

Parte 4

Processi di trattamento

Corso di
Competitività e Sostenibilità
A.A. 2014/2015

Massimo Raboni, PhD
mraboni@liuc.it

Processi di trattamento delle acque in un impianto di trattamento di reflui tessili: stadi principali

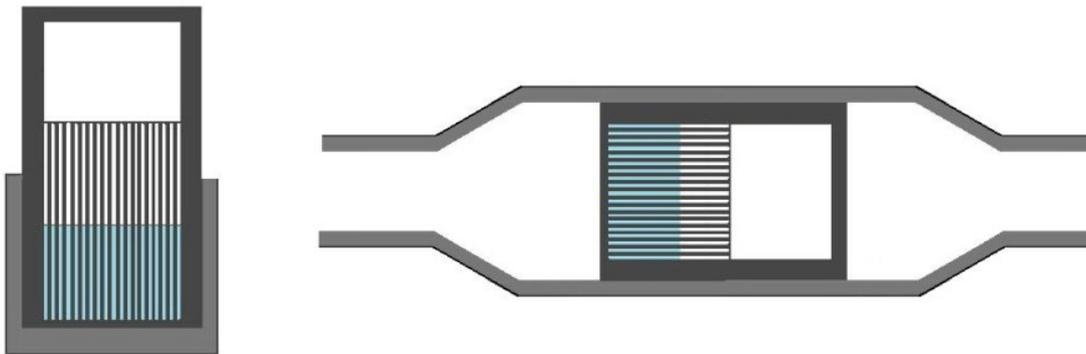
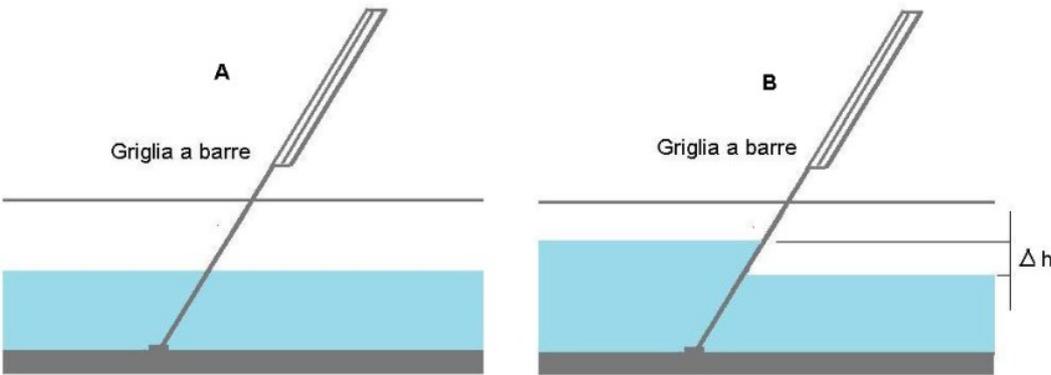
1. Grigliatura-stacciatura ([link](#))
2. Omogeneizzazione ed equalizzazione ([link](#))
3. Controllo del pH ([link](#))
4. Coagulazione-flocculazione ([link](#))
5. Sedimentazione ([link](#))
6. Ossidazione chimica ([link](#))
7. Ossidazione biologica aerobica a «fanghi attivi» ([link](#))
8. Filtrazione su mezzo granulare ([link](#))
9. Trattamento fanghi ([link](#)):
 - a. Ispessimento
 - b. Disidratazione

4a. Grigliatura - Stacciatura

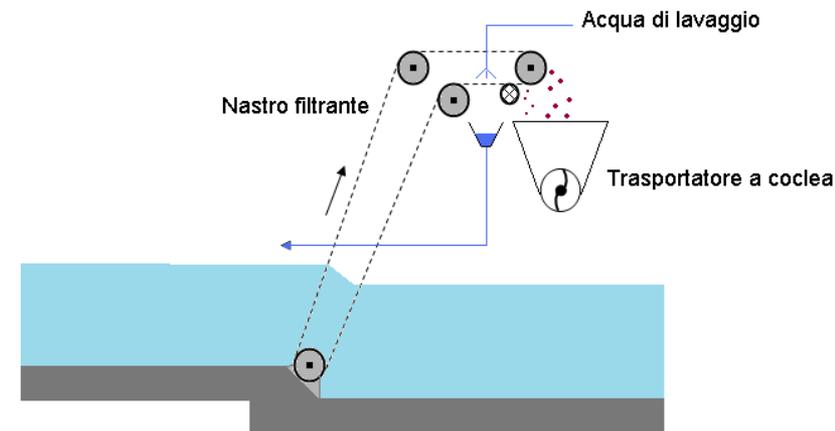
Grigliatura - Stacciatura

- E' un trattamento meccanico preliminare
- **Scopo:** rimuovere il materiale solido grossolano trasportato dalle acque
- Griglie e stacci svolgono le stesse funzioni e si distinguono solo per la dimensione dei passaggi liberi (minori per gli stacci):
 - Griglie grossolane (luce di 3-6 cm) capaci di trattenere i solidi di maggior dimensione (legno, carta, stracci, ecc..)
 - Griglie medie (luce di 6-20 mm)
 - Griglie fini e stacci (luce di 1-6 mm)
- Le griglie fini e gli stacci sono comunque sempre protette a monte da una griglia grossolana o media
- Criterio di dimensionamento: massima velocità ammissibile di attraversamento, per evitare un eccessivo trascinarsi di materiale.

Esempi di griglia (1)



Schematizzazione di griglia a barre verticali
(A-in avvio ; B- in procinto di pulizia)



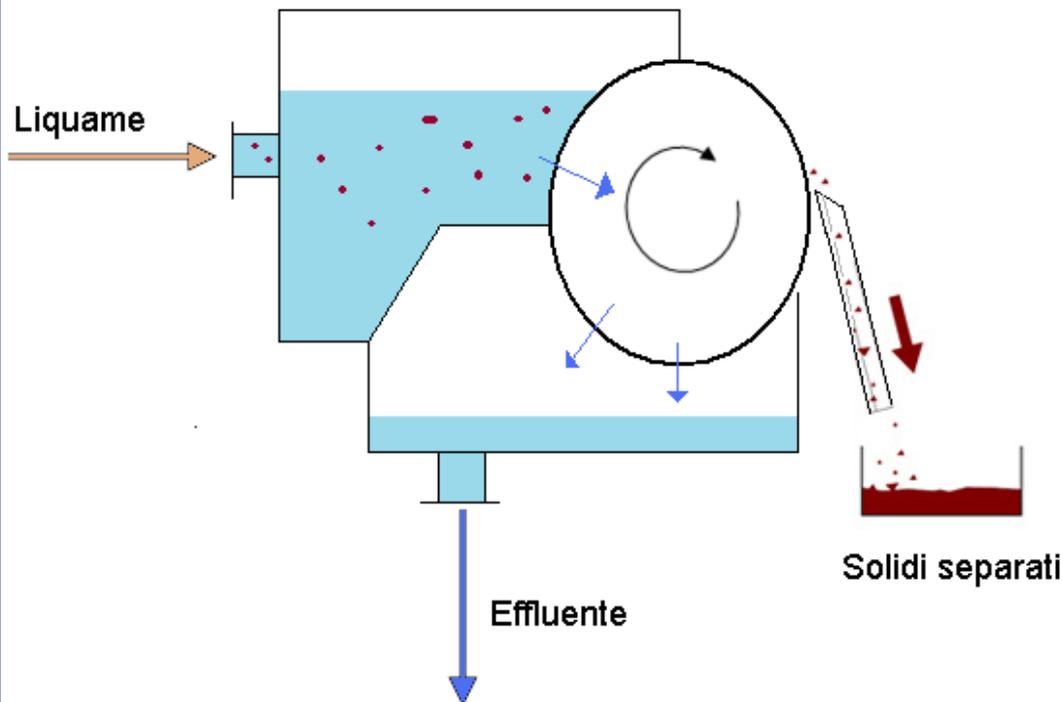
Griglia fine a nastro filtrante autopulente

Esempi di griglia (2)



Griglia fine meccanizzata
(nuova, non installata)

Esempio di staccio



Esempio di staccio a tamburo rotante con alimentazione dall'esterno verso l'interno (rete filtrante con maglia 0,5-3 mm)

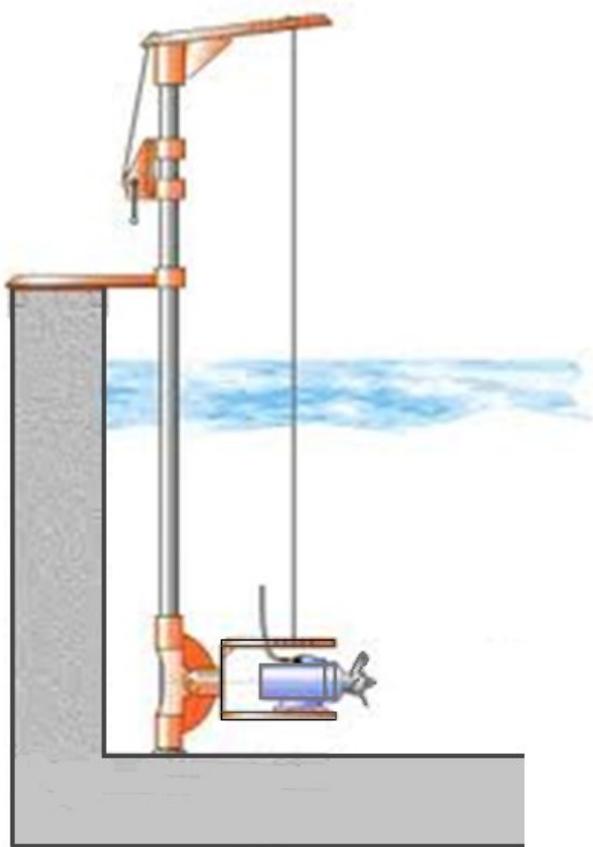


Microstaccio (Comodepur)

