

# CHIARIFLOCCULAZIONE



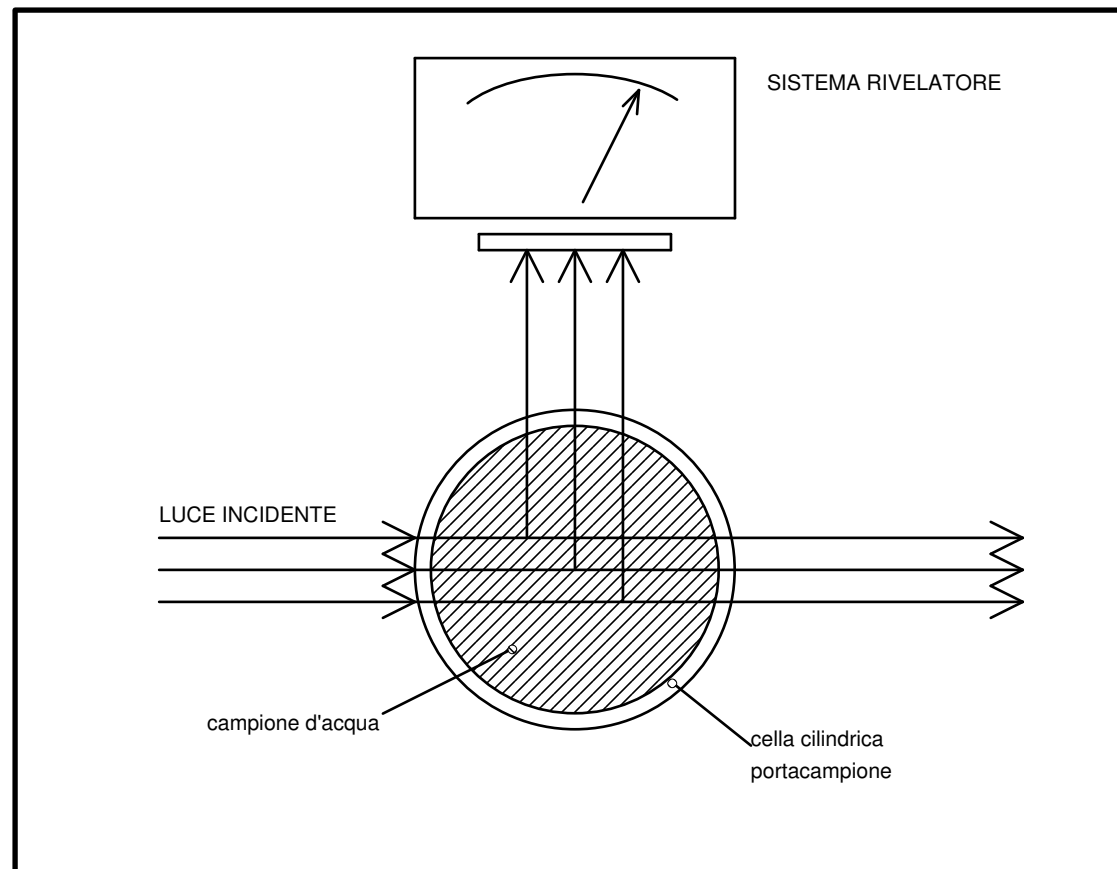
## Nelle acque sono presenti diversi tipi di particelle:

TABELLA 6.1 — Influenza del diametro delle particelle sospese nell'acqua sulla loro velocità di sedimentazione (secondo Bianucci e De Stefani).

Sostanze sospese	Diametro delle particelle $\mu\text{m}$	Tempo occorrente per una caduta di 1 m alla temperatura di 10 °C
Ghiaia	10 000	1,5 s
Sabbia grossa	1 000	6 s
Sabbia fine	100	3 min
Fango	10	3 ore
Batteri ( <sup>1</sup> )	1	300 ore
Argilla	0,1	1500 giorni
Sostanze colloidali ( <sup>1</sup> )	0,01	450 anni

(<sup>1</sup>) Si è ammessa una densità media delle particelle di 2,6. Pertanto per i batteri e le sostanze colloidali, che hanno densità molto diverse, i dati qui riportati hanno solo un valore di larga approssimazione.

# *TORBIDITÀ, parametro fondamentale*



Nefelometro per la misura della torbidità.

Con una catena misura-attuazione-dosaggio  
si automatizza il controllo di processo

La chiariflocculazione si rende necessaria quando ci sono particelle con diametro =  $10^{-3} \div 10^{-6}$  [mm] (colloidi) per due motivazioni:

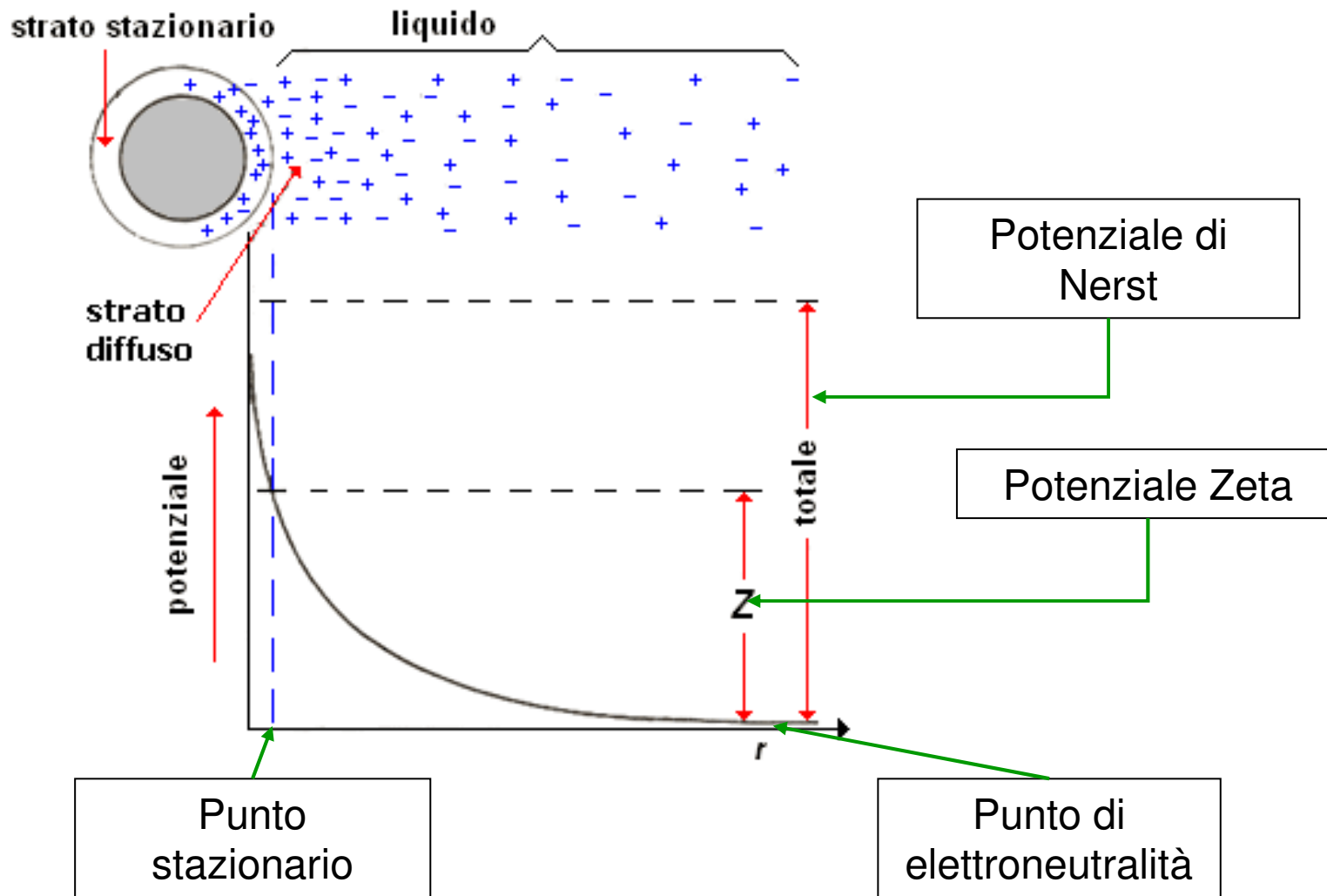
- dimensioni delle particelle molto piccole quindi velocità di sedimentazione molto bassa:

$$v_0 = \frac{g(\rho_s - \rho)D^2}{18\mu}$$

- carica elettrica presente sulla superficie delle particelle colloidali.



# Potenziale Z e potenziale di Nerst



Le particelle sono soggette a due forze opposte:

1. Forza repulsiva → data dalla carica elettrica presente sulla superficie del collide

$$F_r = K_r \cdot e^{-d}$$

2. Forza di attrazione di Van der Waals

$$F_a = \frac{K}{d^6}$$



Attraverso l'introduzione di *composti chimici* (elettroliti) si abbatte la forza repulsiva (“barriera di energia”).

