I microrganismi lavorano molto e producono calore, più ↑ la temp. e la cinetica, più mangiamo.

Non meno c'è sempre meno substrato e diminuiscono le sostanze biodegradabili, la cinetica diminuisce e anche il calore fino a quando la temp. cresce sempre di meno per poi non crescere più: si arriva a condizioni stabili.

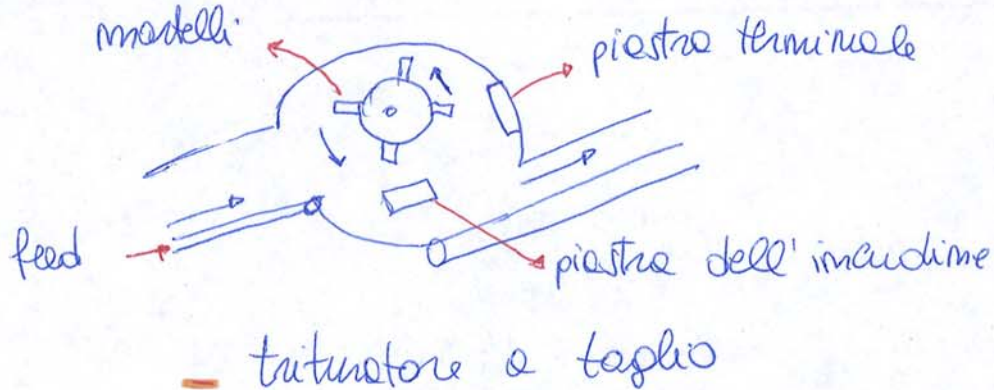
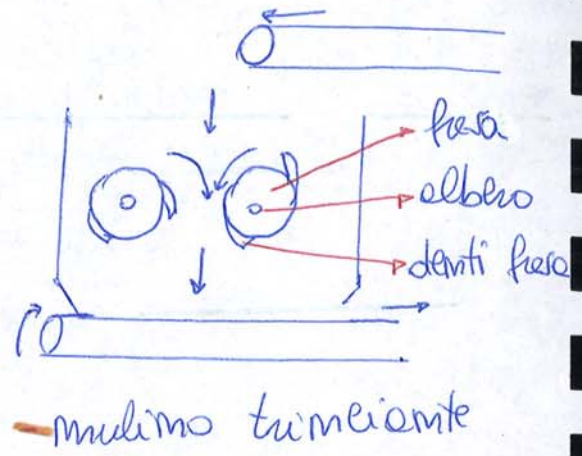
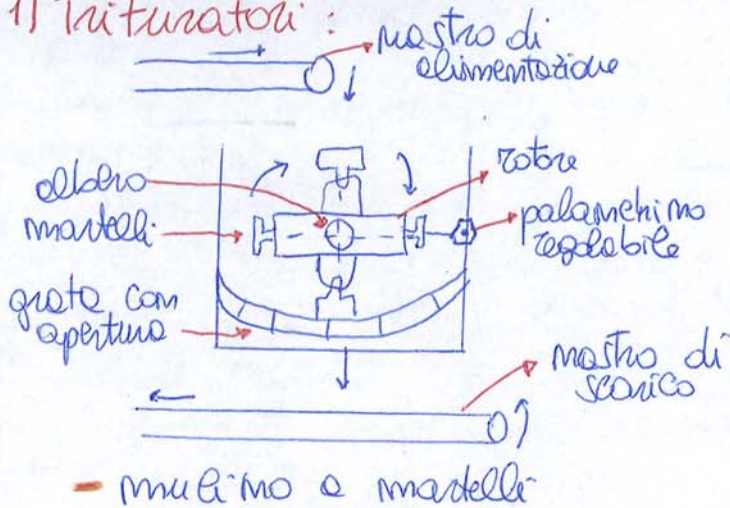
Si raggiunge una temp. costante dopo circa una settimana - 10 giorni e questo stadio dura 1-2 settimane.

La prima fase (1-2d) non ha influenza sul complesso, le altre sono più o meno bilanciate = cresce la temp. e la popolazione microbica nelle fasi di crescita, fino ad arrivare ad un punto in cui non c'è più niente da mangiare.

Alle temp. costanti vengono igienezzati i materiali, cioè muoviamo i microrganismi ad una temp.  $\geq 55^\circ\text{C}$  per 3 giorni in modo da eliminare ciò che non serve e ciò che potrebbe essere un problema per il prodotto finale.

Quando la temp. comincia a diminuire, c'è un raffreddamento e si arriva al fondo fino ad una stabilizzazione e conclusione dell'attività. Dopo la fase di maturazione ci sono dei processi biologici ancora attivi che portano alla

## 1) Trituratori:



Il primo si usa per rompere materiali duri, nell'industria mineraria, e ruota molto velocemente; il secondo ruota lentamente e lavora su motori vecchi, non fragili, in cui bisogna dare una certa energia per avere la spezzatura. Si ha una serie di alberi che lavorano in orizzontale, i dischi hanno dei coltelli che tagliano il materiale alimentato: è un'operazione semplice e costosa a livello energetico.

A valle della triturazione, spesso viene fatta la vagliatura

## 2) Vagliatura:

È una separazione secco/umido; tutto ciò che si ferma sul vaglio viene eliminato e il sottovaglio è la parte utile per l'ossidazione biologica, anche se in parte inquinata ed è anche detta frazione umida.

Il tempo di ossidazione è circa 1 mese; le perdite di processo sono costituite anche da  $H_2O$  e  $CO_2$ , e  $70^\circ C$  se me lo un po' di acqua in forma vapore.