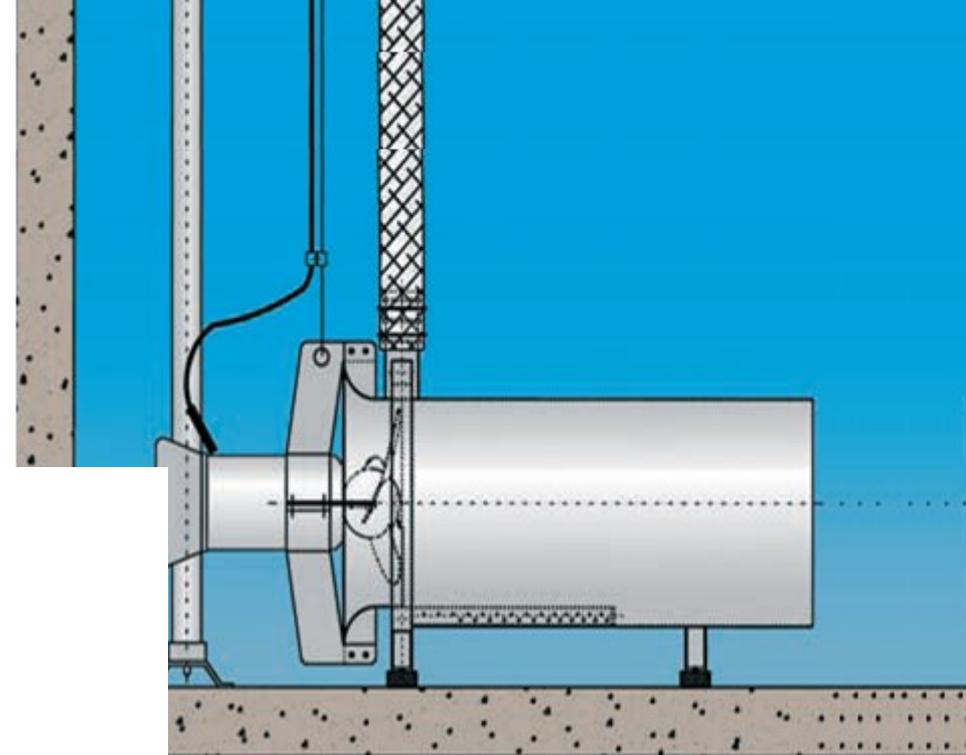
4b. Omogeneizzazione ed equalizzazione

Equalizzazione-Omogeneizzazione

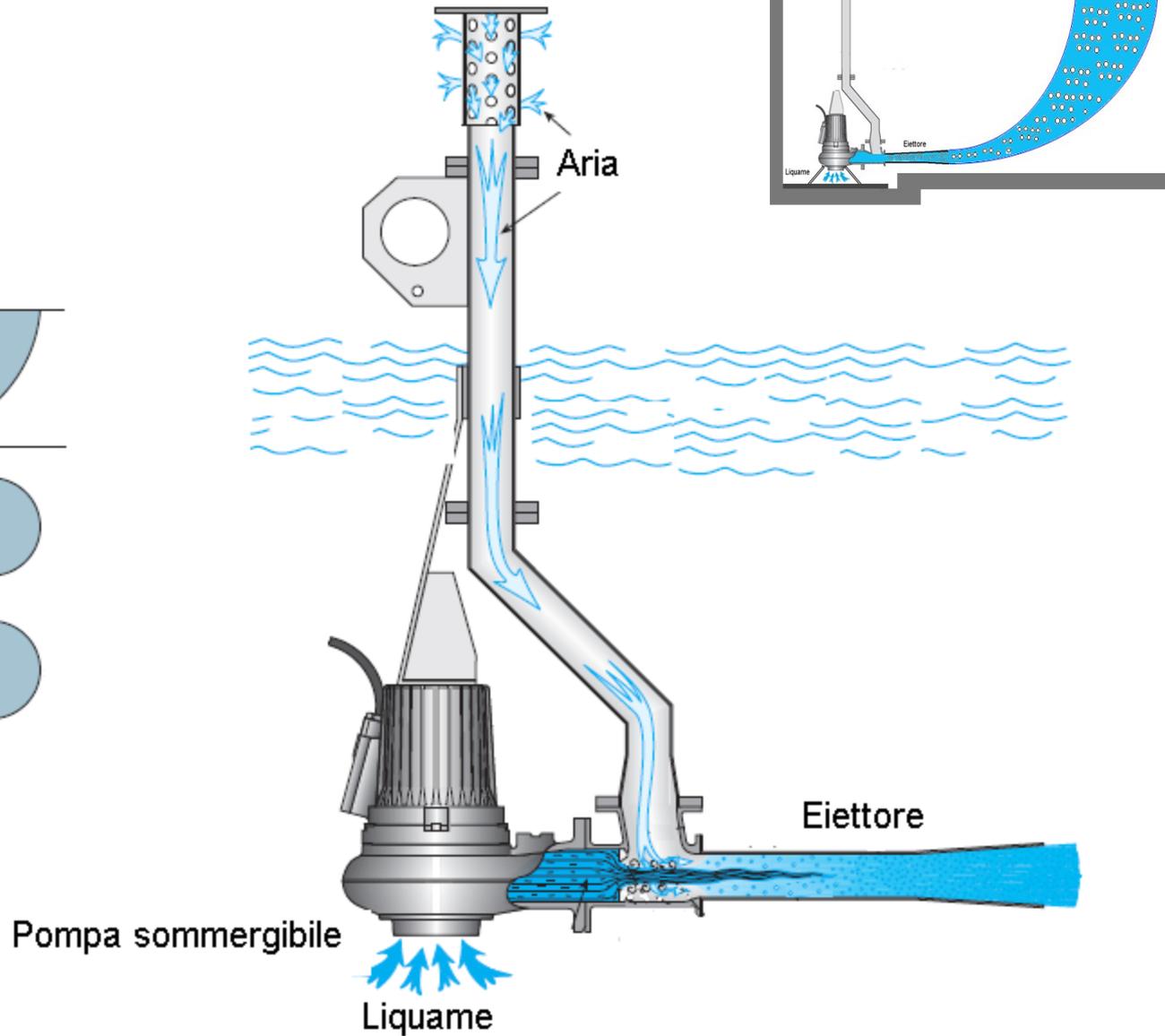
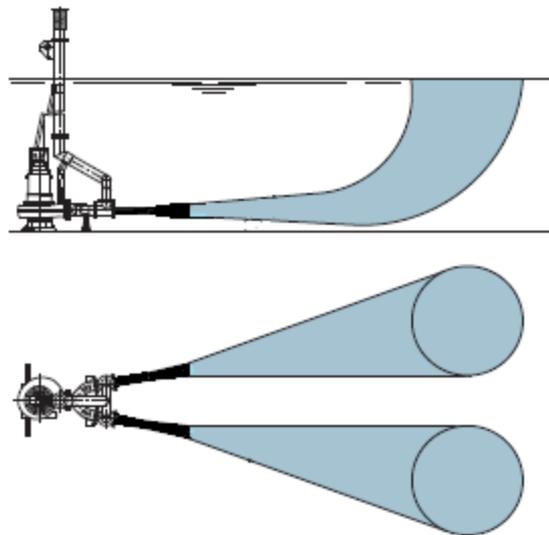
- Obiettivi e campi di impiego: conseguire il livellamento delle punte di:
 - portata (equalizzazione)
 - inquinamento (omogeneizzazione)
- L'applicazione di questo sistema consente di alimentare, nei processi di depurazione, dei liquami sufficientemente costanti in qualità e portata, condizione necessaria per realizzare buone efficienze di depurazione e stabilità di esercizio. Ciò vale per i processi chimico-fisici e, soprattutto, per i processi biologici notoriamente molto sensibili alle variazioni di carico (quantitativo e qualitativo).
- Il tipico campo di impiego è quello degli scarichi industriali (come le tintorie) prodotti da lavorazioni discontinue nell'arco della giornata
- Sistemi di agitazione – aerazione
- L'agitazione può essere effettuata con:
 - agitatori sommersi ad elica o a pala
 - sistemi di aerazione (diffusori con eiettore, diffusori a bolle) con doppia funzione agitazione-aerazione per evitare fenomeni anossici (es: odori e atmosfere pericolose per uomo esplosive o tossiche)



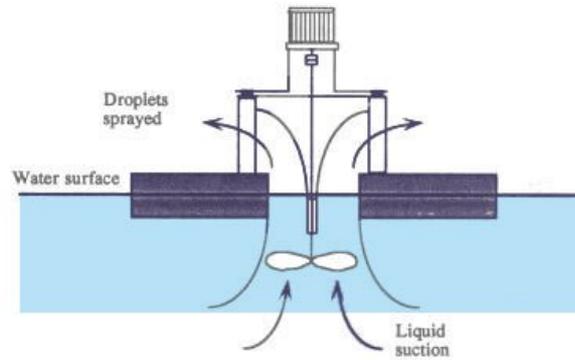
Aggitatore sommersibile



Air Mixer



Agitatore-Aeratore con pompa e eiettore



Agitatori-Aeratori
meccanici galleggianti





Aeratori a bolle

4c. Controllo del pH

Controllo del pH

- Obiettivo:
 - riportare il pH dell'acqua attorno alla neutralità (in tal caso si parla di "Neutralizzazione");
 - raggiungere prefissati valori di pH per consentire lo sviluppo di specifiche reazioni chimiche (ad es., reazioni di precipitazione, di ossidazione o riduzione, di solubilizzazione, ecc.).
- Si utilizzano:
 - ACIDI: composti che in soluzione si dissociano liberando idrogenioni H^+ (o, meglio, che trasferiscono protoni all'acqua, secondo l'accezione corrente). Tra i più noti ed usati industrialmente sono:

Acido cloridrico:



Acido solforico:



- BASI: composti che si dissociano liberando ioni idrossido OH^- . Tra i più noti ed usati industrialmente sono:

Idrossido di sodio:

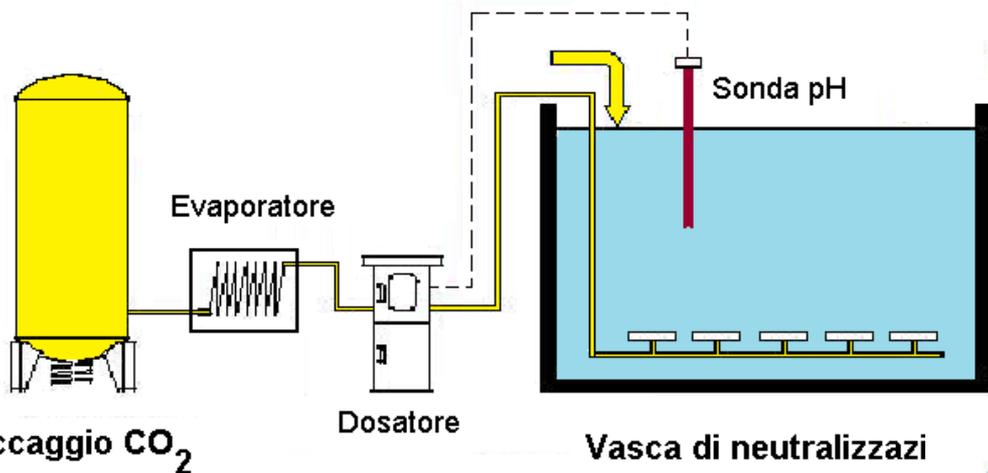


Calce idrata:

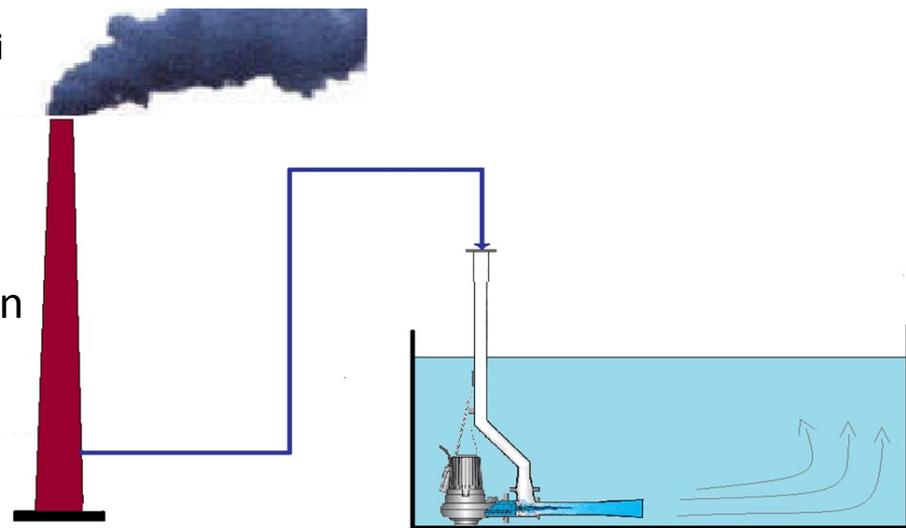


Neutralizzazione con CO₂

È interessante citare l'uso di CO₂ per la neutralizzazione di scarichi basici (in acqua si ha la reazione di formazione di acido carbonico $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$) dosata sia come gas puro, sia attraverso i fumi di combustione (ad es. delle centrali termiche industriali).



Schema di impianto di neutralizzazione con fumi di combustione ->



Dimensionamento

- Calcolo volume:
 - In considerazione della rapidità della reazione, i tempi di miscelazione rapida occorrenti per garantire un buon risultato sono dell'ordine di 1-5 minuti

- Dosaggio reattivi:
 - Il dosaggio dei reattivi può essere stimato in via preventiva attraverso la ricostruzione in laboratorio della "curva di titolazione" (curva rappresentativa della variazione di pH in funzione dell'acido, o della base, dosato/a).

4d. Coagulazione- flocculazione

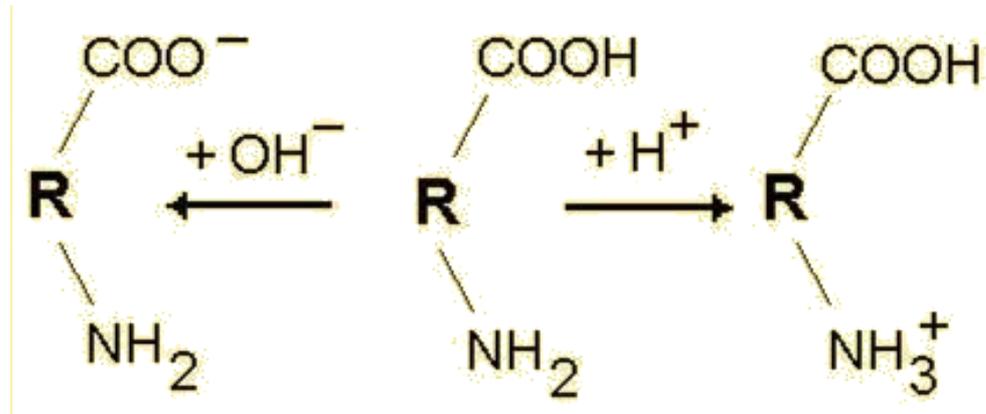
Coagulazione-flocculazione

- Obiettivo:
 - Rimozione torbidità (\equiv rimozione colloidi)
- Colloidi:
 - particelle finissime ($< 1 \mu\text{m}$) in sospensione stabile tale da determinare una torbidità permanente



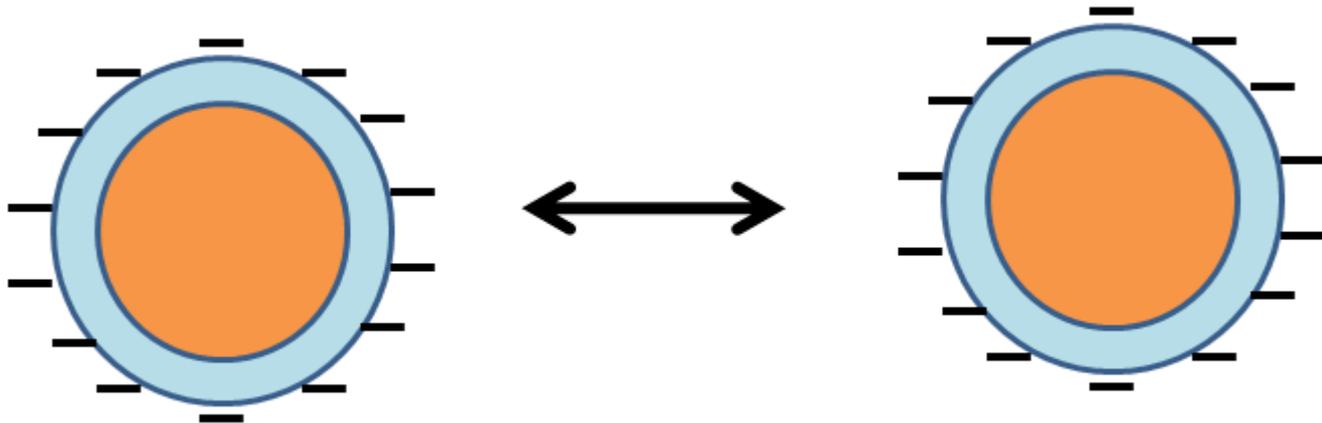
Torbidità: causa

- **accumulo superficiale di cariche elettriche**, per effetto di:
 - **Adsorbimento** (legami intramolecolari) preferenziale di ioni disciolti in acqua (in particolare OH^-)
 - **Ionizzazione** di gruppi funzionali contenuti nelle molecole dei colloidi (Ad es. i colloidali a base proteica possono contenere gruppi carbossilici e amminici che a diverse condizioni di pH possono ionizzare)



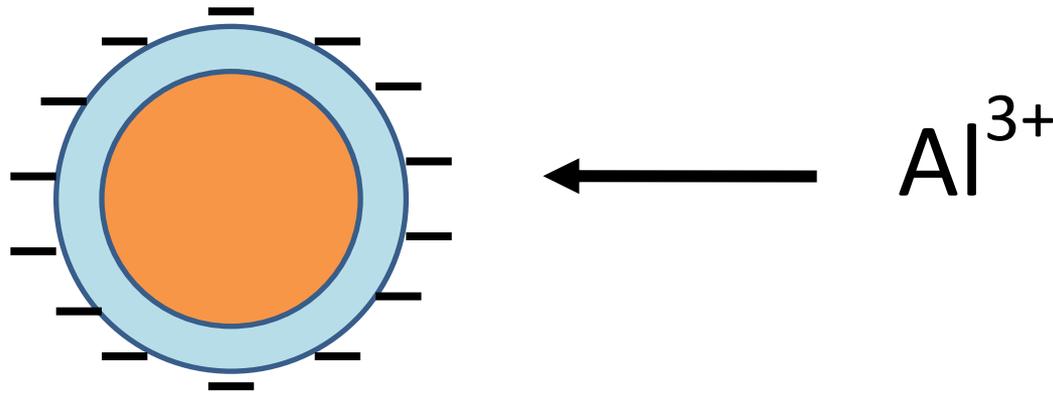
Il potenziale Z

- Le singole particelle hanno una intensità di carica elettrica così elevata da vincolare a sé degli ioni presenti nell'acqua e un sottile velo della stessa acqua (è un dipolo elettrico)
- Si costituisce pertanto una nuova particella formata da:
 - Solido
 - Cariche vincolate
 - Velo d'acqua vincolato
- Sulla superficie esterna del velo d'acqua è misurabile il potenziale che determina il respingimento, denominato il Potenziale Z



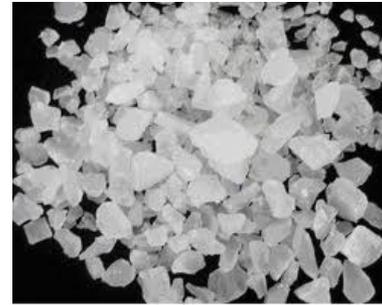
Il potenziale Z: rimozione dei colloidali

