



## 1) INTRODUZIONE

Le sostanze sospese in un'acqua di scarico sono costituite da liquidi e/o solidi di natura organica e/o inorganica insolubili in acqua.

Tra le sostanze organiche sospese sono da annoverare gli oli e i grassi animali e vegetali, gli oli minerali ed i solventi organici immiscibili con l'acqua.

Come materia organica sospesa possono essere considerati anche i microrganismi presenti nelle acque superficiali e di scarico in colonie più o meno numerose.

Tra le sostanze inorganiche sospese si possono citare, ad esempio, i materiali argillosi e vari ossidi, idrossidi e solfuri metallici. Le sostanze sospese allo stato liquido sono comunemente costituite da composti con densità inferiore a quella dell'acqua e con tendenza quindi a risalire in superficie (flottare) quando l'acqua è mantenuta in stato di quiete.

Le sostanze sospese allo stato solido (solidi sospesi) sono frequentemente costituite da composti organici con densità inferiore a quella dell'acqua (grassi animali e vegetali) e da composti inorganici con densità maggiore a quella dell'acqua, tendenti a depositarsi (sedimentare) quando l'acqua è mantenuta in condizioni di quiete.

I microrganismi, aggregati in masse più o meno voluminose, presentano generalmente densità di poco superiori a quella dell'acqua ed hanno quindi tendenza a sedimentare.

La velocità di risalita o di sedimentazione delle sostanze dipende da diversi fattori, tra cui la dimensione della particella.

Se le particelle sono molto minute (dimensioni inferiori a  $1\ \mu\text{m}$ ) si ha la formazione di sospensioni molto stabili (sospensioni colloidali) che, nel caso delle sostanze sospese allo stato liquido, sono anche dette emulsioni.

I principali processi di rimozione delle sostanze sospese sono:

- sedimentazione
- flottazione
- coagulazione-flocculazione (seguita da sedimentazione o flottazione)
- filtrazione

La scelta del processo dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua di scarico e, in particolare, da natura, dimensione e concentrazione delle sostanze sospese. Molto spesso la rimozione pressoché completa delle sostanze sospese può essere ottenuta solo mediante la combinazione di più di uno dei processi suddetti. In generale:

- la flottazione è considerata un'operazione alternativa alla sedimentazione
- la filtrazione è utilizzata per rimuovere i solidi sospesi residui provenienti dalle operazioni di sedimentazione o flottazione
- la coagulazione – flocculazione è impiegata per rimuovere dalle acque le sostanze sospese (liquide e/o solide) allo stato colloidale e quindi precede, quando necessaria, il trattamento di sedimentazione o flottazione.

## **2) FLOTTAZIONE**

La flottazione è un'operazione che consente di portare sulla superficie dell'acqua sia le particelle sospese che hanno tendenza a flottare liberamente (densità inferiore a quella dell'acqua) sia quelle scarsamente sedimentabili.

Le particelle pesanti si depositano invece sul fondo del flottatore da dove sono rimosse mediante un raschiatore.

I materiali flottati sono allontanati con un apposito sfioratore.

Con la flottazione è quindi possibile realizzare una rimozione delle sostanze sospese, generalmente maggiore di quella ottenibile con la sedimentazione e ciò in tempi relativamente più brevi.

Oltre che per la chiarificazione delle acque, la flottazione è anche impiegata per l'ispessimento di fanghi chimici e biologici.

### **2.1 Meccanismi di flottazione**

La flottazione consiste nell'introdurre aria nell'acqua in modo che le bollicine d'aria, venendo a contatto con le particelle sospese, ne provochino la risalita in superficie. La risalita delle particelle può avvenire a seguito dell'intrappolamento o adesione di bollicine d'aria. Entrambi i meccanismi portano ad una diminuzione della densità apparente delle particelle.

Le sostanze sospese, che avevano inizialmente un peso specifico inferiore a quello dell'acqua, saranno facilitate nella loro risalita dall'ulteriore riduzione del peso specifico (va ricordato che, in base alla legge di Stokes, la velocità di risalita delle particelle aumenta al diminuire del loro peso specifico ed al crescere della loro dimensione).

Pertanto le particelle che hanno un peso specifico superiore a quello dell'acqua e che tendono a sedimentare, in seguito all'intrappolamento o adesione di bolle d'aria, possono assumere una densità apparente inferiore a quella dell'acqua e quindi risalire.

A questo proposito, è molto importante il volume delle particelle poiché da questa grandezza dipende il numero di bolle d'aria che possono essere intrappolate.