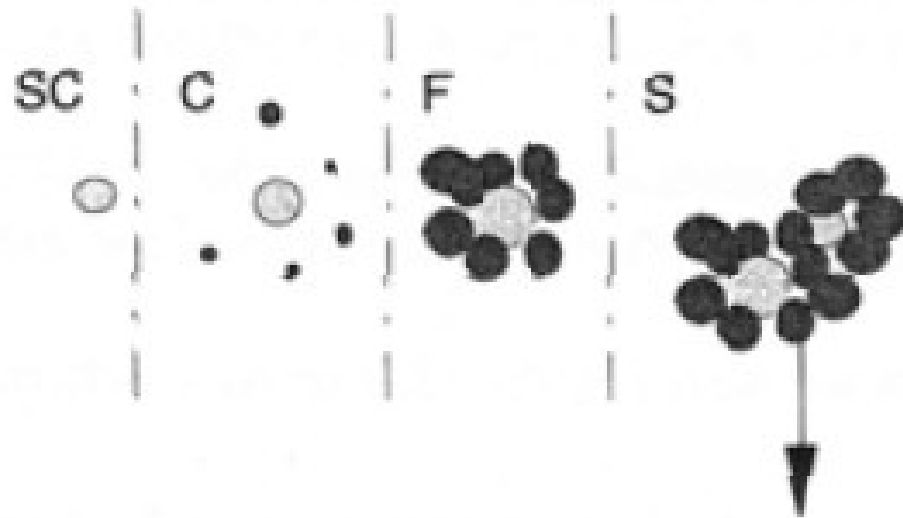
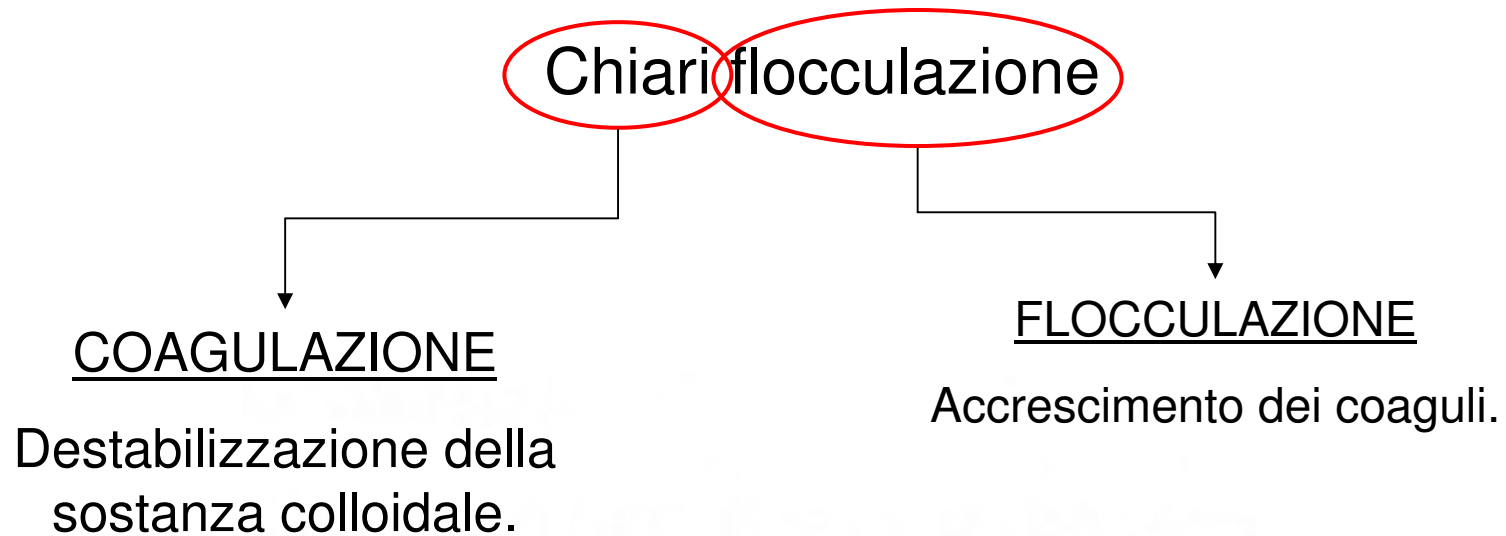
Viene abbattuto il potenziale zeta (il potenziale di Nerst rimane invariato).

All'aumento della valenza dell'elettrolita dosato:

- aumenta l'abbattimento del potenziale zeta,
- aumenta il potere coagulante;
- diminuisce la solubilità del composto risultante.



Il processo è costituito da due fasi fondamentali:





# COAGULAZIONE

Attenuazione del potenziale zeta, durata: 1 ÷ 2 minuti.

- I. Cristallizzazione: fenomeni di diffusione ed adsorbimento;
- II. Coagulazione pericinetica: collisione delle particelle a causa dei moti Browniani (moti casuali dovuti agli urti tra molecole e solvente).
- III. Coagulazione ortocinetica: ulteriore agglomerazione dei fiocchi dovute a forze tangenziali. In questa fase assume importanza il basso  $K_s$  degli idrossidi metallici bi e tri-valenti.

$K_s = [A^+] \times [B^-] \rightarrow$  prodotto di solubilità



## Variabili della coagulazione

- I. pH della soluzione → gli ioni  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}^+$  sono quelli più adsorbiti;
- II. temperatura → influisce sulla cinetica della reazione;
- III. tempo di reazione
- IV. dose del reagente e ordine di introduzione
- V. velocità di agitazione → per valori di numero di Reynolds  $[\text{Re}]$   $250 \div 4000$  le collisioni permettono l'accrescimento dei fiocchi, per valori superiori si creano dei vortici che portano alla rottura dei fiocchi.

# *FLOCCULAZIONE*

Accrescimento dei coaguli, durata: 5 ÷ 20 minuti.

Si tengono in movimento i coaguli in modo che possano formare dei fiocchi ben decantabili.

La velocità di movimento non deve essere né troppo bassa (per evitare la sedimentazione) né troppo alta (per evitare la rottura del fiocco).

# *SEDIMENTAZIONE*

Dimensionata sulla base di:

- tempo di ritenzione di 1.5 ÷ 3 ore;
- carico idraulico superficiale di 0.7 ÷ 2 [m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)]

# REAGENTI COAGULANTI

Sono elettroliti solubili in acqua, provvisti di cationi bivalenti o trivalenti, poco costosi e innocui per la salute.

I più comuni sono sali metallici:

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (*solfo d'alluminio*),  $\text{AlCl}_3$  (*cloruro di alluminio*),  
PCBA (*poli cloruro basico di alluminio*)

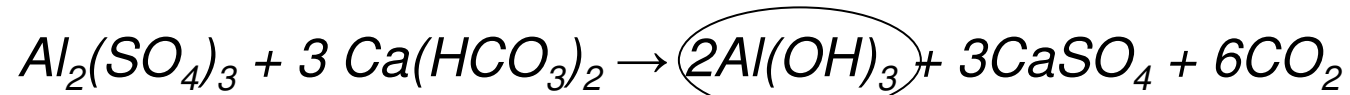
$\text{FeCl}_3$ , (*cloruro ferrico*),  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$  (*solfo ferrico*),  $\text{FeSO}_4$   
(*solfo ferroso*),

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  (*idrossido di calcio, calce*).



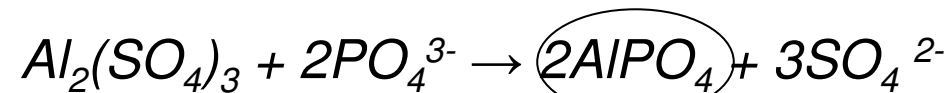
## Solfato di Alluminio $Al_2(SO_4)_3$

Commercializzato come soluzione acquosa al 50% o come solido idrato ( $\cdot 18 H_2O$ ).



↓  
Idrossido di Al  
(fiocchi voluminosi e  
gelatinosi)

Se esistono dei fosfati (liquami civili)