- Per consentire la sedimentazione dei colloidali occorre neutralizzare il Potenziale Z: come operare?
- Per via chimica, tramite dosaggio di cationi multivalenti, ovvero dotati di alta densità di carica elettrica.
- I cationi multivalenti più utilizzati sono:
 - Al^{3+}
 - Fe^{3+}
- Questi cationi interagiscono con le cariche negative delle particelle neutralizzandole elettricamente



Coagulanti commerciali dosati (in soluzione acquosa)

- Solfato di alluminio (Al^{3+}) idrato:
 - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$



- Cloruro ferrico (Fe^{3+}) idrato
 - $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

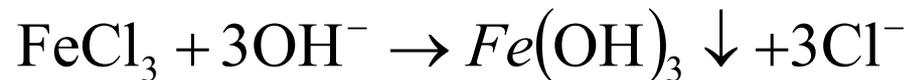
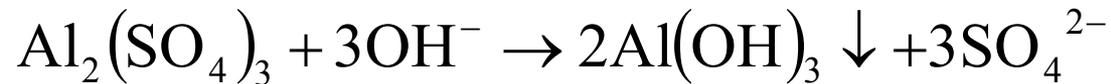


- Policloruri di alluminio (PAC)
 - composti polimerici degli idrossidi di alluminio a diversi gradi di clorurazione, indicati con la seguente formula generica $(\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m})_x$

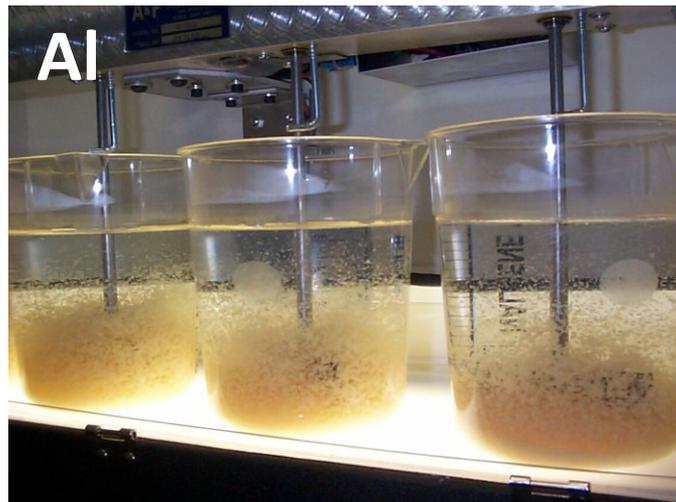


Coagulazione-flocculazione

- Necessita di ambiente basico (alcalinità) naturale o creato mediante dosaggio di basi
- Si creano idrossidi (di alluminio o ferro) scarsamente solubili:

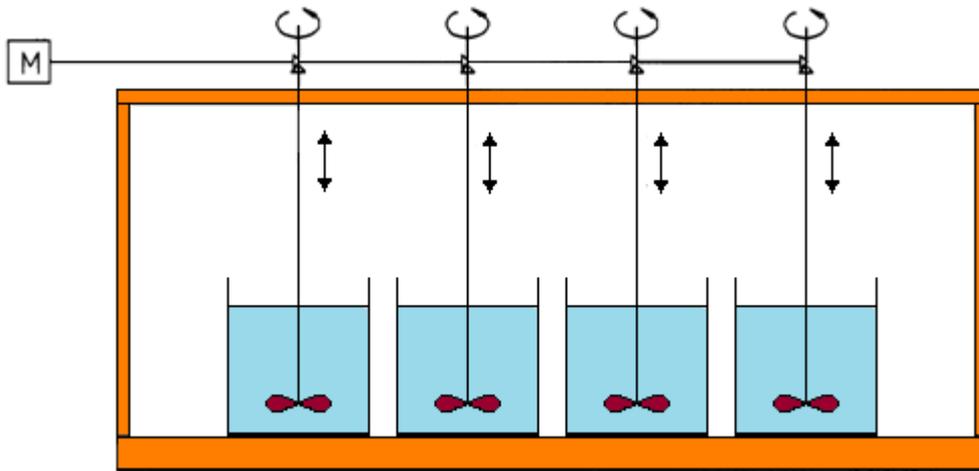


- I fiocchi di idrossido di alluminio sono piuttosto voluminosi e gelatinosi. Durante il processo di flocculazione adsorbono le particelle colloidali chiarificando poi il liquame nella successiva decantazione.

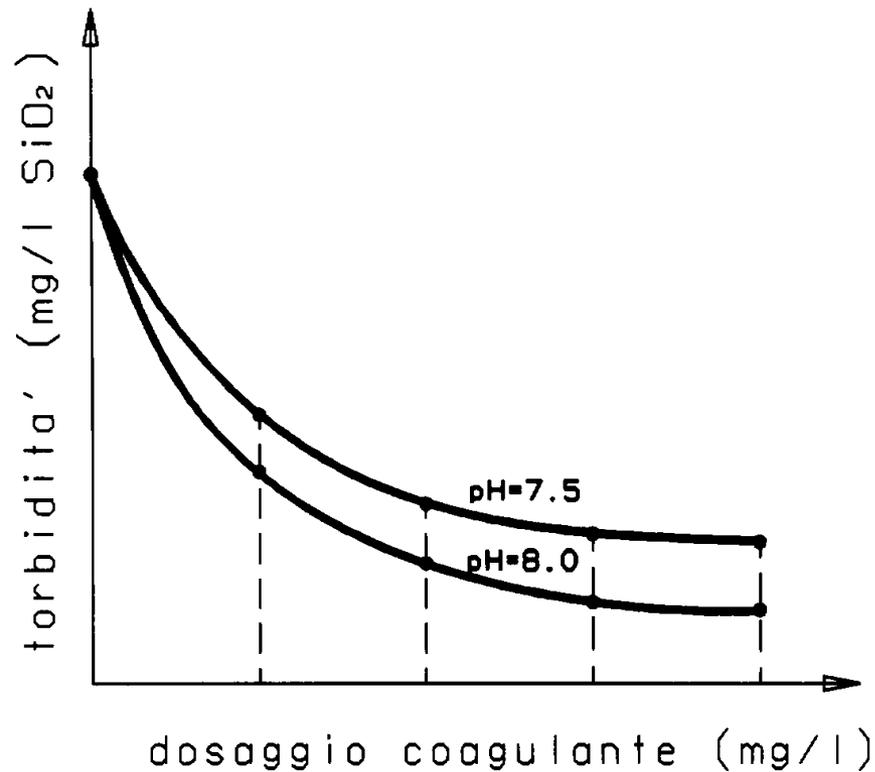


Coagulazione

- Visto che ogni scarico ha proprie caratteristiche, è necessario effettuare delle prove sperimentali per decidere il **tipo**, il **dosaggio** corretto di coagulante e il **pH** mediante prove di Jar Test

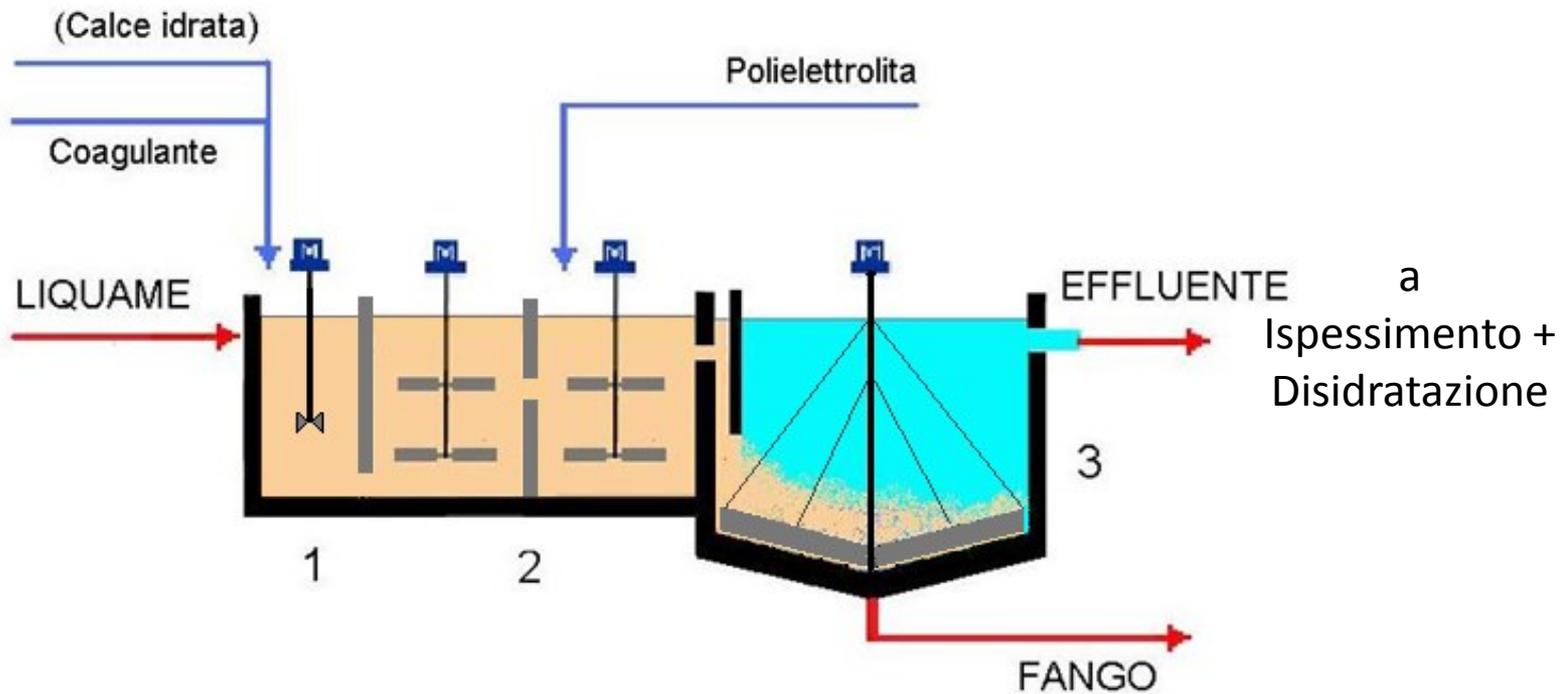


Jar test: i risultati



Tipica curva risultante dalle prove di jar-test a due differenti condizioni di pH.

Schema di processo di chiariflocculazione



- 1- Coagulazione (miscelazione rapida)
- 2- Flocculazione (miscelazione lenta)
- 3- Sedimentazione

CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

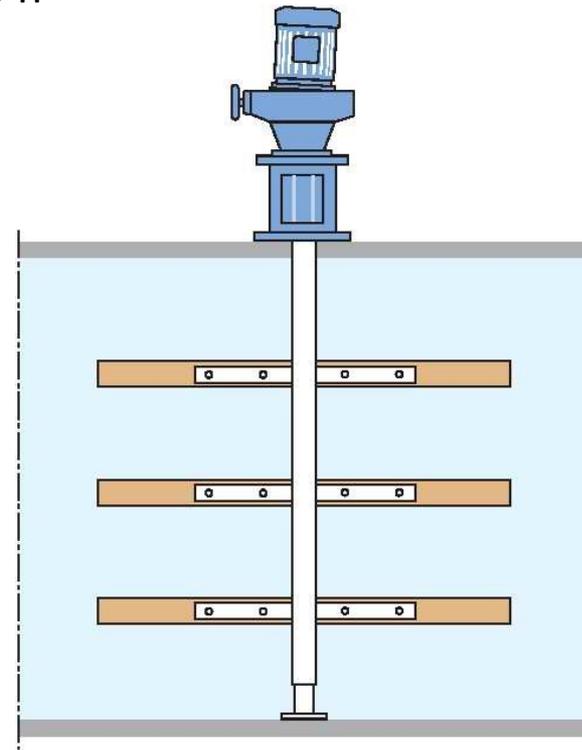
Coagulazione (miscelazione rapida): $Tr = 30 - 60 \text{ sec}$

Flocculazione (miscelazione lenta): $Tr = 5 - 10 \text{ min}$

Sedimentazione: $CIS = 0,8 - 1,8 \text{ m/h}$ $Tr = 2 - 3 \text{ h}$



Agitatore veloce per coagulazione ($> 30 \text{ W/m}^3$)



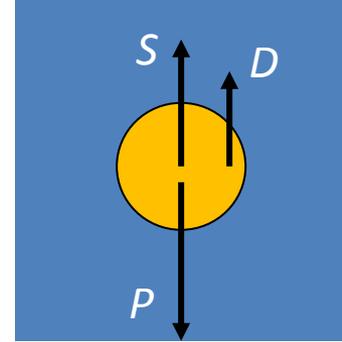
Agitatore lento per flocculazione ($8 - 12 \text{ W/m}^3$)

4e. Sedimentazione

Sedimentazione

- OBIETTIVO:
 - Rimozione dei “solidi sedimentabili”
 - Rimozione contestuale dei parametri di inquinamento associati (per i liquami urbani: Solidi Sospesi, BOD₅, COD, Nutrienti, tracce di metalli)
- APPLICAZIONI:
 - Sedimentazione primaria di liquami (civili e industriali)
 - Sedimentazione secondaria di processi biologici
 - Sedimentazione finale nell’ambito di processi di chiari-flocculazione (con dosaggio di reattivi chimici per la precipitazione dei solidi in sospensione stabile)

Meccanismi di sedimentazione



▪ Sedimentazione isolata

- Tipica di solidi granulari (come le sabbie) o flocculenti
- Ciascuna particella in un fluido in moto laminare/in quiete è sottoposta a 3 forze:
 - Peso (legata alla gravità, ossia alla massa della particella): P
 - Galleggiamento (spinta di Archimede; legata al volume e alla densità del fluido): S
 - Resistenza al moto (Drag; legata alla velocità della particella): D