I reattivi coagulanti, determinando l'agglomerazione delle particelle in forma di fiocchi voluminosi, consentono di incrementare l'efficienza del processo di flottazione.

Come già detto, la risalita delle particelle può anche avvenire per adesione delle bollicine d'aria alla loro superficie per effetto della tensione superficiale.

E' da tenere anche presente che nel bacino di flottazione le bollicine d'aria attaccate alle particelle tendono ad ingrandirsi risalendo, dal momento che, diminuendo la pressione, si riduce il loro peso specifico.

Ciò porta ad una riduzione del peso specifico del sistema bollicina-particella e quindi ad una maggiore velocità di risalita delle particelle.

### **2.2 Sistemi di flottazione**

Per poter ottenere un'elevata rimozione delle sostanze sospese, è necessario che le bollicine d'aria siano molto minute ed uniformemente distribuite lungo la sezione orizzontale del flottatore.

La seconda condizione è difficilmente realizzabile quando l'aria è insufflata mediante diffusori (anche di porosità molto piccola) e ciò spiega perché la flottazione ad aria insufflata (detta anche semplicemente flottazione ad aria indotta) venga applicata solo su apparecchi di dimensioni relativamente piccole.

Inoltre la quantità di aria deve essere elevata e, di conseguenza, alto è il consumo di energia.

Infine, siccome la separazione dei sospesi flottati avviene per asportazione dell'alto strato di schiuma superficiale, si ha una buona separazione, ma con un'elevata produzione di fanghi a bassa concentrazione.

Più efficace risulta invece la flottazione quando l'aria è dapprima disciolta nell'acqua di scarico a pressione maggiore di quella atmosferica e, successivamente, rilasciata nel bacino di flottazione mantenuto a pressione atmosferica.

La flottazione è detta ad aria pressurizzata o più comunemente ad aria disciolta (DAF - dissolved air flotation).

La flottazione DAF è quella maggiormente impiegata sia per la chiarificazione delle acque sia per l'ispessimento dei fanghi, mentre quella ad aria indotta è usata principalmente nel campo petrolifero.

### **FLOTTAZIONE AD ARIA DISCIOLTA (DAF)**

La saturazione può avvenire secondo uno dei seguenti schemi:

A. saturazione di tutta l'acqua da trattare

B. saturazione di una parte dell'effluente ricircolato dal bacino di flottazione.

La soluzione A è poco indicata nel caso di acque di scarico contenenti sostanze oleose o particelle che hanno tendenza a flocculare. I solidi potrebbero intasare la parte interna del saturatore.

La soluzione B prevede di effettuare la saturazione di un'aliquota dell'effluente.

In entrambi i casi (A e/o B) l'effluente del saturatore è sempre inviato, attraverso una valvola di depressurizzazione, in un bacino di flottazione che si trova a pressione atmosferica. In questo bacino l'aria disciolta viene a trovarsi in condizioni di sovra-saturazione rispetto alla pressione atmosferica e si ha quindi un rilascio di aria sotto forma di minute bollicine (di dimensioni 30-120  $\mu\text{m}$ ) che si sviluppano preferibilmente a contatto dei sospesi (che funzionano come centri di formazione di bolle) rimanendovi aderenti.

La quantità di aria che si libera nel bacino (aria rilasciata) dipende dalla pressione di saturazione  $P$ , dal tempo dell'acqua nel saturatore  $t_s$ , dalla temperatura  $t$  e dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua di scarico.

La quantità di aria rilasciata può essere calcolata utilizzando la legge di Henry:

$$s = P/H^i$$

dove:

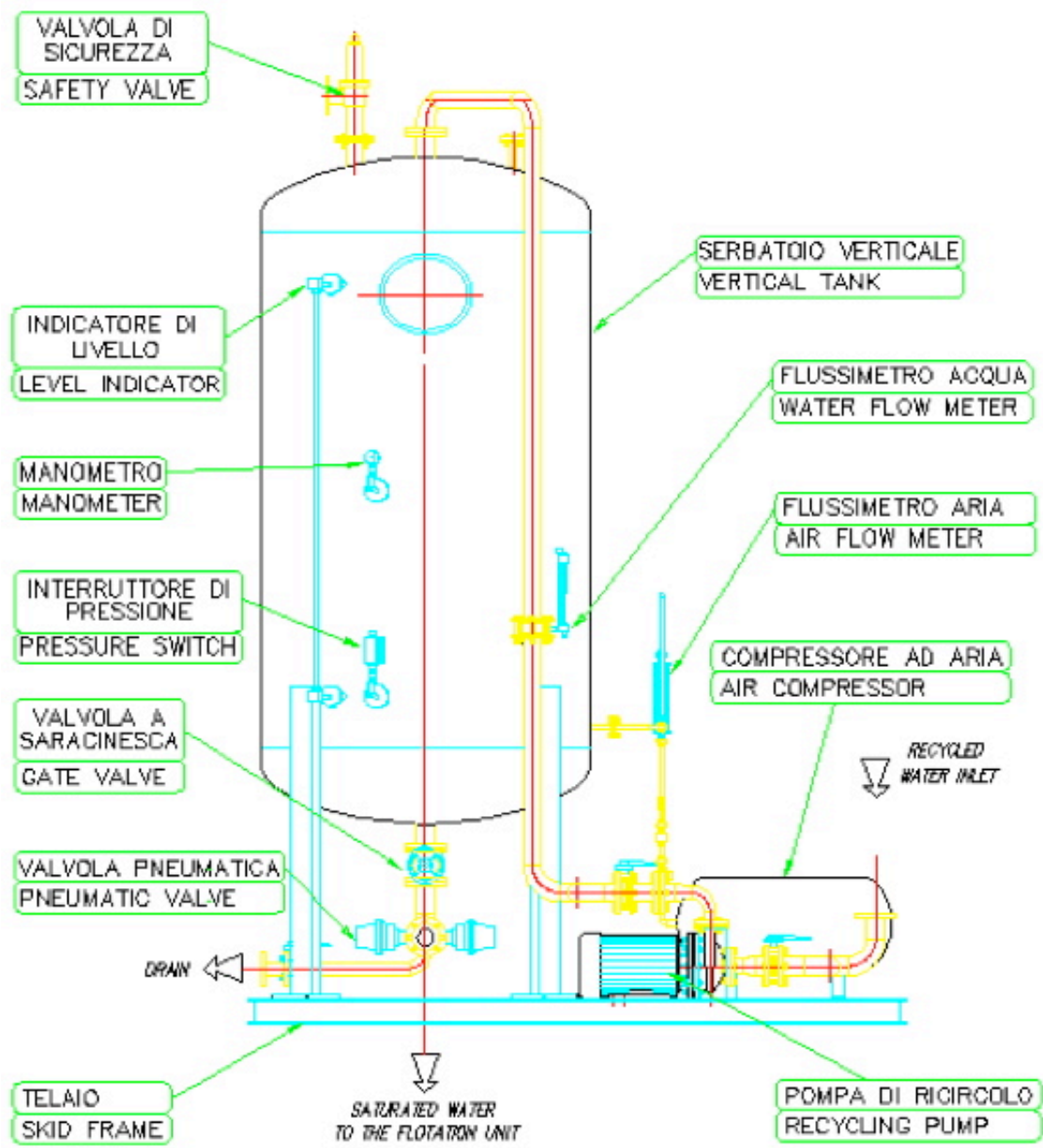
$s$  in  $\text{mg/l}$  è la solubilità dell'aria nell'acqua di scarico alla pressione

$P$  (atm-assoluta )

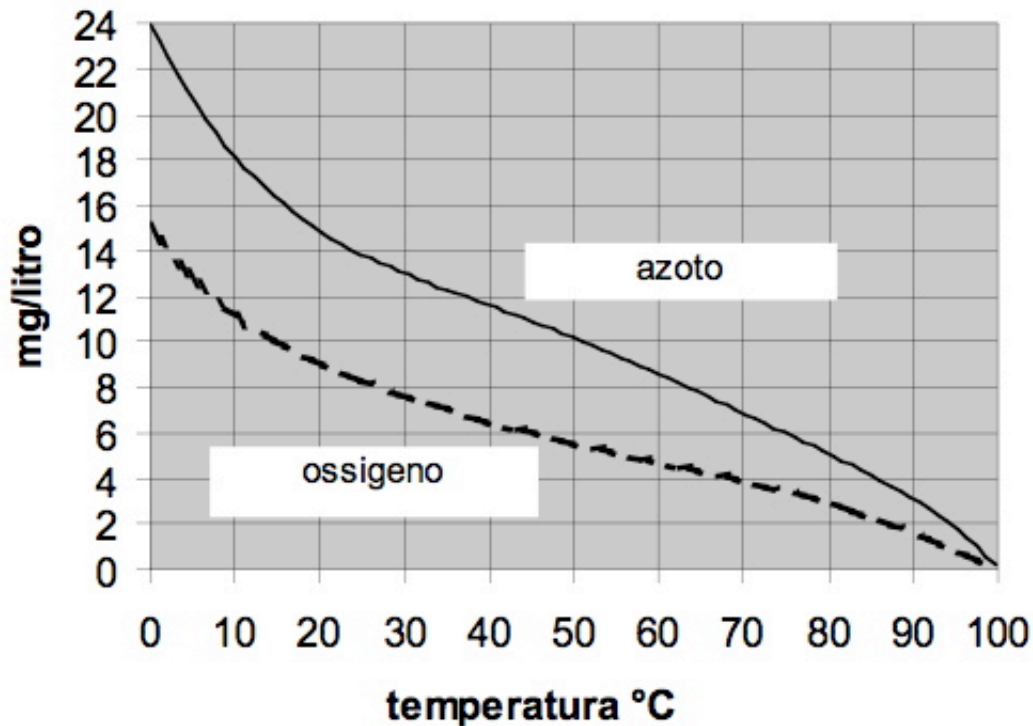
H è la costante di Henry :  $\left[ \text{atm.assol} \times \frac{\text{l}}{\text{mg}} \right]$