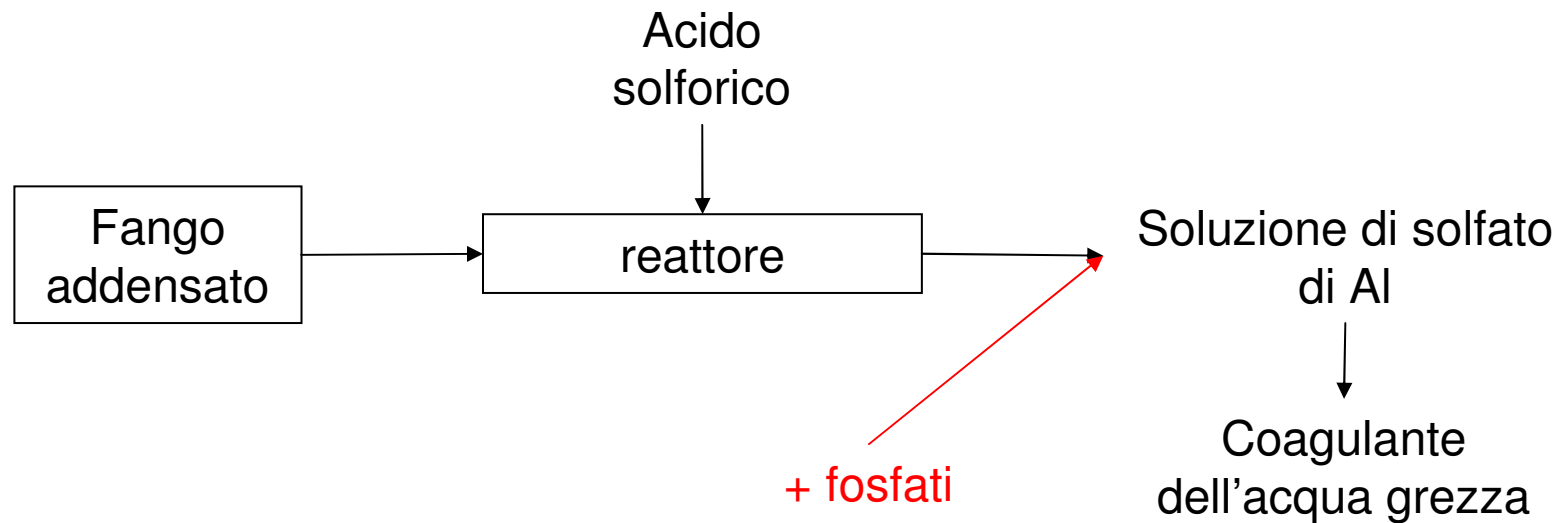
↓  
Fosfato di Calcio

Usato in soluzione acquosa del 5%, molto acida, dosaggi di 70-300 g/m<sup>3</sup>



# Recupero del solfato di Al dai fanghi

Recupero per via acida (acido solforico)



A pH 2.5÷3 il solfato di Al è recuperato quasi totalmente e senza perdere la sua originale efficienza.

## Cloruro ferrico $FeCl_3$

Commercializzato come cristalli o soluzione al 41%, meno costoso e meno sensibile alle variazioni del pH rispetto ad  $Al_2(SO_4)_3$ , ma più corrosivo e non adatto per lavorazioni tessili e conciarie.



↓  
Idrossido ferrico

(fiocchi pesanti e ben sedimentabili)

$Fe^{3+}$  (ferrico) migliore del  $Fe^{2+}$  (ferroso) perché ha un  $K_s$  minore, inoltre per  $Fe^{2+}$  è necessaria una soluzione basica.

Si usano anche dei solfati di Ferro: solfato ferroso  $FeSO_4$  e solfato ferrico  $Fe_2(SO_4)_3$ .



Dosaggi di 40-200 g/m<sup>3</sup>

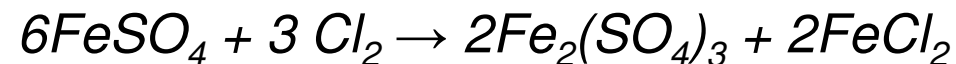


## Solfato ferroso $FeSO_4$

Utilizzato soprattutto per la chiarificazione di acque naturali per uso industriale.

Non può essere utilizzato nelle acque di fogna perché in assenza di  $O_2$  si forma idrossido ferroso (più solubile e difficile da disidratare) invece che ferrico.

In Inghilterra di usa solfato ferroso e Cloro che danno origine a:

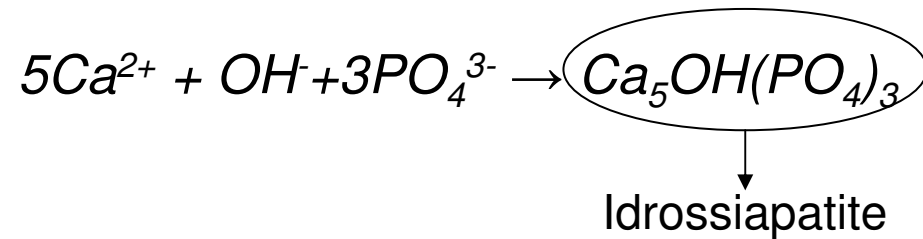
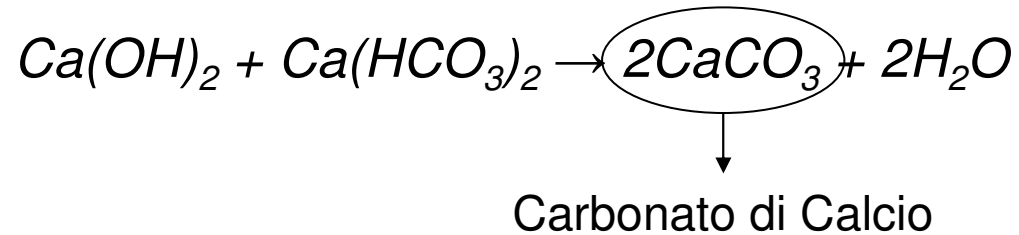


Un opportuno eccesso di Cloro permette inoltre un'azione disinfettante.



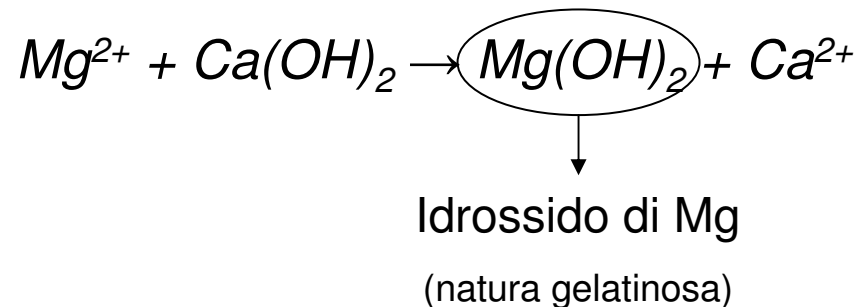
## Idrossido di Calcio $Ca(OH)_2$

Utilizzato per acque cloacali miste e reflui industriali contenenti grassi e saponi.



Ortofosfato di Ca e carbonato di Ca, durante la precipitazione, svolgono un'azione adsorbente sui polifosfati.

L'aggiunta di calce determina un innalzamento del pH, per pH = 9.5

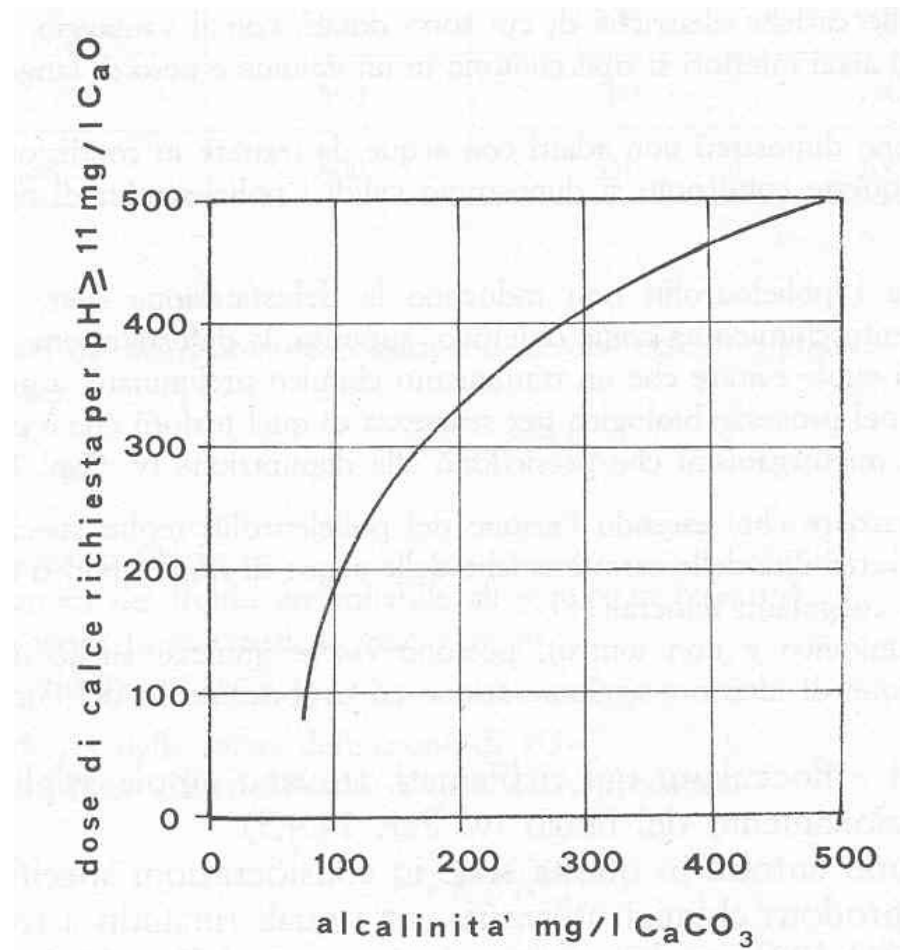


La reazione è completa per pH = 11.

A pH = 9.5 i fosfati vengono adsorbiti sulla superficie dei nuclei di carbonato di Ca → inibita la crescita → carbonato di Ca non precipitato.

Il dosaggio di calce è condizionato all'alcalinità dell'acqua (non dalla concentrazione dei fosfati).