▪ Sedimentazione di massa

- Tipica dei fanghi biologici



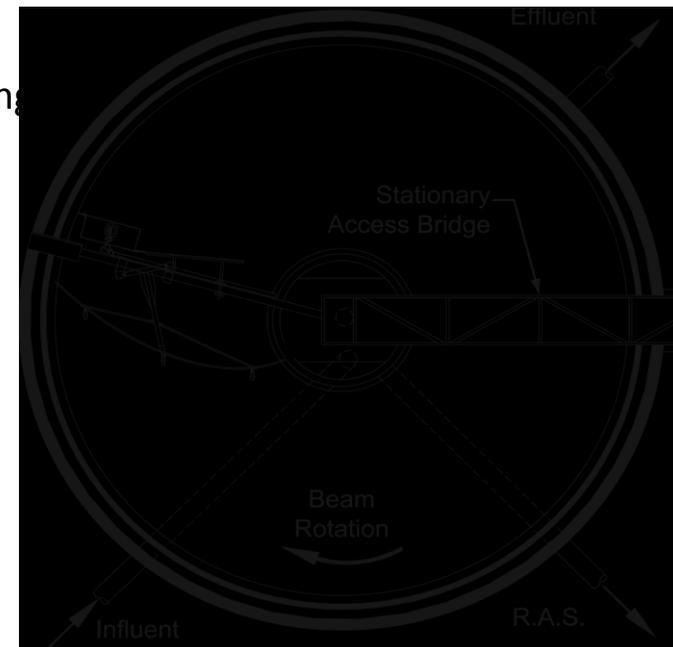
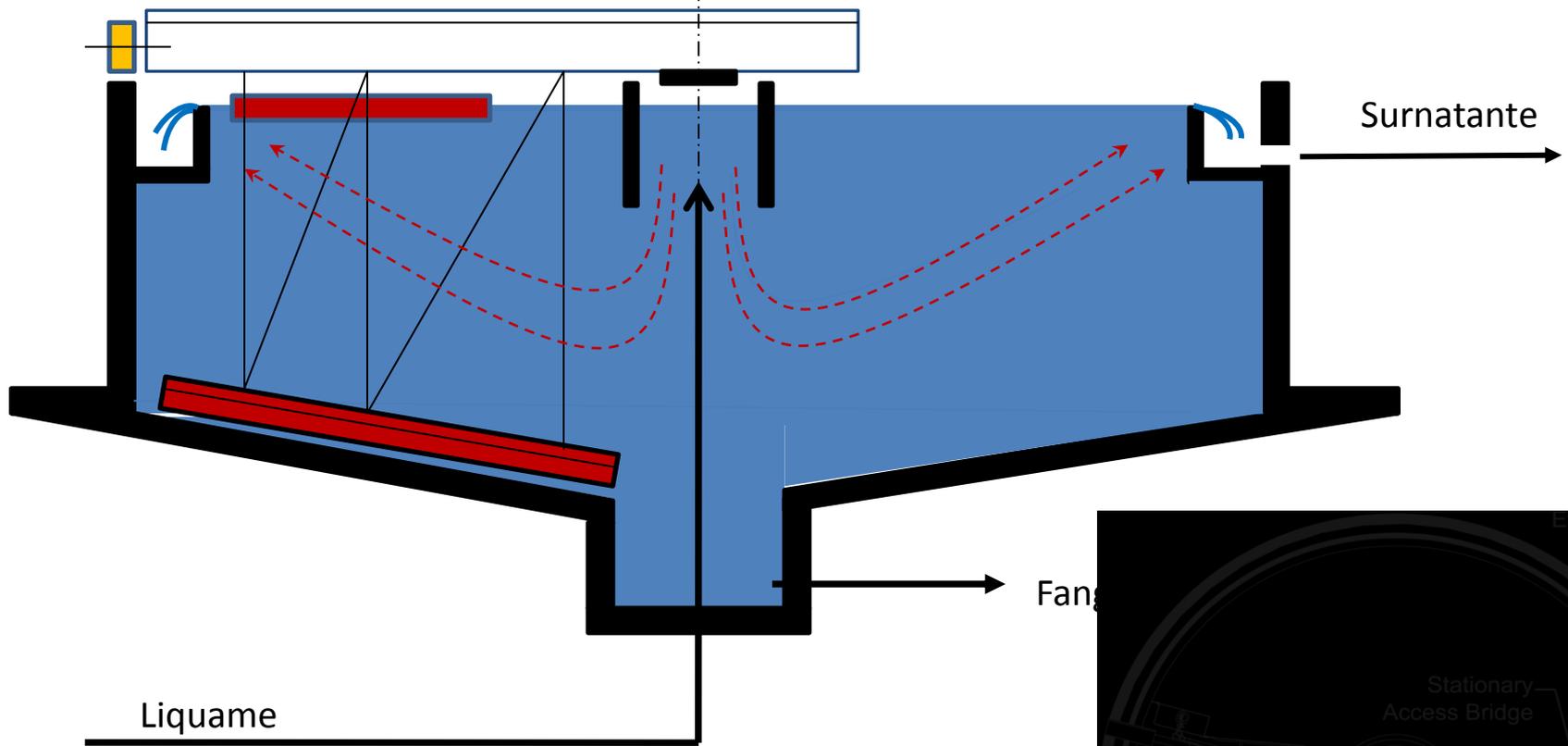
Fango attivo in decantazione in cilindro da laboratorio ->

Sedimentazione: criteri di dimensionamento

- Per solidi granulari o flocculenti:
 - Carico Idraulico Superficiale CIS (m/h): valore limite per evitare il trascinarsi in uscita
 - Tempo di ritenzione T_r (h): valore limite per evitare il regime turbolento in sedimentazione

- Per fanghi biologici:
 - CIS (m/h)
 - T_r (h)
 - Flusso Solido ($\text{kgSS m}^{-2} \text{h}^{-1}$) \leq Flusso solido limitante:
 - Il Flusso di Solidi verso il basso è determinato da due termini:
 - la velocità naturale di sedimentazione (dipende dalla concentrazione del fango)
 - la velocità di estrazione forzata per il ricircolo

Sedimentatore a flusso radiale



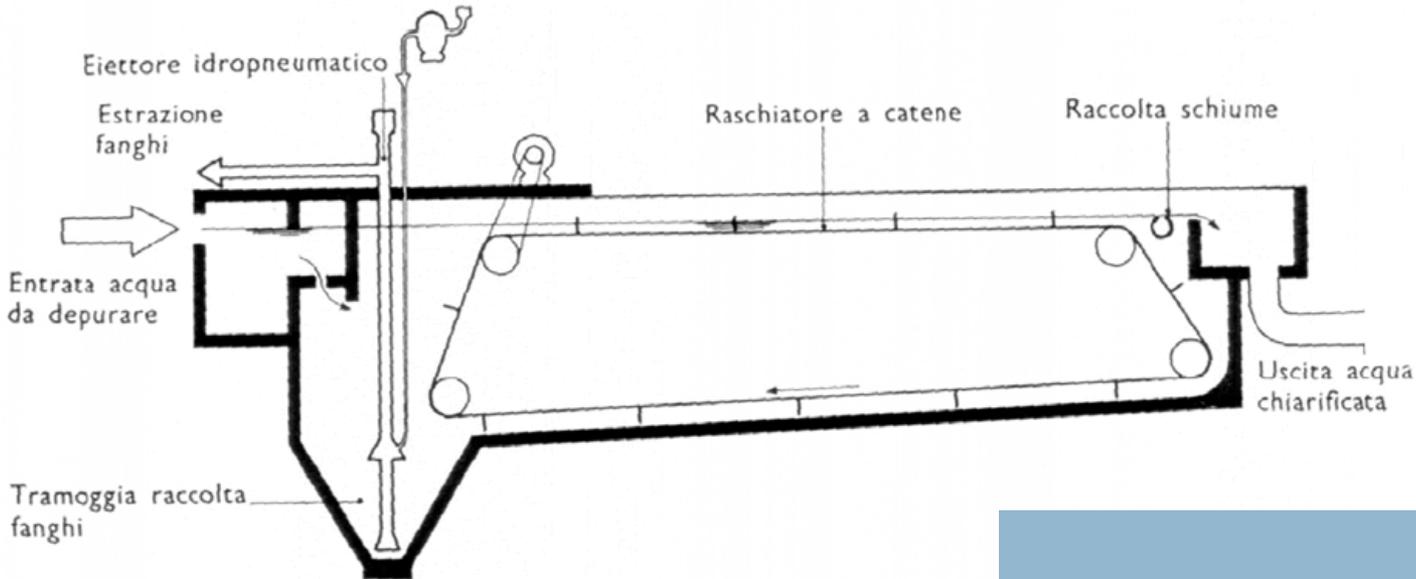
Esempi di sedimentatori a flusso radiale



Sedimentatore circolare con carroponte girevole e lame raschiatrici (di fondo e di superficie)



Sedimentatore a flusso longitudinale



Profilo longitudinale

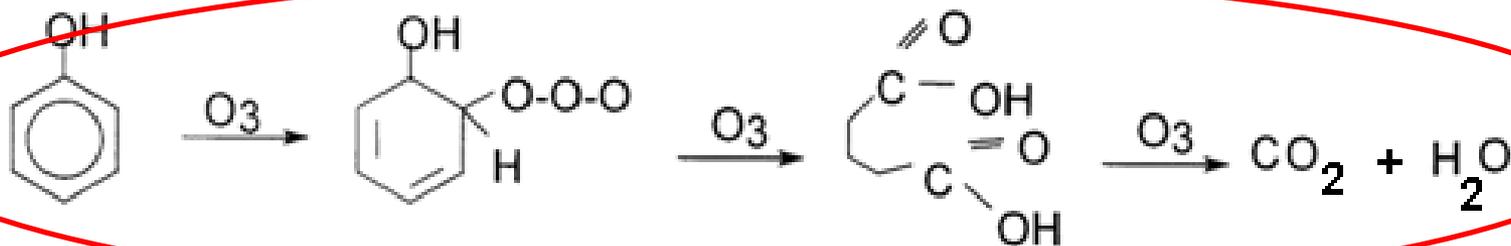
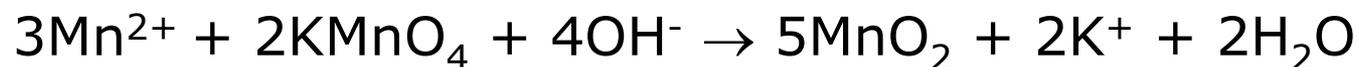
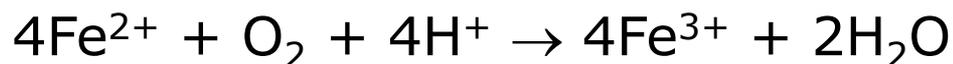
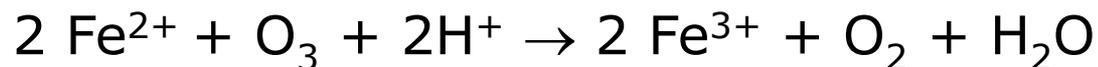


4f. Processi di ossidazione chimica

Ossidazione chimica

- **Obiettivo:** ossidare (aumentare numero ossidazione) dei composti chimici
 - **Inorganici** (allo stato ridotto; es. solfuri)
 - **Organici** (es: COD, BOD, coloranti)
- Principali reattivi ossidanti:
 - Ozono (O_3)
 - Biossido di cloro (ClO_2)
 - Ipoclorito di sodio e ipoclorito di calcio ($NaClO$; $Ca(ClO)_2$)
 - Acqua Ossigenata (H_2O_2) in campo **acido**
 - Permanganato di potassio ($KMnO_4$)
 - Ossigeno (O_2)

Esempi di reazioni ossidative



Potenziali normali di ossido-riduzione principali reagenti ossidanti per trattamento acque

Reattivi ossidanti	Reazioni parziali	E° [V]
Ozono	$O_3 + 2H^+ + 2e^- = O_2 + H_2O$	+ 2.07
Cloro e derivati	$Cl_2 + 2e^- = 2Cl^-$	+1.36
	$HClO + H^+ + 2e^- = Cl^- + H_2O$	+1.49
	$ClO^- + H_2O + 2e^- = Cl^- + 2OH^-$	+0.90
Permanganato di potassio	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- = MnO_2 + 2 H_2O$	+1.69 (pH acido)
	$MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- = MnO_2 + 4OH^-$	+0.59 (pH basico)
Biossido di cloro	$ClO_2 + 4H^+ + 5e^- = Cl^- + 2H_2O$	+1.50
	$ClO_2 + e^- = ClO_2^-$	+0.95
Acqua ossigenata	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- = 2H_2O$	+1.76
Ossigeno	$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2 H_2O$	+1.23 (pH acido)
	$O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$	+0.41 (pH basico)

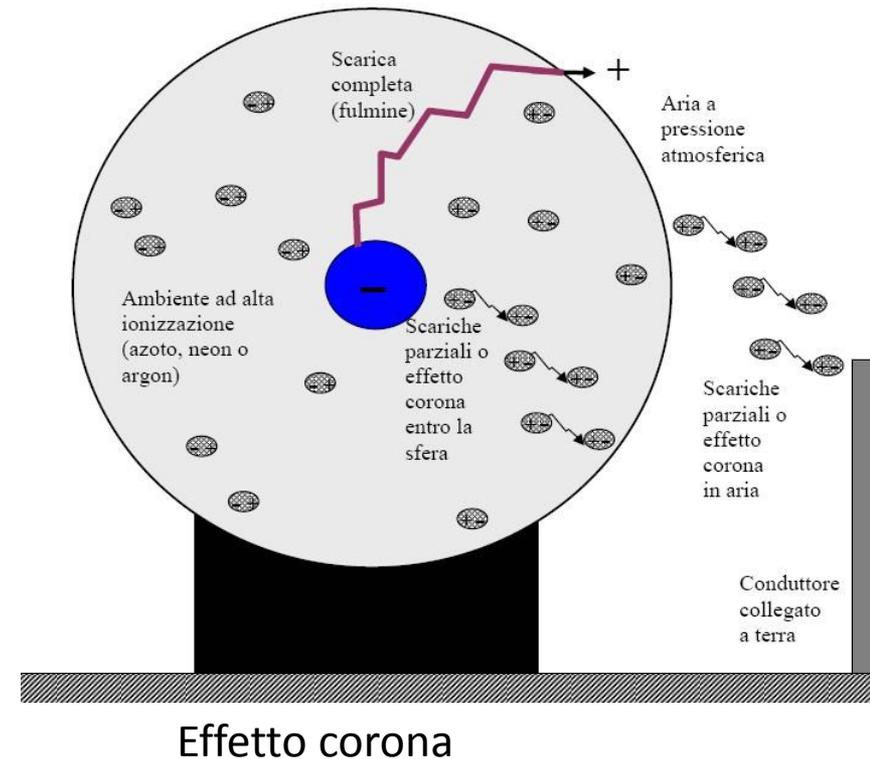
Ozonizzazione

- Si insuffla ozono (gas) nel refluo
- Aumenta biodegradabilità
- Diversi tipi:
 - Ossidazione completa (disinfezione inclusa):
 - Dose: 2-4 gO₃/g COD eliminato
 - $\eta_{COD} = 40-50\%$
 - Ossidazione parziale (cracking)
 - Dose: 0.7-1.1 gO₃/g COD eliminato
 - Migliora il rapporto BOD:COD
- Rimozione: COD (odori, colori), BOD, composti ridotti
- Link: <https://www.youtube.com/watch?v=fZo3sYDX0y0>



Ozono: processi produttivi

- Prodotto in loco:
 - Per effetto corona
 - Raggi UV 185 nm (svantaggi: consumi elettrici; bassa durata lampade; bassa efficienza)
 - Metodo elettrochimico (in fase sperimentale)



Reattivi ossidanti «avanzati»

- hanno la caratteristica di liberare **radicali altamente reattivi** (ma instabili nel tempo; ha un elettrone spaiato) tra i quali spicca in particolare il **radicale ossidrile ($\bullet\text{OH}$)** dotato di un **elevato potenziale di ossidazione** ($E^\circ = +2.8 \text{ V}$) superiore a quello dell'ozono, in quanto estremamente instabile e quindi estremamente reattivo
- Il radicale $\bullet\text{OH}$ è caratterizzato dalla presenza di un elettrone spaiato a causa della rottura di un legame covalente (cause: radiazione elettromagnetica o calore)
- Il radicale ossidrile è noto da tempo in quanto si forma nella troposfera per azione delle radiazioni solari sull'ozono (fotolisi dell'ozono):



- L'interesse recente maturato verso gli ossidanti avanzati è connesso alla loro capacità di **ossidare completamente molti composti organici complessi**. La generazione di questi radicali si ha dall'interazione tra diversi ossidanti e tra ossidanti e radiazioni UV.