La costante H dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua ed aumenta al crescere di  $t$ . Pertanto la solubilità dell'aria, come quella degli altri gas, decresce sia al diminuire di  $P$  che al crescere di  $t$ .

Nel diagramma sono riportati i valori della solubilità dell'aria intesa come miscela di  $\text{N}_2$  ed  $\text{O}_2$  in acqua distillata a pressione atmosferica per varie temperature.



**Solubilità di ossigeno ed azoto dell'aria in acqua  
pura a 760 mmHg (tenuto conto della pressione  
parziale dell'ossigeno di ca. 0,2 atm e dell'azoto di  
ca. 0,8 atm)**



Per pressioni di saturazione maggiori di quella atmosferica, le concentrazioni ricavate dal diagramma vanno modificate in relazione alla pressione assoluta di saturazione.

Se il tempo di contatto tra l'aria e l'acqua nel saturatore ( $t_s$ ) non è sufficiente per raggiungere le condizioni di equilibrio, la quantità di aria disciolta nell'acqua risulterà inferiore a quella indicata nel diagramma.

Si definisce grado di saturazione ( $f$ ) dell'acqua con aria alla pressione  $P$  il rapporto tra la quantità di aria effettivamente disciolta in un litro di acqua alla pressione  $P$  e la solubilità dell'aria alla stessa pressione.

Il valore  $f$  è compreso tra 0 e 1 e dipende dai seguenti fattori:

1. Tempo di residenza  $t_s$
2. Pressione  $p$
3. Temperatura  $t$
4. Caratteristiche del saturatore (superficie di contatto)

Il tempo di ritenzione  $t_s$  è dato da :  $t_s = V/Q$

Dove:

$V$  = volume del saturatore

$Q$  = portata dell'acqua al saturatore

Il valore di  $t_s$  è normalmente da 1 a 3 minuti.

per  $f = 0,5-0,6$      $t_s = 1$  min.

$f = 0,65-0,75$      $t_s = 2$  min.

$f = 0,8-0,9$      $t_s = 3$  min.

La quantità di aria rilasciata nel bacino dall'acqua satura è:

$A = R \times s \times f \times (p - 1)$  espresso in grammi/ora

$A$  = aria in gr/h

$R$  = portata dell'acqua di ricircolo in m<sup>3</sup>/h

s = solubilità dell'aria espressa in mg/lit oppure g/m<sup>3</sup>

p = pressione assoluta nel saturatore

f = efficienza di saturazione

L'efficienza di rimozione delle particelle nel bacino di flottazione dipende, oltre che dalla quantità di aria rilasciata, anche dalla natura, dimensione e concentrazione delle particelle.

Il rapporto tra la quantità di aria rilasciata e la quantità di solidi in ingresso al flottatore (rapporto

aria/solidi A/S) può essere calcolato: 
$$\frac{A}{S} = \frac{R \times s \times f \times (p - 1)}{Q \times TSS}$$

Q = portata dell'acqua in ingresso al flottatore in m<sup>3</sup>/h

TSS = solidi sospesi totali nell'acqua in ingresso al flottatore, misurati in p.p.m.

Variando il rapporto A/S varia la velocità di risalita delle particelle e quindi l'efficienza di rimozione. E' da tenere presente che l'aggiunta di reattivi coagulanti risulta indispensabile quando nell'acqua di scarico sono sospese particelle allo stato colloidale.

Il rapporto A/S è normalmente compreso tra 0,008 e 0,06 - dalle minori alle maggiori efficienze di rimozione.

Valore A/S	Impiego
0,008	Ispessimento fanghi biologici
0,027	Flottazione ante filtrazione di grassi, oli e flore batteriche
0,06	Flottazione di inorganici