# Quantità di calce da dosare in funzione dell'alcalinità dell'acqua in trattamento



## *Recupero della calce - ricalcinazione*

I fanghi vengono riscaldati a 1000 °C, il carbonato di Calcio –  $\text{CaCO}_3$  – si disidrata e si decompone liberando  $\text{CO}_2$  e ossido di Calcio (residuo secco).

La calce recuperata deve essere reintegrata con una quantità pari a 25÷35% di calce fresca.

Processo non sempre vantaggioso da un punto di vista economico.

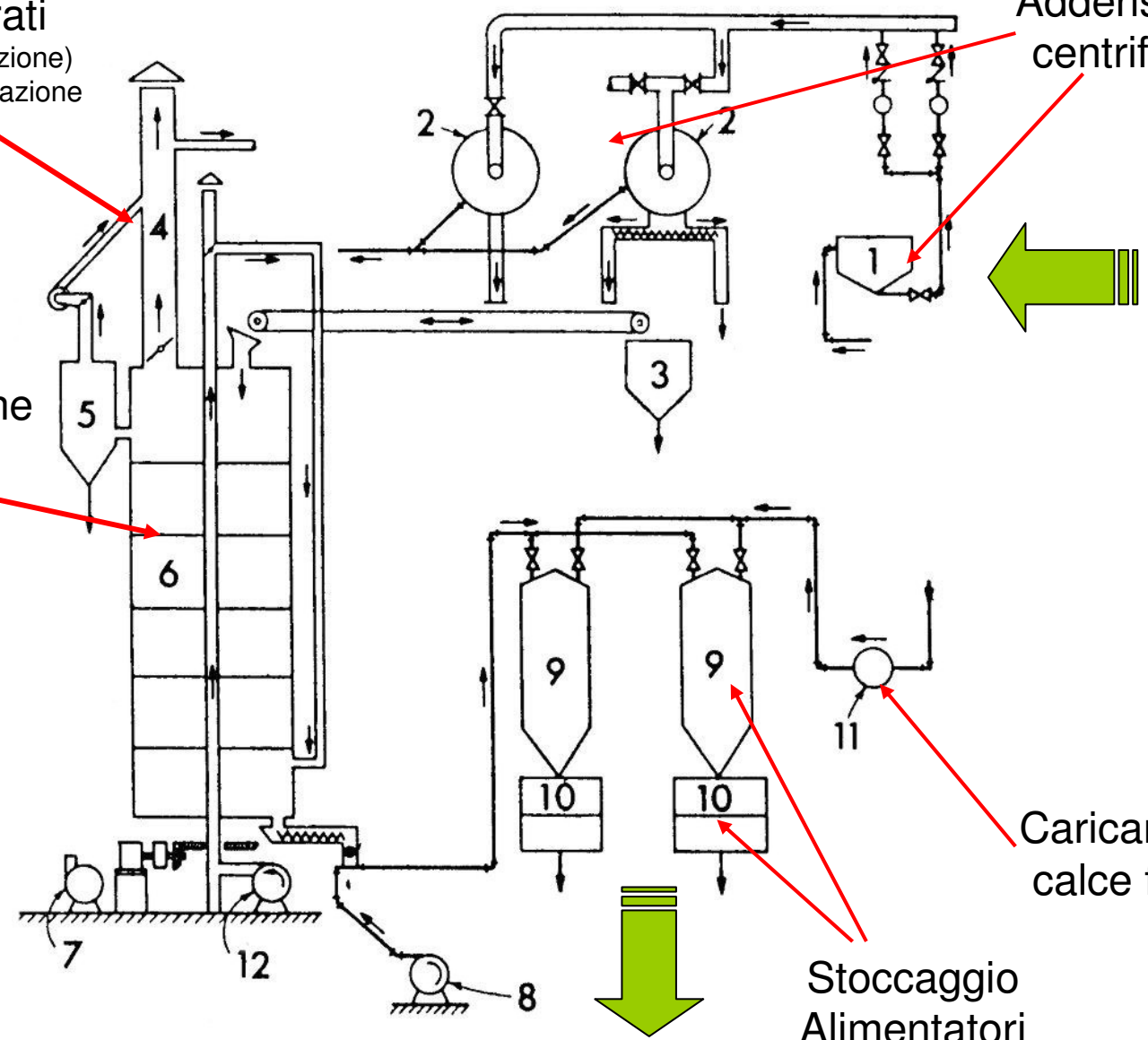
Fumi depurati  
(no odori no colorazione)  
Usati per ricarbonatazione

Forno di  
ricalcinazione  
( $T_{max}$  in alto)

Addensamento e  
centrifugazione

Caricamento  
calce fresca

Stoccaggio  
Alimentatori



## *Ausiliari di coagulazione*

Aiutano l'azione coagulante dei reagenti.

Vantaggi:

- aumento della velocità di sedimentazione;
- migliori caratteristiche e disidratabilità dei fanghi;
- maggior rendimento;
- range di pH più ampi;
- diminuzione delle dosi di coagulante.

# FLOCCULANTI MINERALI

Silice attivata,

porta una forte carica negativa, floccula insieme ai colloidi rendendoli più pesanti e compatti.

Sabbia fine silicea, farina di diatomee (kieselguhr)

appesantiscono i fiocchi

Argilla

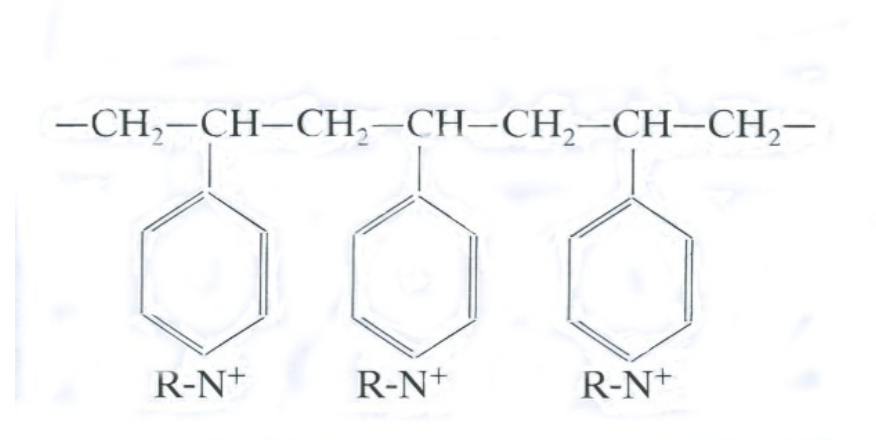
(bentonite) meno efficace, ma adatta per ogni pH.





# FLOCCULANTI ORGANICI

- Polielettroliti
- Polimeri organici di sintesi, idrosolubili.



- Determinano una notevole pesantezza e compattezza del fiocco, devono essere inseriti 1-2 min. dopo il coagulante.

# FLOCCULANTI ORGANICI

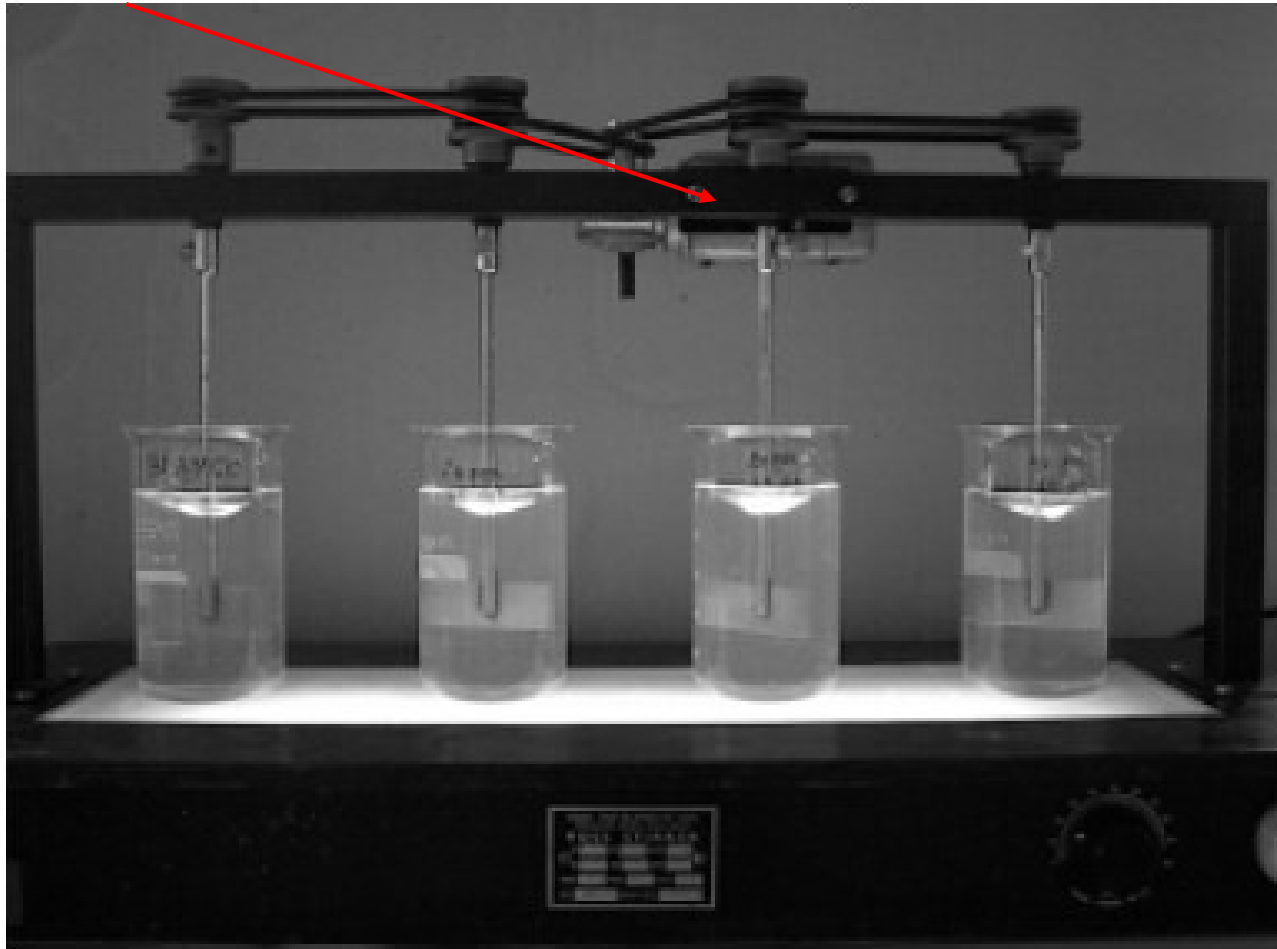
- Amidi (estratti da granaglie)
- Alginati (estratti da alghe)