Reattivi ossidanti «avanzati»: esempi

- Ozono e acqua ossigenata:



- Radiazioni UV e Ozono:



- Ione ferroso e acqua ossigenata (Reattivo di Fenton):



- Radiazioni UV, acqua ossigenata e ione ferroso (Fotofenton)



- Radiazioni UV e biossido di titanio (catalizzatore)



4g. Processi biologici aerobici: i «fanghi attivi»

Tipi di processi di depurazione biologica

- **AEROBICA** (presenza ossigeno disciolto)
 - sono sviluppati da batteri aerobici obbligati e da batteri facoltativi
 - reazioni biochimiche cineticamente molto favorite, portano alla formazione di sottoprodotti stabili:



- **ANAEROBICI** (assenza ossigeno disciolto)
 - sono sviluppati da batteri anaerobici obbligati e da batteri facoltativi
 - reazioni biochimiche molto lente, portano alla formazione di sottoprodotti instabili:

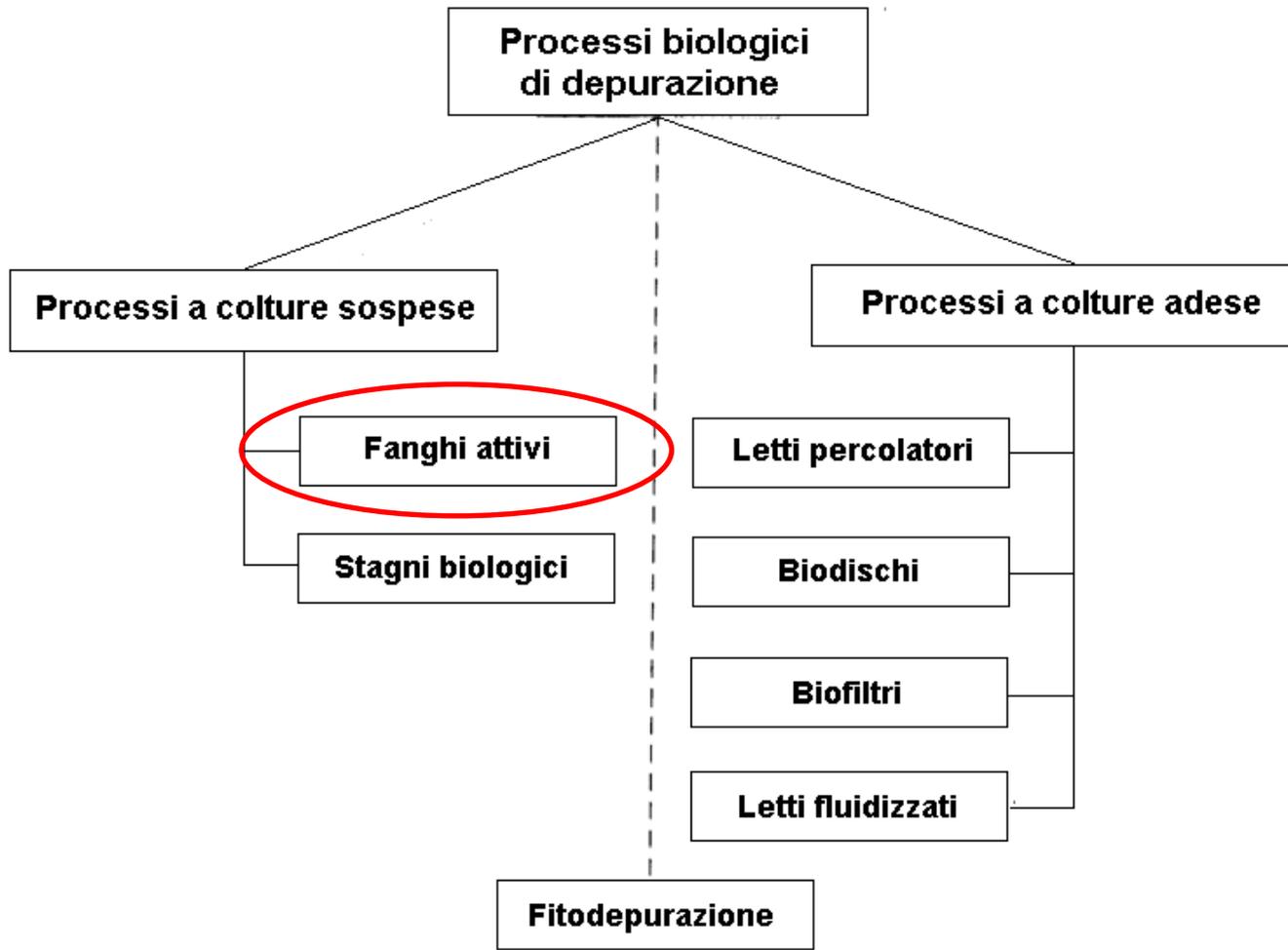


- **NOTA:**
 - Batteri aerobici: batteri che vivono in presenza di ossigeno disciolto
 - Batteri anaerobici: batteri che vivono in assenza di ossigeno disciolto
 - Batteri facoltativi: batteri che vivono da aerobici in presenza di ossigeno disciolto e da anaerobici in assenza di ossigeno disciolto

Processi di depurazione biologica

- Processi aerobici:
 - Usati per la depurazione dei liquami, perché cineticamente favoriti e non danno luogo alla formazione di sottoprodotti instabili e a rischio igienico-sanitario
- Processi anaerobici:
 - Usati per il trattamento di liquami e fanghi, di portata ridotta e molto concentrati in sostanza organica biodegradabile; con recupero di biogas (energia)
 - Realizzano solo la sgrossatura dell'inquinamento, per cui il processo di depurazione deve sempre essere completato con un processo biologico aerobico

Classificazione dei processi aerobici di depurazione dei liquami



Processi biologici a fanghi attivi

Fiocchi di fango attivo di 3 diversi impianti (Ingrandimento 120 volte)



(a)

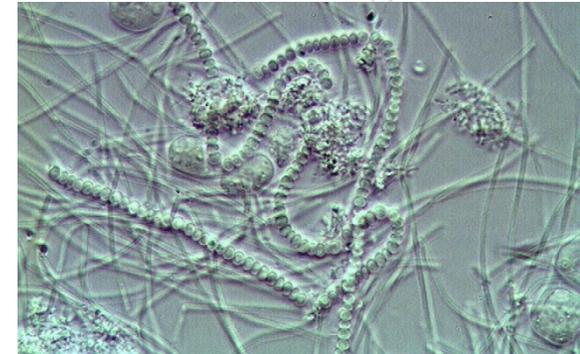


(b)

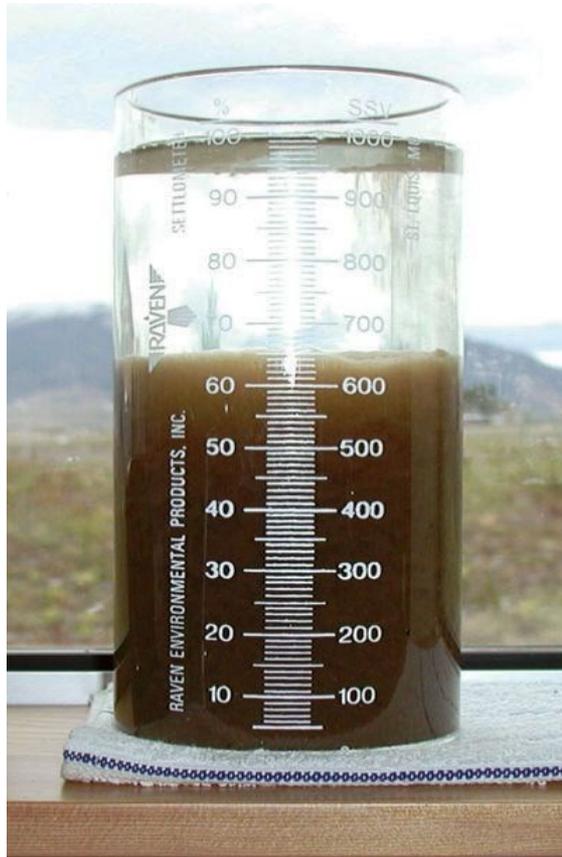


(c)

Microrganismi in un fango attivo: si notano colonie di batteri cocchi e filamentosi, nonché protozoi



Presenza di protozoi (vorticella) in un fango attivo



Fango attivo in decantazione in cilindro da laboratorio

Principali microrganismi attici nella depurazione biologica

- **BATTERI:** organismi unicellulari che degradano la sostanza organica biodegradabile
- **PROTOZOI:** organismi unicellulari che si alimentano con sostanza organica in sospensione, batteri inclusi (sono la più piccola forma animale vivente; dimensione circa doppia rispetto ai batteri)

CELLULA BATTERICA SCHEMATIZZAZIONE

$L = 0,5 \div 5 \mu\text{m}$

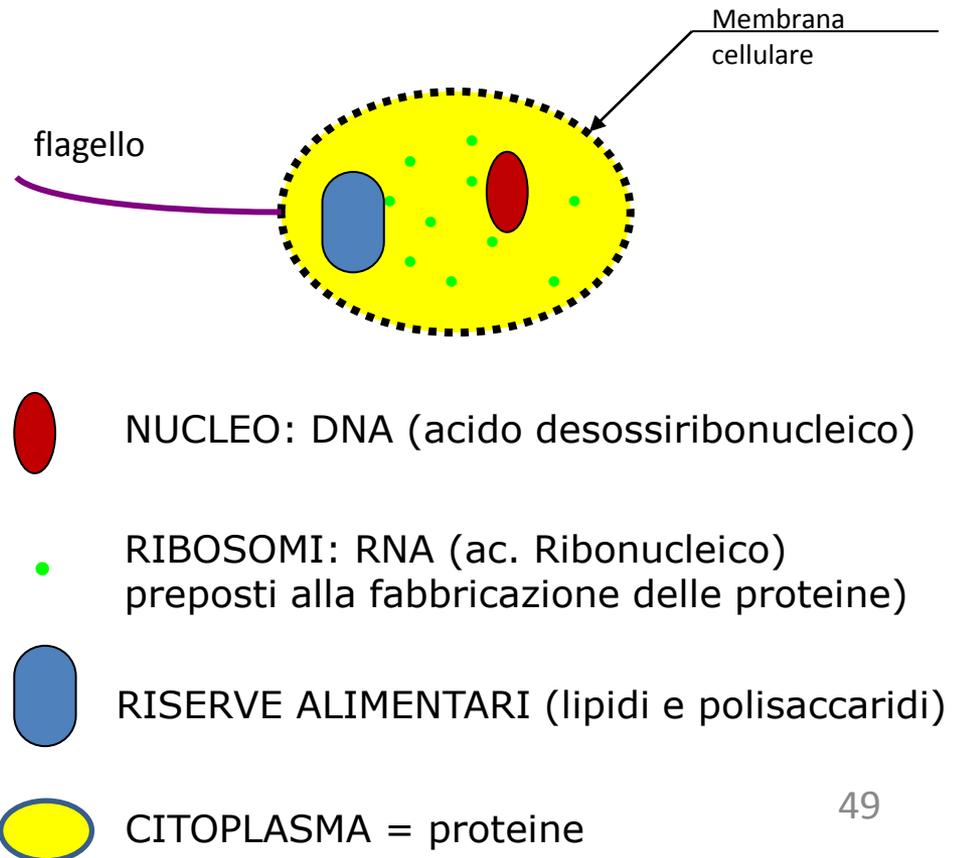
Composizione chimica

$\text{H}_2\text{O} = 80\%$

$\text{SS} = 20\%$

$\text{SSV} / \text{SS} = 90\%$

$\text{SSV} : \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$



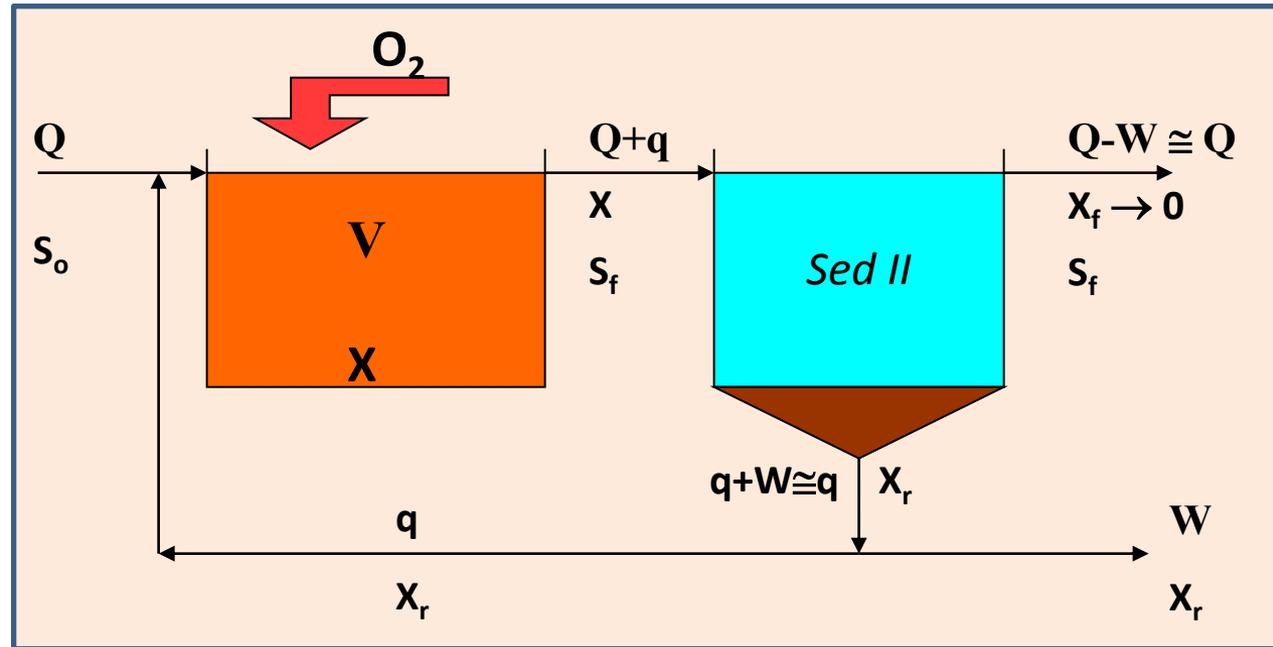
Processi biologici a fanghi attivi

Dati:

Q : portata liquame (m^3/d)

S_o : concentrazione BOD_5 liquame (mgBOD/L)

S_f : concentrazione BOD_5 effluente (mgBOD/L)



Assunzioni di progetto:

$X=3-5 \text{ kgSS}/\text{m}^3$ (conc. biomassa nel reattore biologico espressa come SS)

$X_r=8-12 \text{ kgSS}/\text{m}^3$ (conc. biomassa nel fango decantato espressa come SS)

Incognite:

V_{ox} : volume del reattore biologico (m^3)

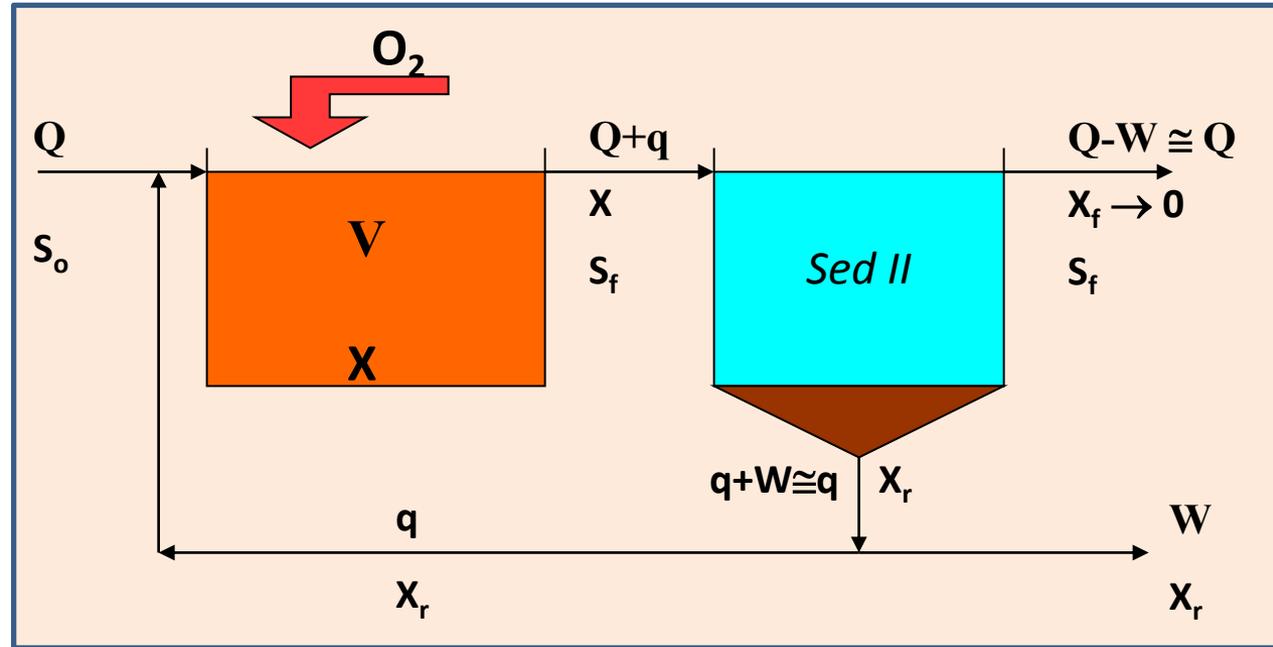
q : portata di ricircolo fango (m^3/d)

O_2 : portata di ossigeno (kgO_2/d)

W : portata di fango di supero (m^3/d)

Calcolo del volume della vasca di ossidazione (V_{ox})

$$V_{ox} = \frac{Q \cdot S_0}{X \cdot C_f}$$

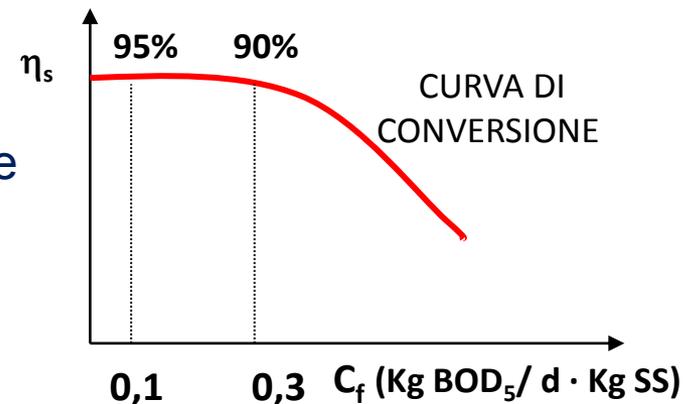


Q: portata di refluo in ingresso alla vasca [m^3/d]

S_0 : concentrazione di BOD nel refluo in ingresso [$mg\ BOD_5/L = 10^{-3}\ kg\ BOD_5/m^3$]

X: concentrazione di biomassa (microrganismi che degradano il BOD) nel fango [$kg\ SS/m^3$]

C_f : Carico del fango ($KG\ BOD_5/Kg\ SS \cdot d$) viene scelto in base al rendimento voluto una volta nota la curva di conversione)



Fornitura di ossigeno da parte dei batteri presenti nella vasca di ossidazione

- Dimensionato in condizioni di punta per garantire condizioni aerobiche (concentrazione $O_2 > 2$ mg/L)

$F'_{O_2} = \text{Consumo } O_2 \text{ per degradazione biologica BOD} + \text{Consumo } O_2 \text{ per decadimento endogeno biomassa} + \text{Consumo } O_2 \text{ per rimozione azoto (nitrificazione)}$

$$F'_{O_2} = K \cdot \alpha' \cdot Q \Delta S + \beta' \cdot X V + K \cdot 4,57 \cdot C_N \quad (\text{kgO}_2/\text{d})$$

K (coefficiente di punta): dipende dal tipo di liquame (civile o industriale)

$$\alpha' = 0.5$$

$$\beta' = 0.1$$

C_N : carico di azoto nitrificato (kgO_2/d) secondo la reazione biochimica seguente determinata dai batteri nitrificanti

Fabbisogno di nutrienti dei microrganismi

- I microrganismi eterotrofi, preposti alla degradazione delle sostanze organiche contenute nei liquami, per il proprio metabolismo necessitano di tutta una serie di elementi indispensabili per la sintesi cellulare, in particolare di azoto (N) e fosforo (P)
- Una formula comprensiva della composizione chimica dei microrganismi è la seguente:



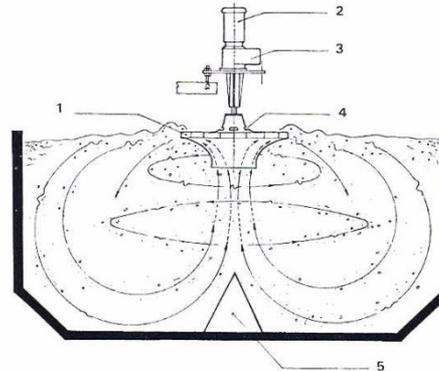
- Nella prassi progettuale si assume, di regola, il seguente rapporto di consumi in peso da parte dei batteri:

Fabbisogno di nutrienti:

$$\text{BOD}_5 / \text{N} / \text{P} = 100 / 5 / 1$$

Sistemi di aerazione

TURBINE = AERATORI
MECCANICI
SUPERFICIALI

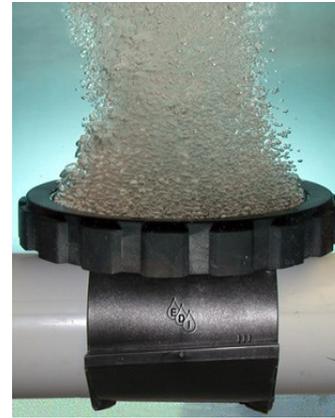


BOLLE

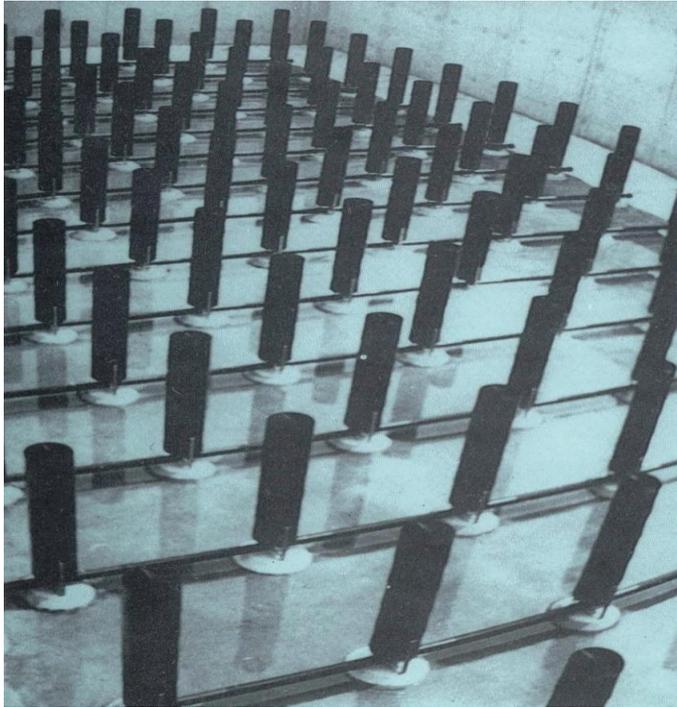
Fini = microbolle

Medie

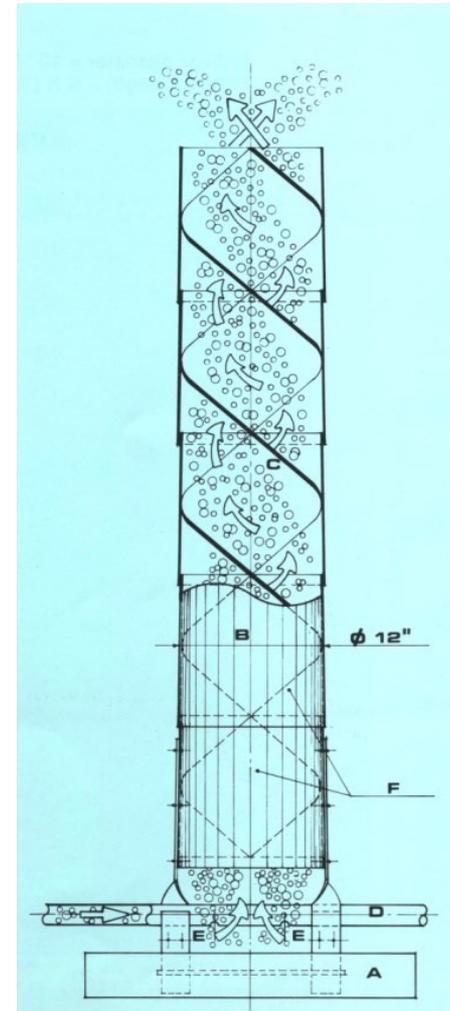
Grosse



Sistemi di aerazione (2)



Aerazione a bolle grosse con cannoni a bolle



Impianti a fanghi attivi: vasca di ossidazione



Vasca a fanghi attivi aerata con sistema a microbolle



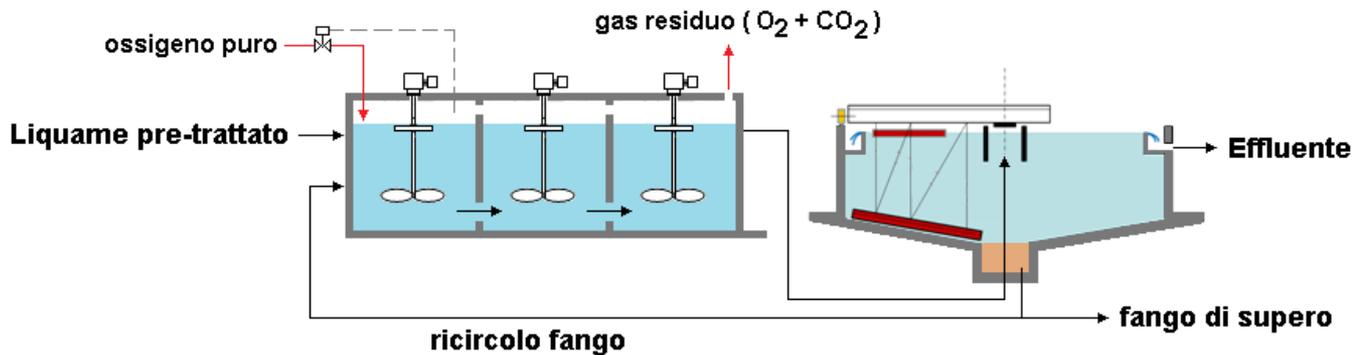
Vasca a fanghi attivi aerata con sistema a microbolle

Sviluppi dei «fanghi attivi»

- Impiego di **ossigeno puro** al posto di aria:
 - determina una velocità di solubilizzazione dell'O₂ in acqua nettamente superiore
 - utile per liquami concentrati in BOD₅ che determinano un'elevata richiesta di ossigeno da parte dei batteri che, qualora insoddisfatta, verrebbe a determinare l'insorgenza di anossia nel reattore biologico
 - È utile per liquami organici concentrati (approx >500-800 mg/L BOD₅)
- Impiego di **reattori termofili** ad **ossigeno puro**
- Impiego di **membrane filtranti** microporose al posto dei sedimentatori
 - Riduzione volumi sedimentatore
 - Eliminazione problemi di solidi nell'effluente

Fanghi attivi ad ossigeno puro (1)

Le prime soluzioni adottate e ancora oggi applicate, consistono nella realizzazione di reattori a fanghi attivi chiusi al fine di sfruttare maggiormente l' O_2 insuffluato alla sommità (dissoluzione nel mixed-liquor favorita dalla turbolenza generata dai sistemi di miscelazione).

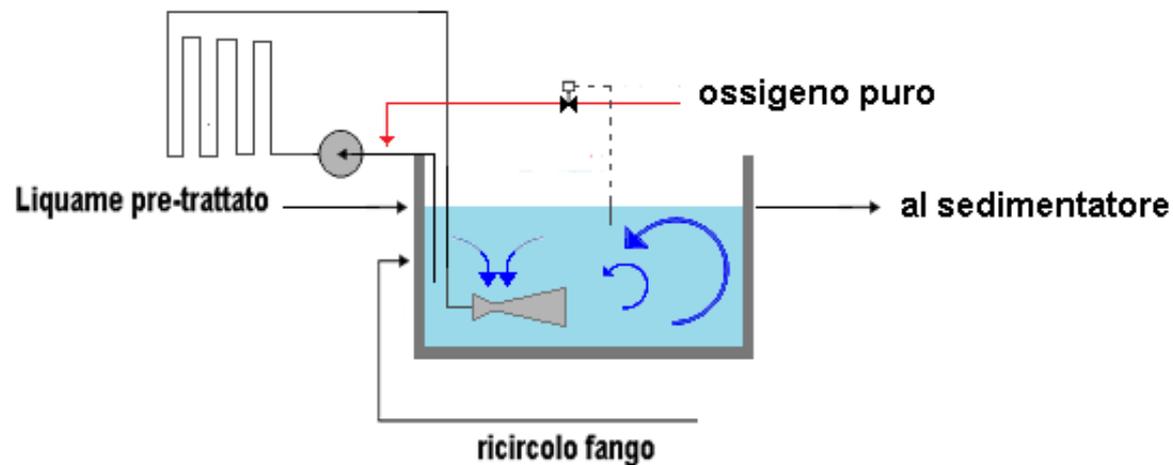


Schema di processo a fanghi attivi con ossigeno puro in reattore chiuso

L'ossigeno puro non consumato nel primo stadio viene utilizzato negli stadi successivi, diventando però sempre più ricco di CO_2 prodotta dal metabolismo batterico. Nell'ultimo stadio viene scaricato un gas esausto composto da O_2 (40% circa) e CO_2 . La presenza di rilevanti concentrazioni di anidride carbonica nel mixed-liquor abbassa leggermente il pH.