## Prove di jar-test

Prove pratiche per lo studio della coagulazione (1-2 min) e flocculazione (5-15 min).



## Motori a velocità variabile

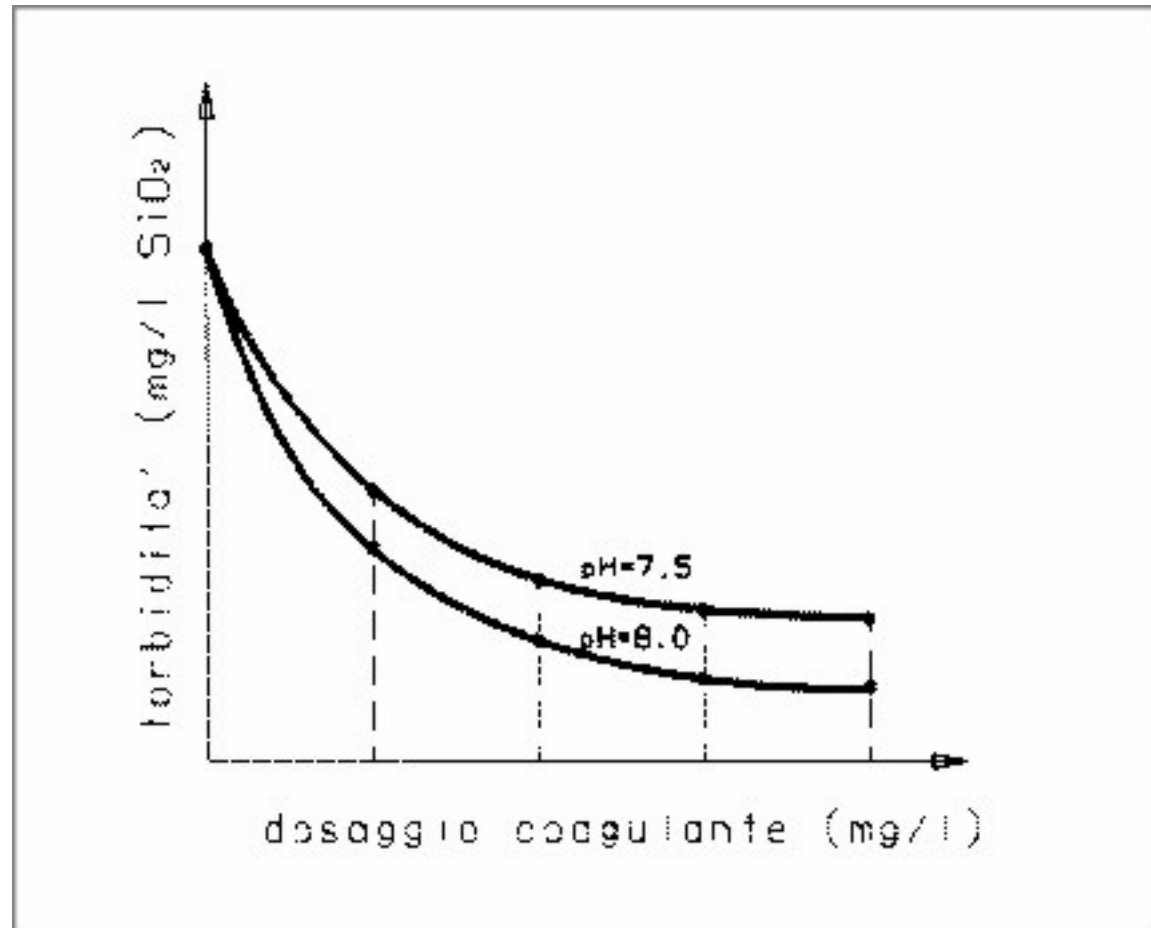


N.B. Si consiglia di fare la prova a  $T^\circ$  pari a quella che si avrebbe nell'impianto.

## *Prove di jar-test*

Le prove sono diverse e si fanno variando:

- tipo/dose e ordine reagenti;
- pH
- velocità degli agitatori.



## *Impianti di chiariflocculazione*

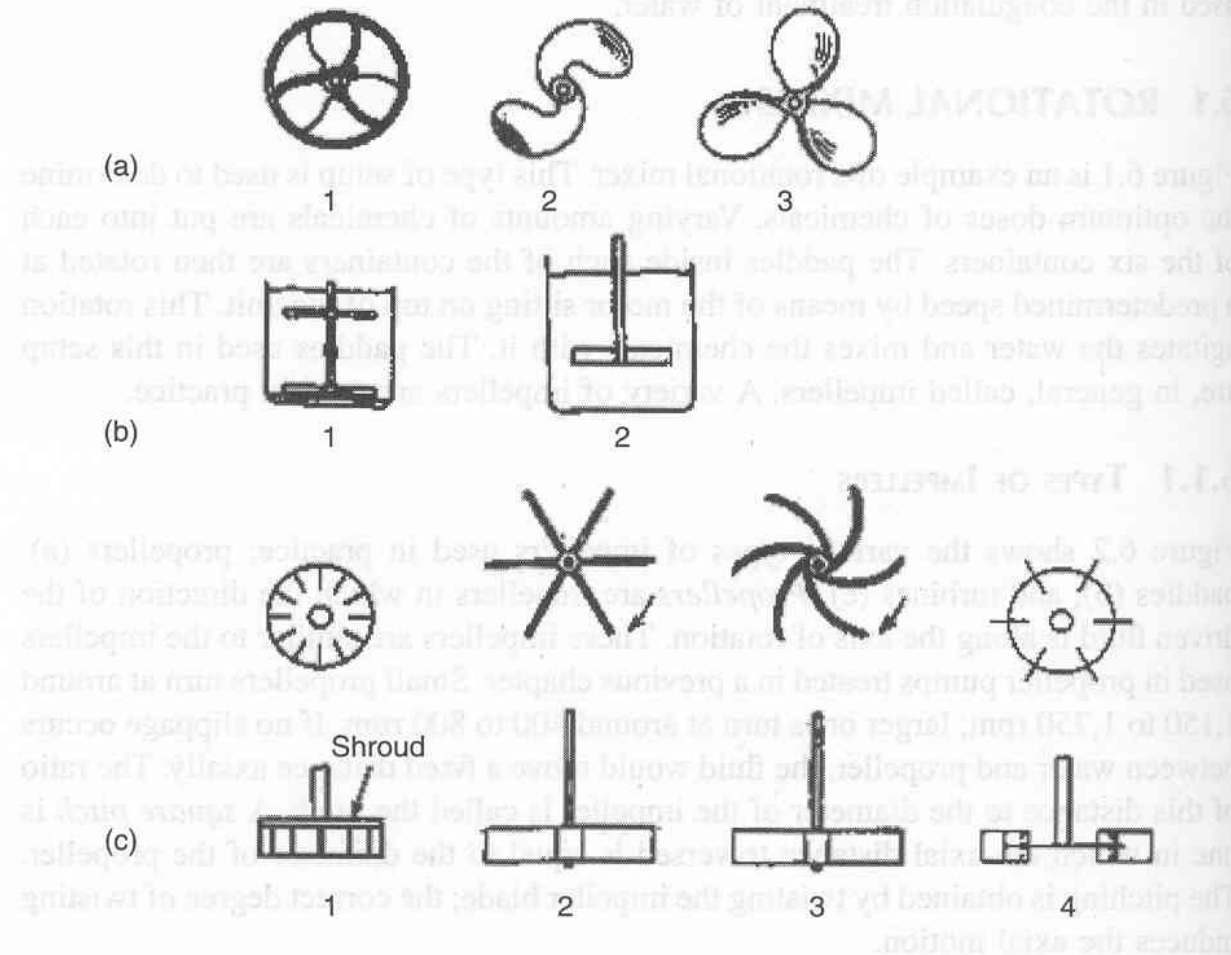
### *Coagulazione (30'' – 2')*

Camera di miscelazione munita di un agitatore rotante veloce, dimensionata in base ai tempi di coagulazione. Se ci sono più reagenti, occorrono più camere di miscelazione in serie o si mette una pompa di iniezione che introduce la miscela in direzione tangenziale al fluido (sez. circolare).

E' da evitare la rotazione di tutta la massa del fluido con opportune configurazioni della vasca.

# Coagulazione: tipologie di miscelatori

© 2002 Phipps & Bird.)



**FIGURE 6.2** Types of impellers. (a) Propellers: (1) guarded; (2) weedless; and (3) standard three-blade. (b) Paddles: (1) pitched and (2) flat paddle. (c) Turbines: (1) shrouded blade with diffuser ring; (2) straight blade; (3) curved blade; and (4) vaned-disk.



# Coagulazione: sistemi per impedire la rotazione

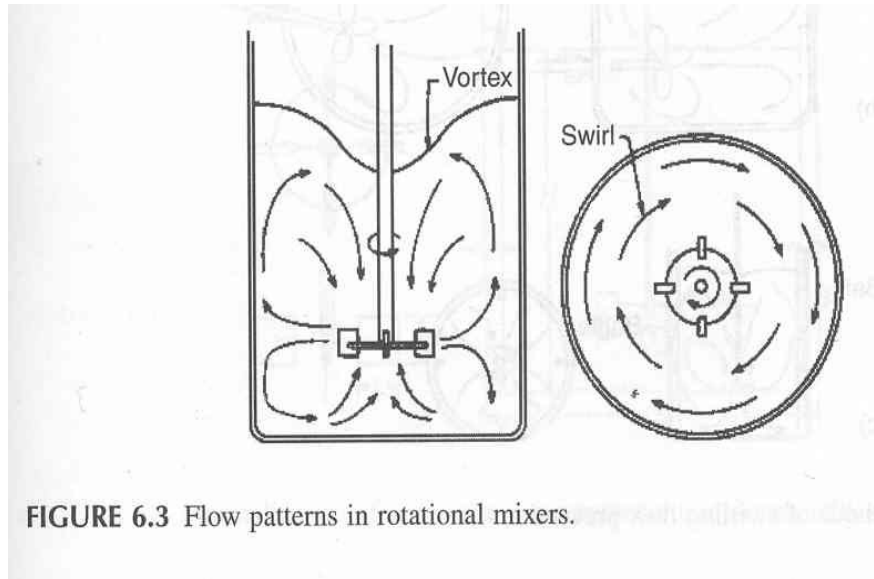


FIGURE 6.3 Flow patterns in rotational mixers.

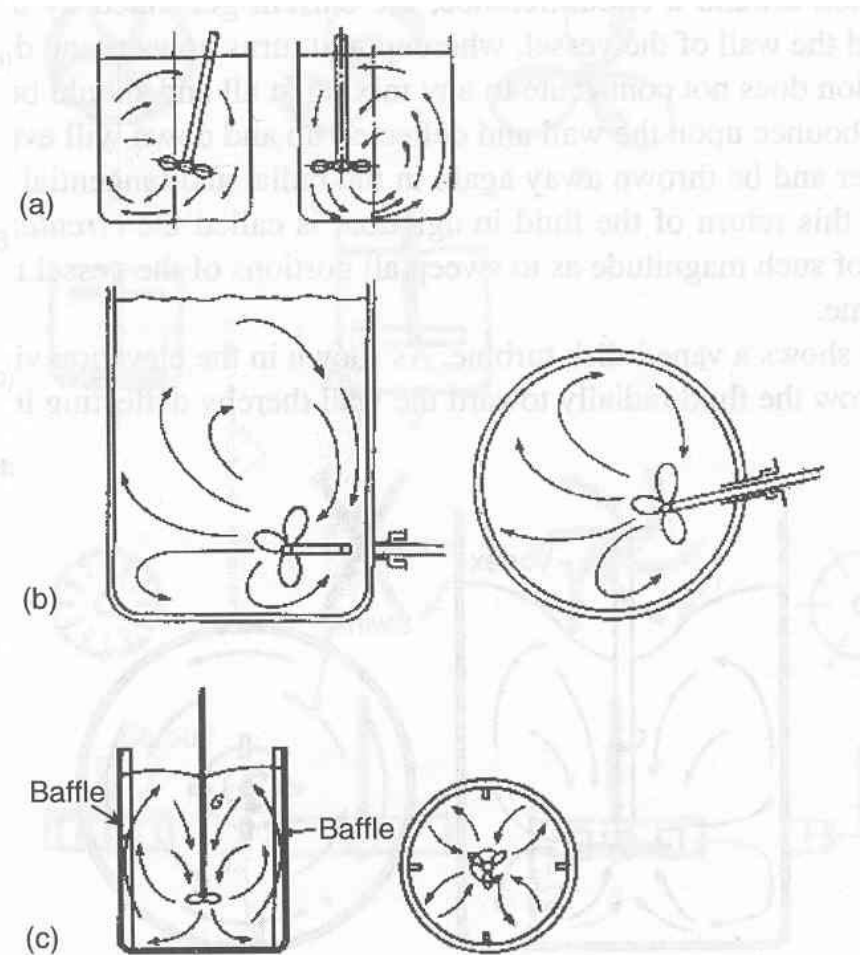


FIGURE 6.4 Methods of swirling flow prevention.

# Altri sistemi di miscelazione

- Miscelatori statici (in linea) tratti di tubazione contenenti alettature che producono forte turbolenza