Fanghi attivi ad ossigeno puro (2)

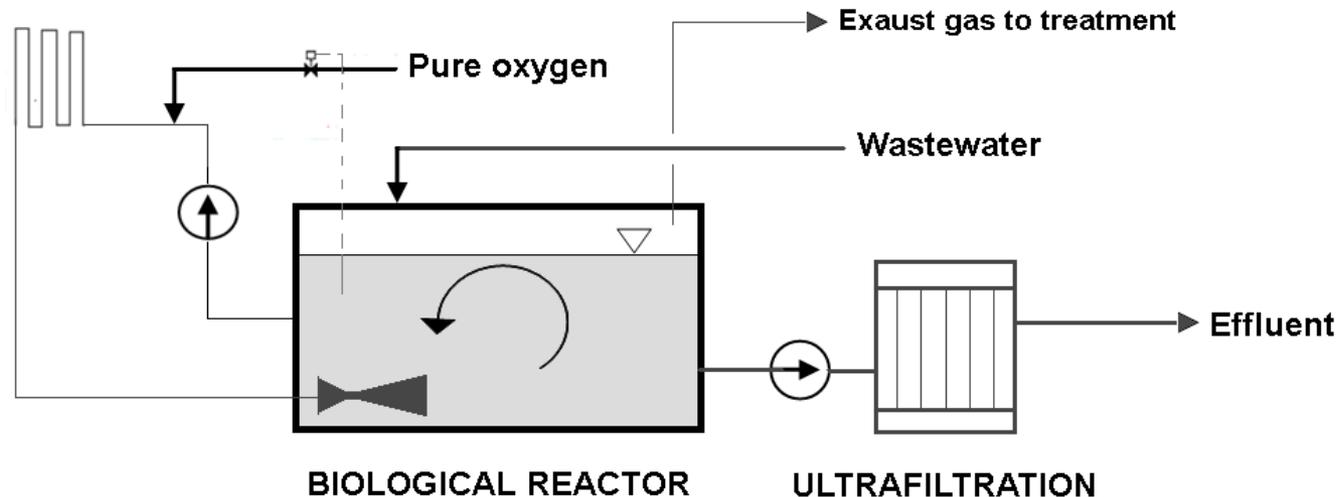
- Questo tipo di problema è superato con i sistemi a vasca aperta, applicando sistemi di ossigenazione altamente efficienti, ovvero in grado di realizzare un'alta solubilizzazione dell'ossigeno puro alimentato



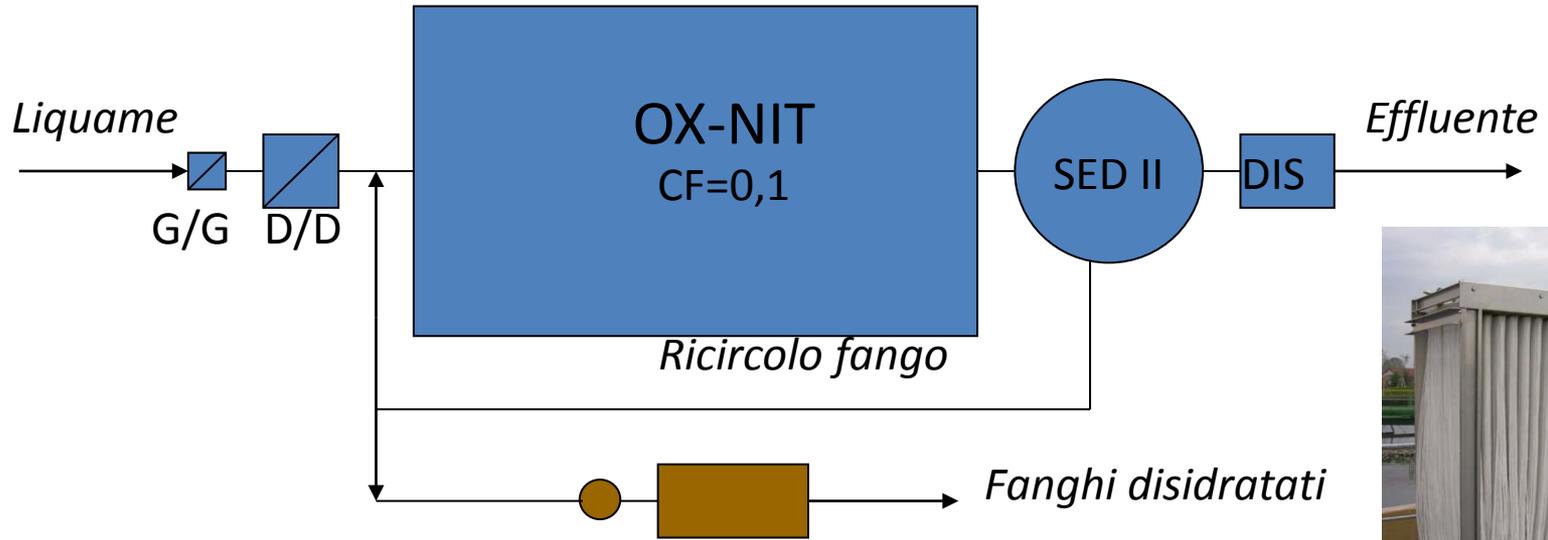
Schematizzazione di reattore a fanghi attivi con ossigeno puro alimentato in vasca aperta

Schema di processo biologico termofilo con ossigeno puro

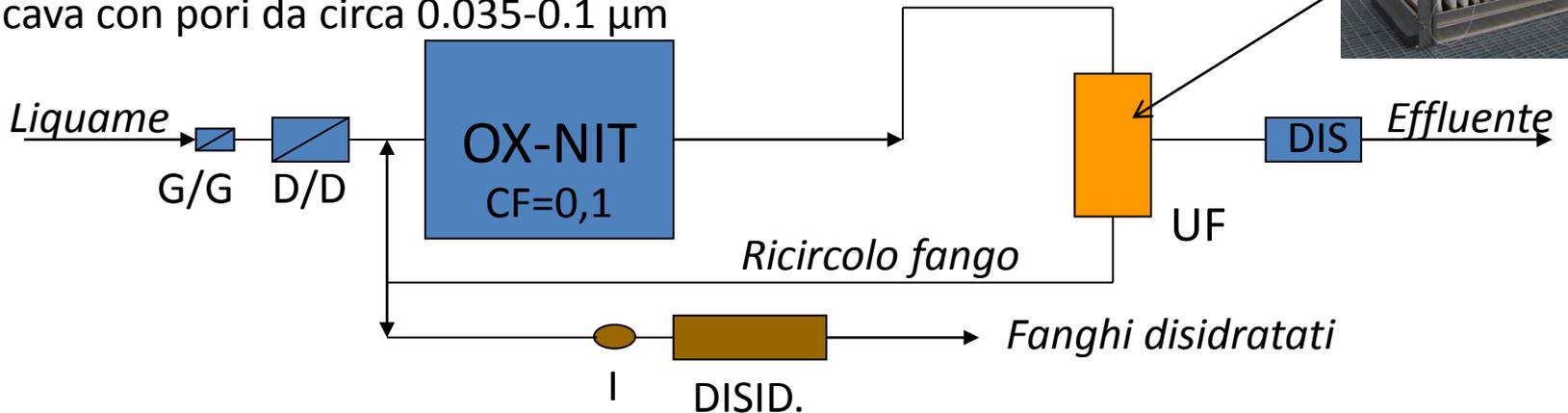
- processo adatto al trattamento di reflui particolarmente concentrati ($\text{COD} > 3.000 \text{ mg/L}$) in condizioni termofile (temperatura di circa 50°C) in reattori chiusi
- L'esotermicità delle reazioni biochimiche determina l'autostentamento energetico del processo quando la rimozione del COD supera i 20.000 mg/L
- L'alta temperatura e l'alta concentrazione di biomassa rendono molto celere il processo (da 3 a 10 volte rispetto alle condizioni mesofile)



Processo a fanghi attivi con membrane microporose: Membrane Biological Reactor (MBR)



Membrane porose di ultrafiltrazione a fibra cava con pori da circa $0.035-0.1 \mu\text{m}$



Volume vasca ossidazione: $1/3 - 1/4$

4h. Filtrazione su mezzo granulare

Filtrazione su mezzo granulare

- **OBIETTIVO:** rimozione fine dall'acqua dei solidi sospesi
- Mezzi filtranti impiegati:
 - mezzi granulari (sabbia, coke, antracite)
 - Monostrato o multistrato
 - A gravità o in pressione
 - Con sabbia (tipica): rimozione solidi sospesi di dimensione superiore alle particelle colloidali ($> 10 \mu\text{m}$)
 - materiali microporosi (ceramica, membrane plastiche microporose)
 - efficienze maggiori rispetto ai granulari finanche alla rimozione delle particelle colloidali sospese
 - Maggiori perdite di carico idraulico -> maggiori consumi energetici
- Necessità di controlavaggi periodici (con aria e/o acqua) per eliminare il materiale filtrato (necessità di smaltirlo o di reimmetterlo in testa all'impianto)

Esempi di filtri

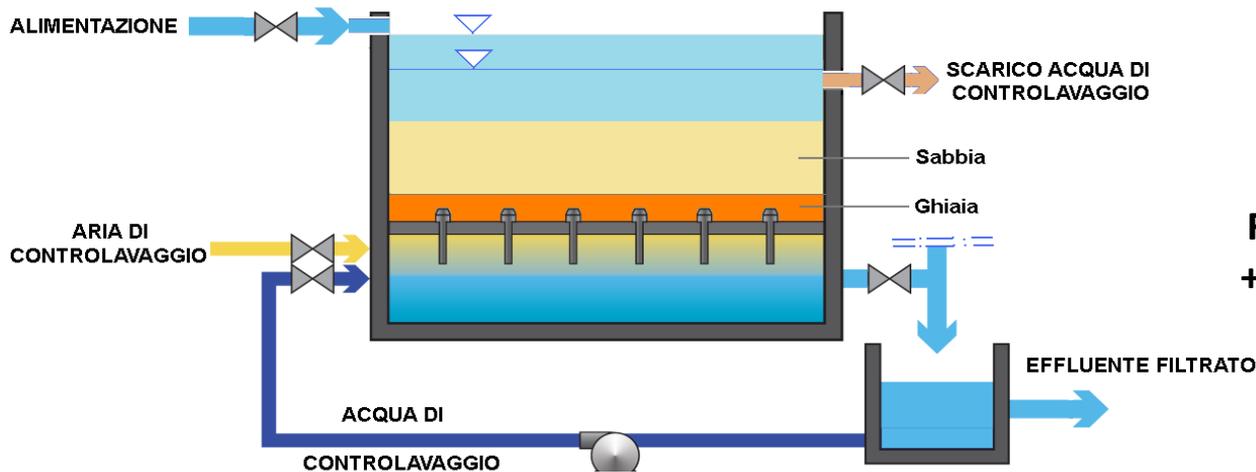


**<- Batteria di filtri in pressione
(fonte: Idrodepurazione)**

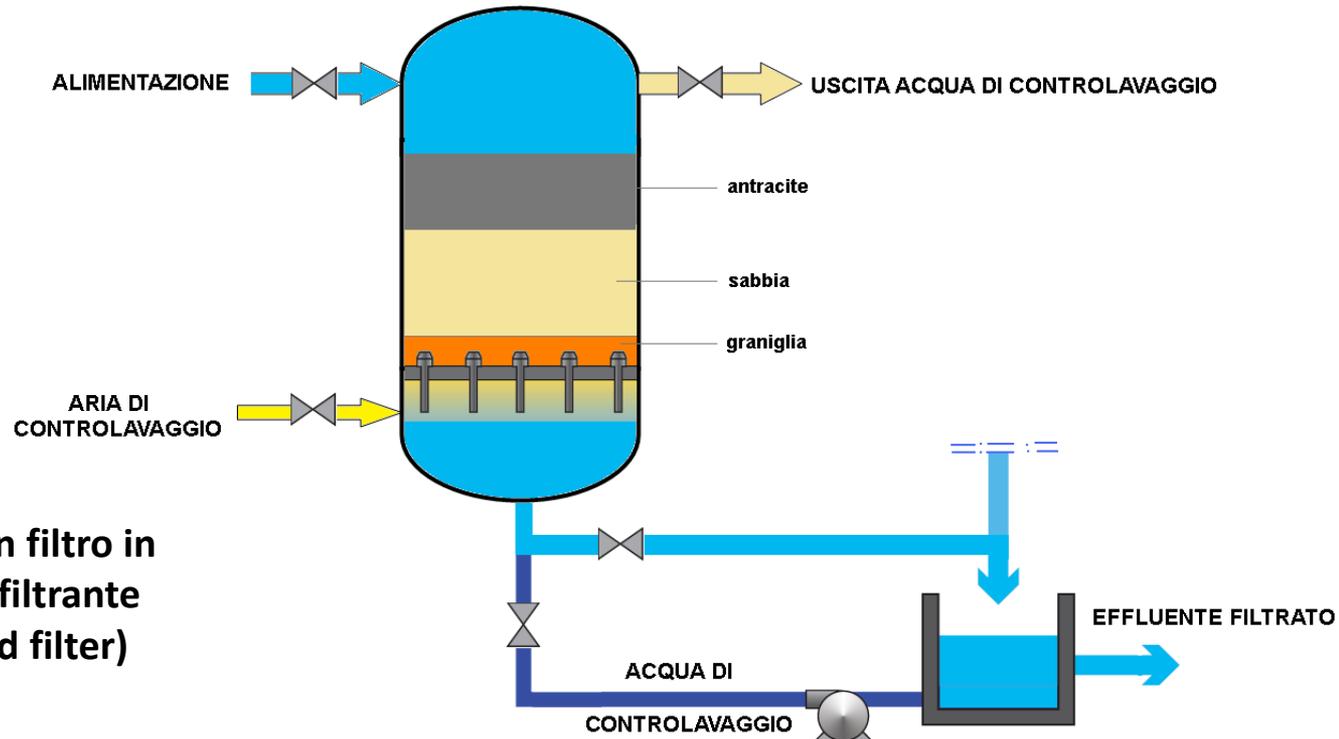
**Batteria di filtri a sabbia a gravità
(depuratore di Milano Nosedo) ->**



Esempi di filtri



Filtro a gravità a sabbia (sabbia + graniglia per supporto sabbia)

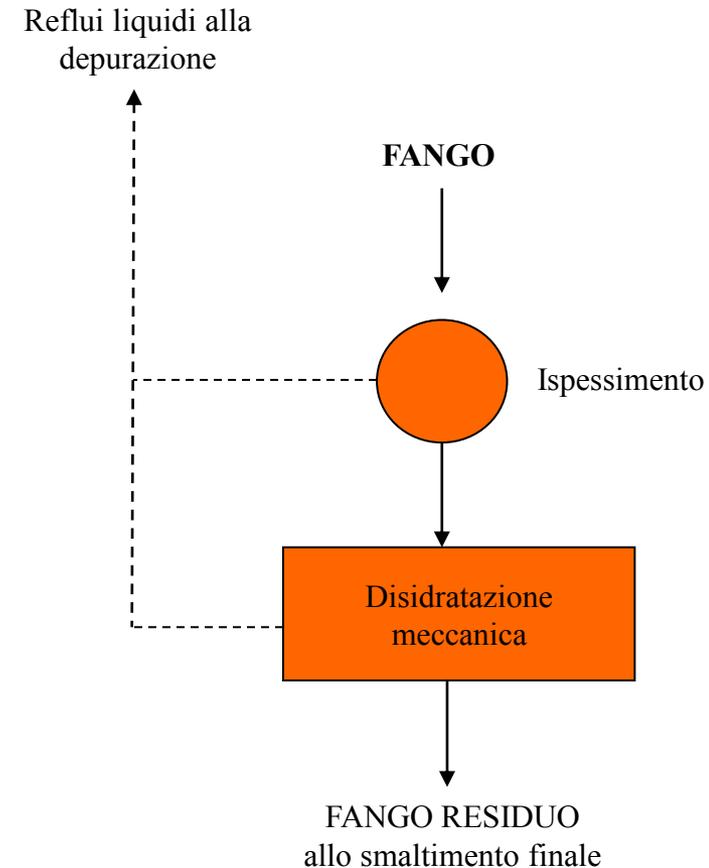


Schematizzazione di un filtro in pressione con mezzo filtrante multistrato (deep bed filter)

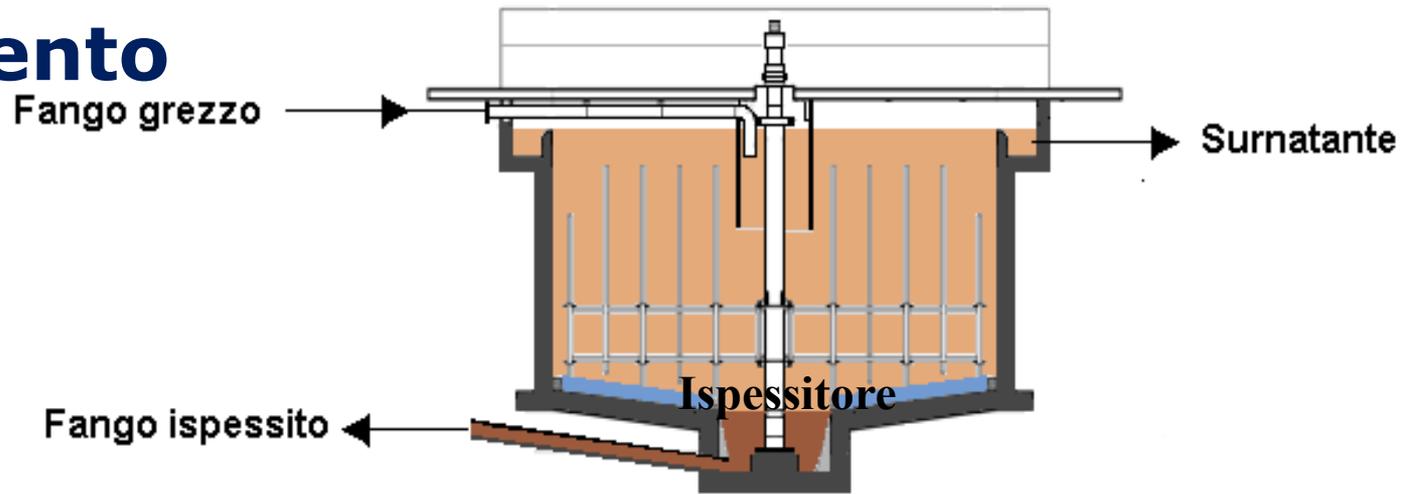
4i. Trattamento dei fanghi

Tipologie di fango ed esigenze di trattamento

- In generale i fanghi di depurazione possono essere recapitati allo smaltimento finale (discarica controllata, termodistruzione, altro processo...) solo se:
 - adeguatamente disidratati ($SS \geq 25\%$)
 - adeguatamente stabilizzati (eliminazione della putrescibilità)
- Nel caso di fanghi dell'industria tessile, possiamo avere:
 - fango organico stabilizzato: ispessimento e disidratazione meccanica
 - fango chimico: ispessimento e disidratazione meccanica



Ispessimento

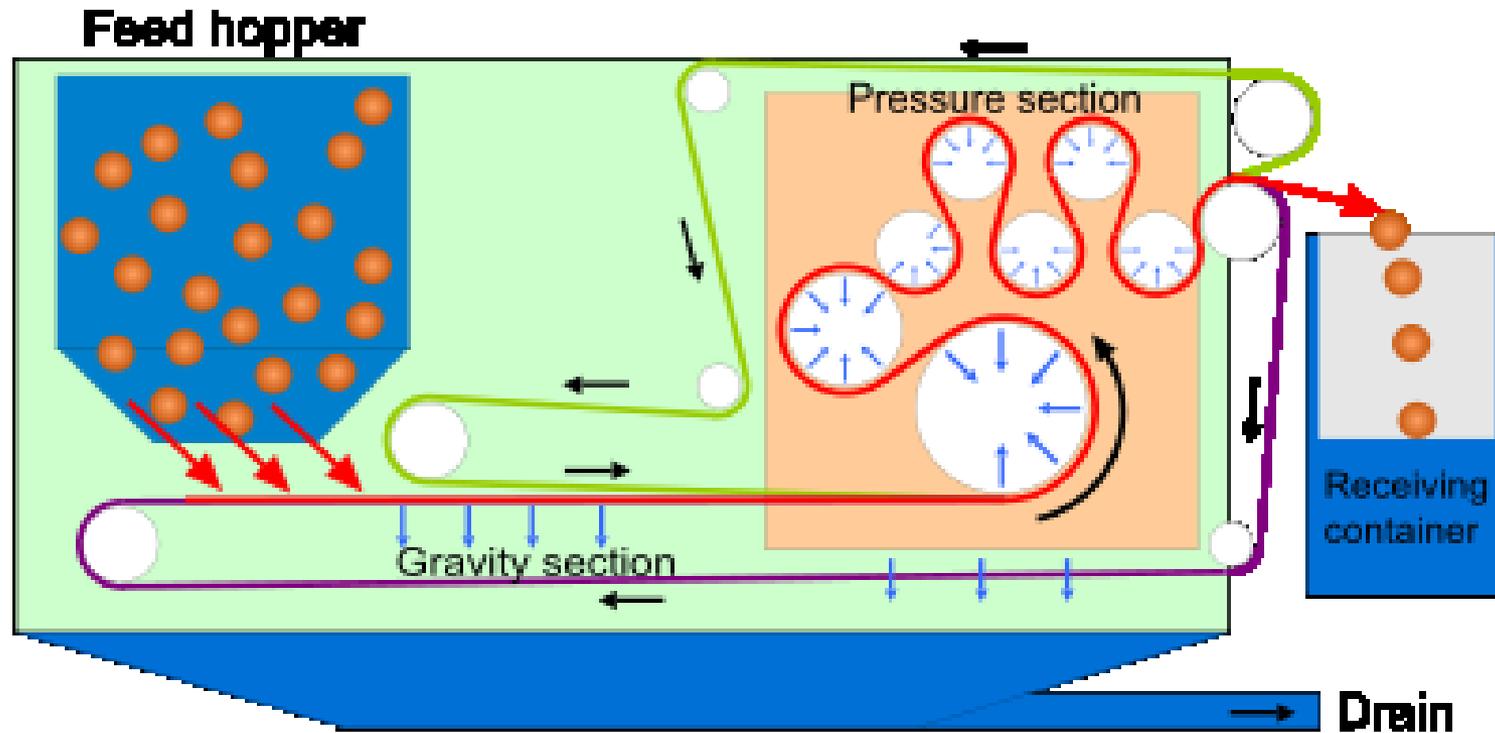


Tipo di fango	Concentrazione SS (%)		Flusso Solido (Kg SS/d · m ²)	Fonte
	IN	OUT		
Primario	2,5-5,5	8-10	100-150	*
Fango attivo	0,8-1,2	2,5-3,3	20-40	*
Letto percolatore	4-7	7-9	40-50	*
Primario + Fango attivo (fresco)	2,6-4,8	4,6-9	40-80	*
Primario + Percolatore (fresco)	3-6	7-9	60-100	*
Primario (digerito)	8	12	117	**
Primario + fango attivo (digerito)	4	8	72	**

Valori di Flusso Solido di progetto degli ispessitori del fango

(*) Wastewater Engineering (**) Sludge Treatment & Disposal- EPA

Disidratazione meccanica: nastro pressa

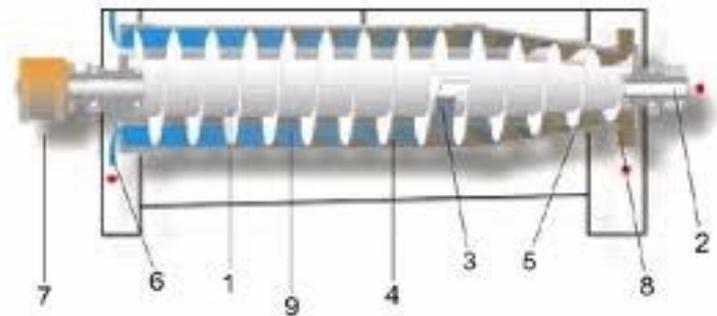
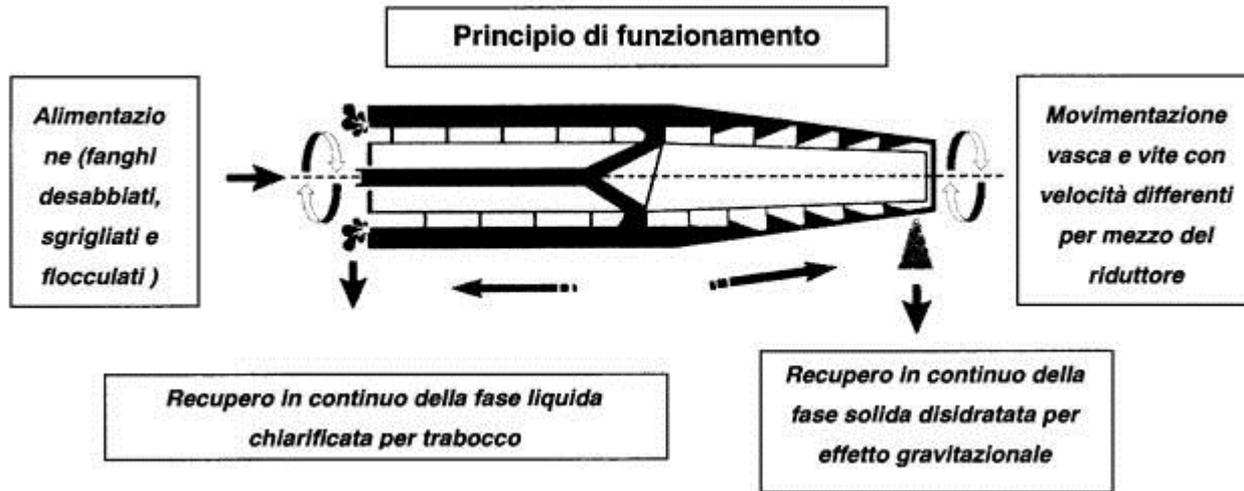


Nastro pressa per la disidratazione dei fanghi: schema di funzionamento

Disidratazione meccanica: nastro pressa



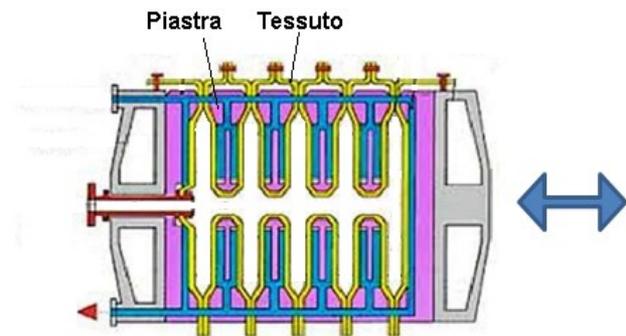
Centrifuga per disidratazione fanghi



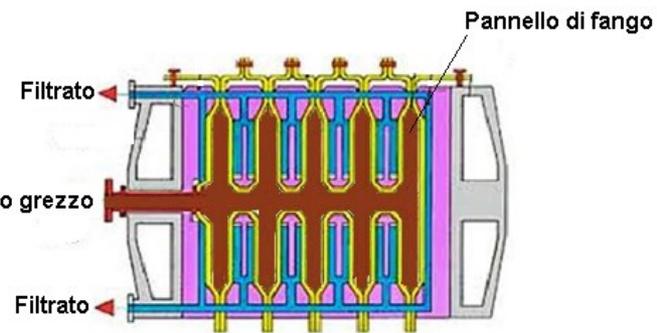
Filtro pressa a camere



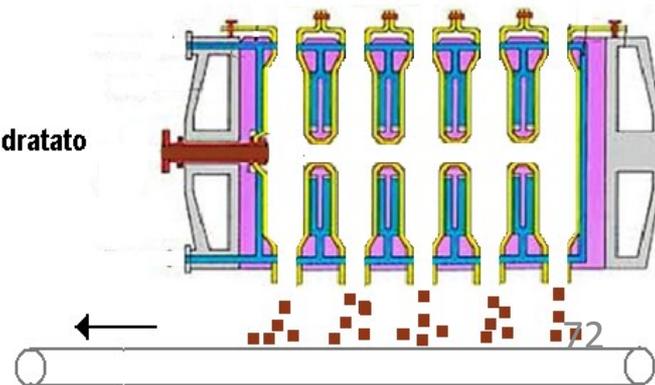
Fase 1:
Chiusura piastre



Fase 2:
Caricamento fango nelle camere



Fase 3:
Apertura piastre e raccolta fango disidratato



Disidratazione meccanica

- Condizionamento dei fanghi organici
 - I fanghi organici per poter essere disidratati meccanicamente richiedono un previo condizionamento con reattivi chimici. E' tipico l'uso dei seguenti prodotti con relativi dosaggi:
 - Condizionanti: polielettrolita
- Risultato di sostanza secca (SS in percentuale di peso sul totale del fango) nel fango disidratato:
 - nastro-pressatura: 25-30% SS
 - centrifugazione: 25-30% SS
 - filtro-pressatura a camere: 35-45% SS