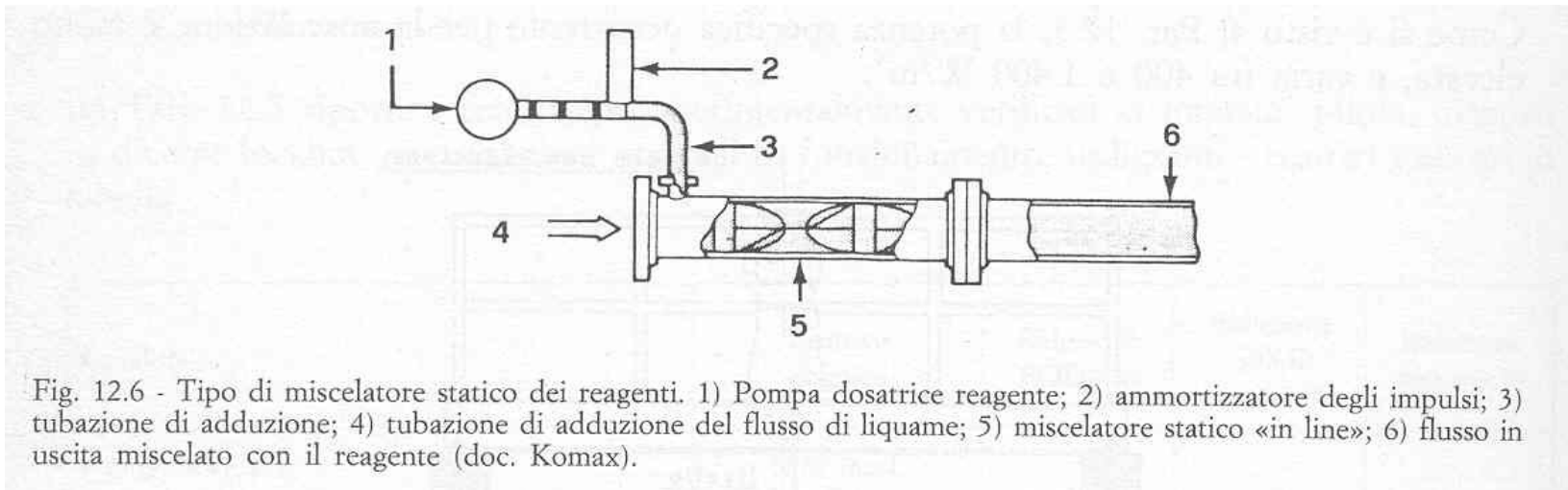


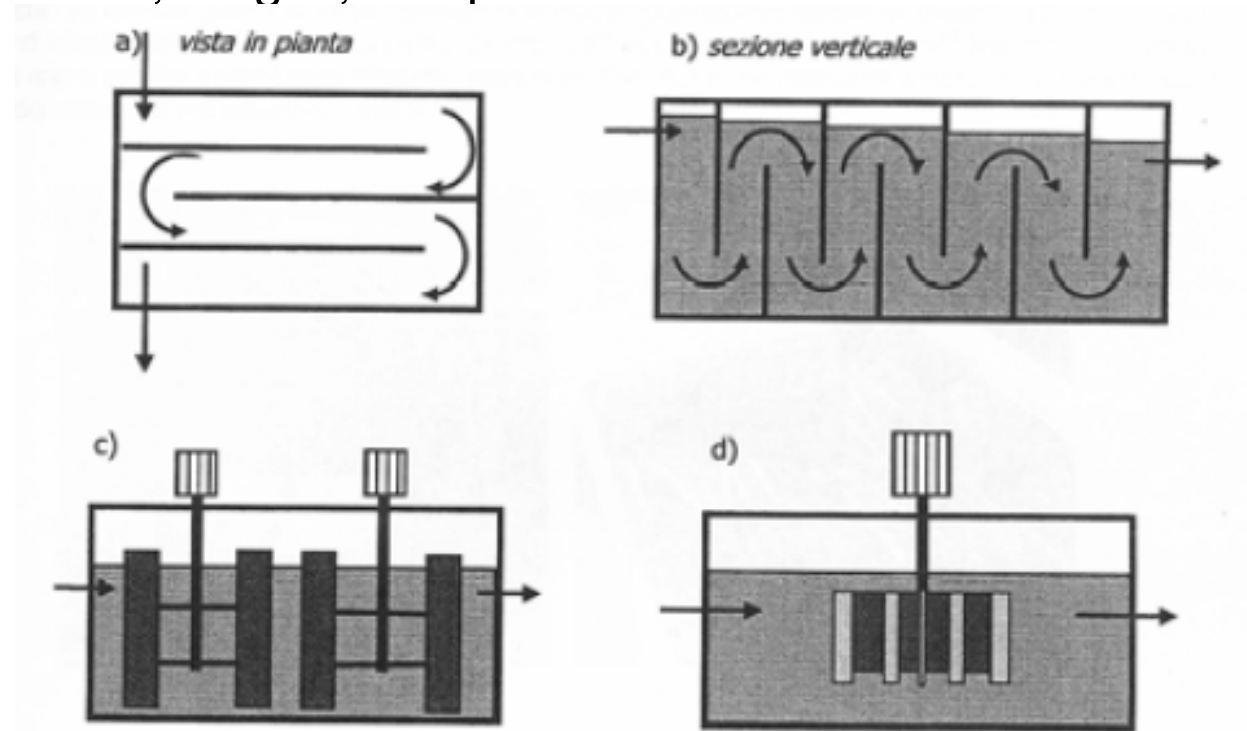
Fig. 12.6 - Tipo di miscelatore statico dei reagenti. 1) Pompa dosatrice reagente; 2) ammortizzatore degli impulsi; 3) tubazione di adduzione; 4) tubazione di adduzione del flusso di liquame; 5) miscelatore statico «in line»; 6) flusso in uscita miscelato con il reagente (doc. Komax).

- miscelatori pneumatici (iniezione di bolle d'aria sul fondo)

# Vasche di flocculazione

*Flocculazione (5' – 15')*

Il liquido deve essere mantenuto in movimento lento, si ottiene attraverso sbarramenti verticali o, meglio, con pale ruotanti lente.



*Sedimentatore*

Classici bacini per la sedimentazione primaria.

# Impianti combinati

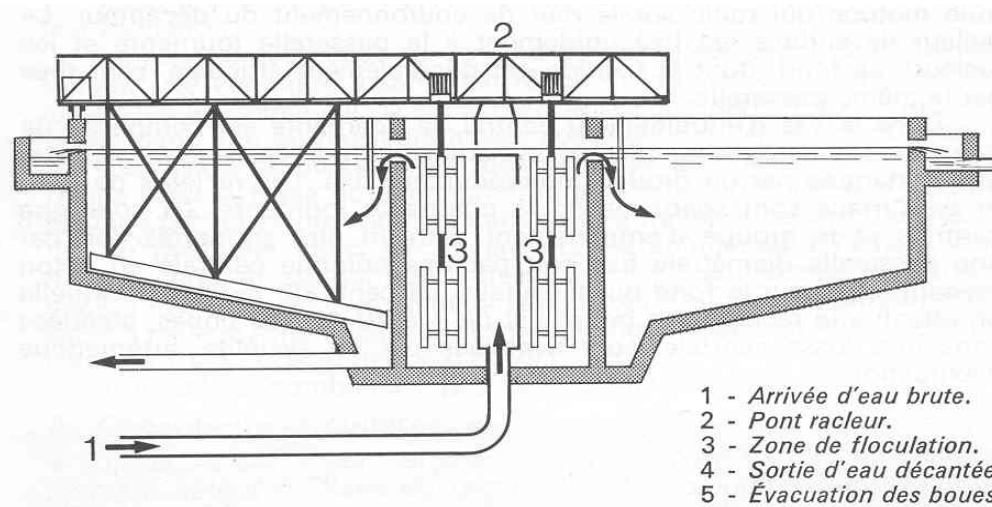


Fig. 83. — Décanteur floculateur à pont racleur avec entraînement périphérique sans recirculation de boues.

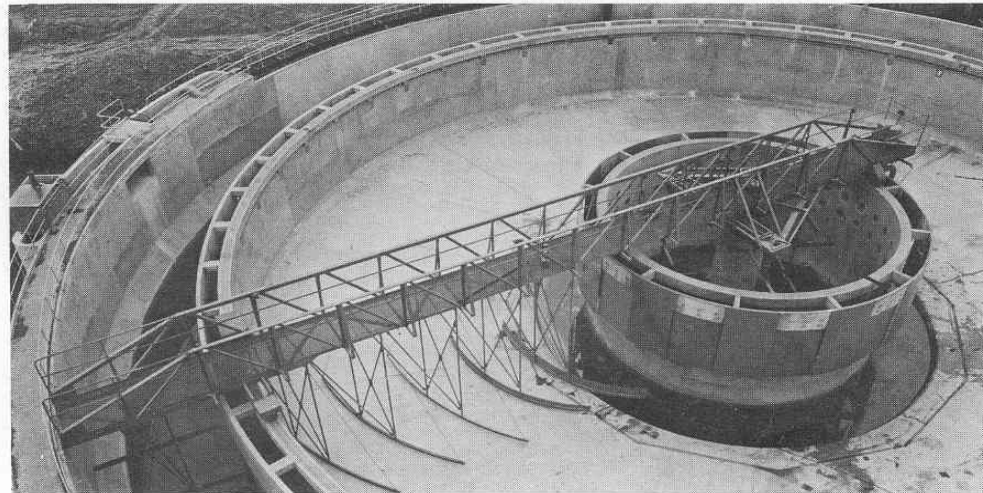
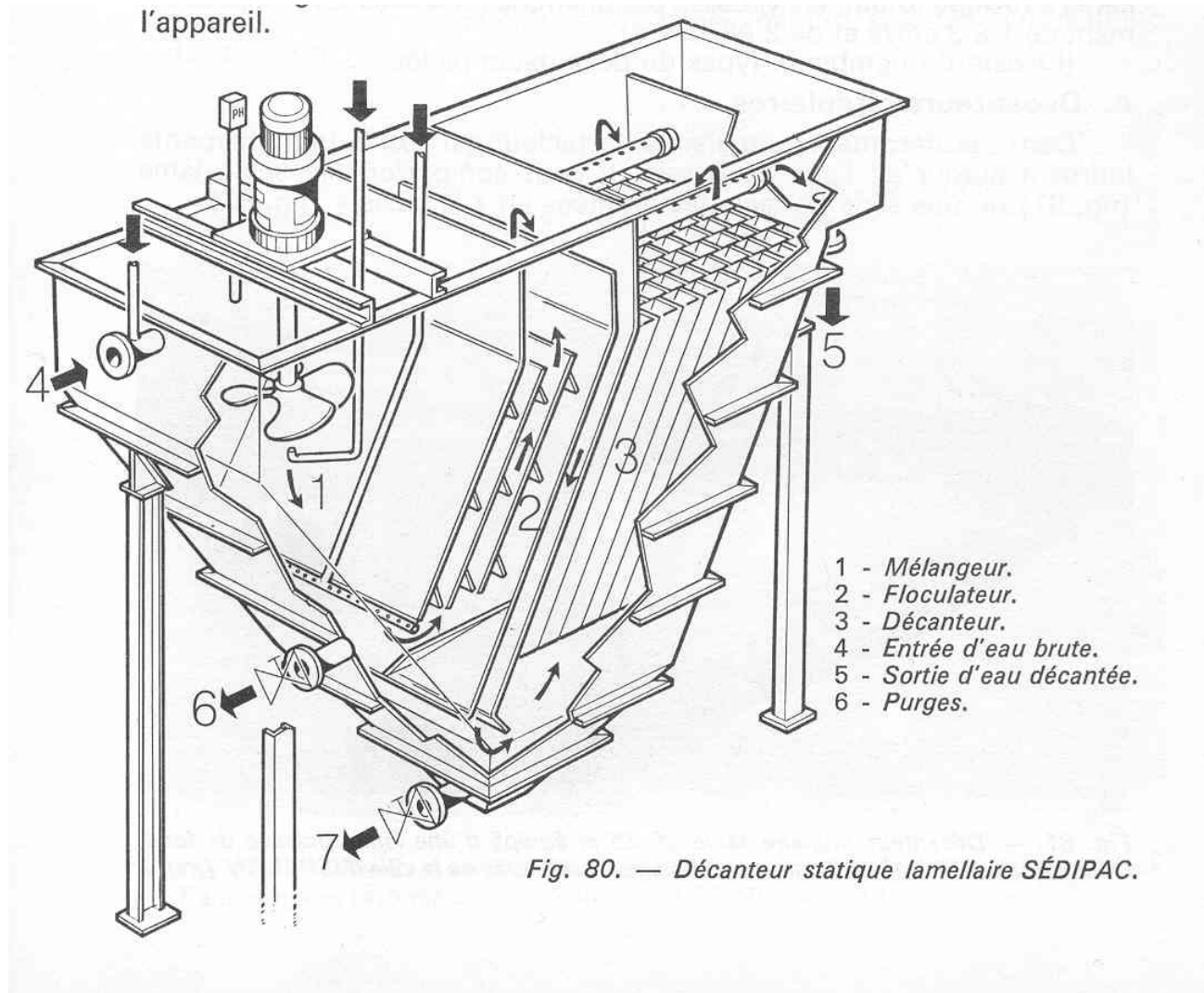
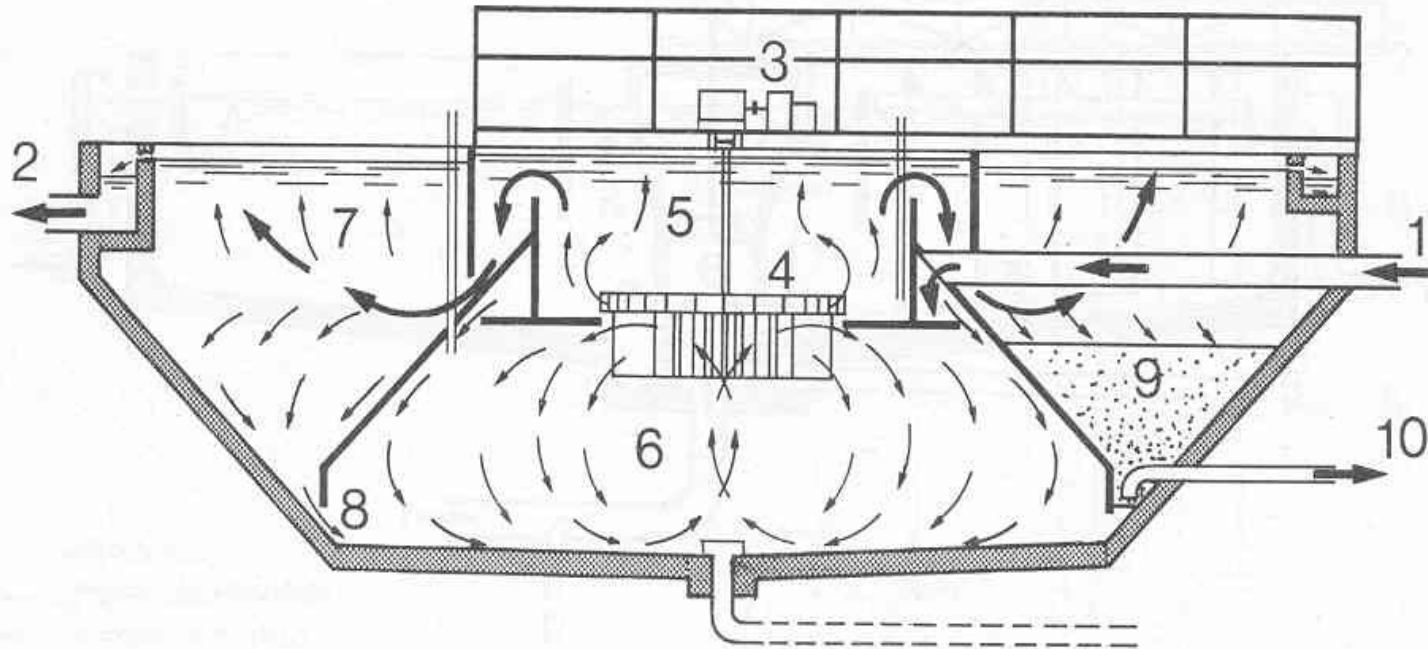


Fig. 84. — Décanteur-floculateur avec pont racleur à entraînement périphérique  $\varnothing$  40 m.

# Impianti combinati



# Impianti combinati



1 - Arrivée eau brute.

2 - Départ eau traitée.

3 - Groupe d'entraînement.

4 - Turbine.

5 - Zone de mélange primaire.

6 - Zone de mélange secondaire.

7 - Eau clarifiée.

8 - Recirculation des boues.

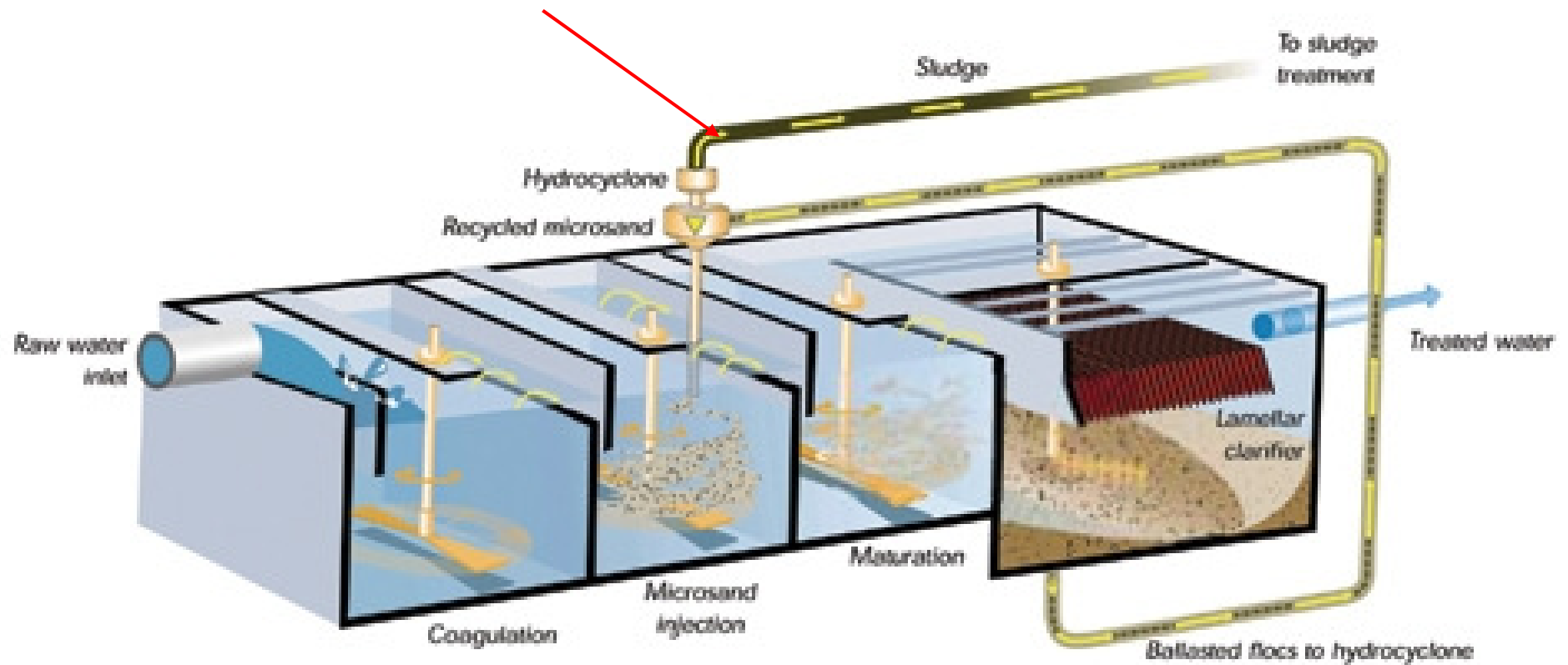
9 - Concentrateur de boues.

10 - Boues en excès.

Fig. 94. — Décanteur ACCELATOR NS.

# Depurazione acque di pioggia (ACTIFLO)

Idrocycloni per recupero sabbia



## *Campi di applicazione*

### *Trattamento acque di approvvigionamento superficiali*

Primo stadio finalizzato all'abbattimento della torbidità.

### *Pre-trattamento liquami industriali, urbani o misti*

Scopo di “sgrossatura” dei liquami, rimuovendo inquinanti specifici, alleggerimento del carico in ingresso ai trattamenti successivi (particolari componenti industriali, zone turistiche con popolazione molto rapidamente variabile, impianti vecchi e sovraccaricati in attesa di rifacimento).

### *Trattamento terziario*

Scopo di “rifinitura” della qualità dei liquami (abbattimento spinto di COD, BOD<sub>5</sub> e fosforo).

***Totale bonifica dell'acqua.***

***Paesi a clima freddo***

***Impianti molto piccoli (pre-fabbricati)***





# Rendimenti depurativi con dosaggio di cloruro ferrico

