Università degli Studi di Genova

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale

Corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche

FONDAMENTI DI TECNOLOGIE CHIMICHE PER L'INDUSTRIA E PER L'AMBIENTE
(modulo II)

MOTO DI UNA PARTICELLA IN UN FLUIDO

EQUAZIONI DELLA SEDIMENTAZIONE

Aldo Bottino
e-mail : bottino@chimica.unige.it
Tel. : 010 3538724 - 3538719

Equazione della sedimentazione

Le velocità di libera sedimentazione si possono calcolare, con risultati soddisfacenti, quando si può definire la forma delle particelle e quando le proprietà della superficie hanno scarsa importanza.

La teoria fondamentale del moto dei solidi attraverso i fluidi e basata sul concetto dei corpi che si muovono liberamente.

$$F = m \cdot a$$

Dove *F* è la forza risultante che agisce sul corpo, *a* è l'accelerazione del corpo e *m* la sua massa.

Nel caso di corpi che cadono l'accelerazione è dovuta alla forza di gravità, *g*.

Se un corpo viene lasciato libero di muoversi nel campo gravitazionale terrestre, agisce su di esso la forza:

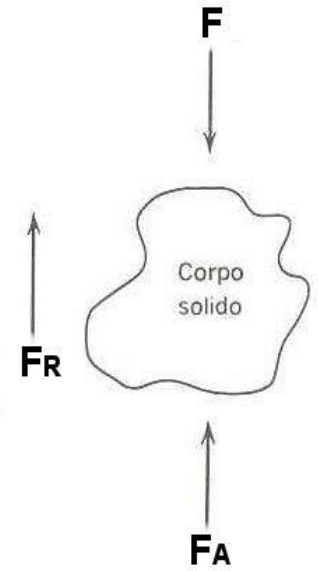
$$F = m \cdot g$$

La forza *F* cosi computata è il peso del corpo.

Nell'aria o in qualunque altro fluido entro il quale un corpo si muove, il moto del corpo non potrà svolgersi come nel vuoto, dove è determinato dalla sola forza peso, F.

In tutti i fluidi, infatti, sussistono altre due forze che influenzano il moto dei corpi in modo opposto a quello del peso:

- la spinta archimedea, F_A legata al fatto che ogni corpo sposta un volume di fluido pari al suo
- la forza di attrito, F_R che sussiste tra il corpo e il fluido.



La spinta archimedea è pari a: $F_A = W \cdot g$

Dove W è la massa di fluido spostata dal corpo (pari al volume del corpo, V per la densità del fluido, ρ_l)

Finché la forza peso prevale sulle altre due, il corpo si muove in seno al fluido animato da una forza $F' = m \cdot a$, tale che:

$$F' = m \cdot a = F - F_A - F_R = m \cdot g - W \cdot g - F_R$$

Questa equazione rappresenta la forza che porta le particelle sospese in fluidi a sedimentare, si denomina equazione della sedimentazione.

Velocità di sedimentazione. Legge di Stokes

L'equazione della sedimentazione

$$F' = m \cdot a = F - F_A - F_R = m \cdot g - W \cdot g - F_R$$

può essere abbastanza facilmente sfruttata per calcolare la velocità massima con la quale un corpo solido si muove in un fluido se:

- il solido ha configurazione volumica regolare (cubo, sfera, ecc.);
- si possono trascurare sia le interferenze dovute alle pareti del recipiente, sia quelle che, più o meno, si stabiliscono fra i vari solidi presenti nello stesso fluido.

Se inoltre il moto del corpo nel fluido è laminare si può utilizzare, la legge di Stokes per esprimere F_R.

La legge di Stokes afferma che "*la forza resistente F_R incontrata da un corpo* in *un fluido è proporzionale alle sue dimensioni alla viscosità del fluido η e alla velocità di caduta u*".

Il coefficiente di proporzionalità è 3π e le dimensioni della particella sono espresse dal diametro *D*, trattandosi di corpo sferico.

$$F_R = 3 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta \cdot u$$

La legge di Stokes diventa così:

$$F' = F - F_A - F_R = m \cdot a = m \cdot g - W \cdot g - F_R$$
$$= m \cdot g - W \cdot g - 3 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta \cdot u$$

Considerando il corpo come una sfera di diametro *D*, volume *V*, densità ρ_s e velocità *u*, immersa in un fluido di densità ρ_l si ha:

$$m = \rho_s \cdot V = \rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}; \qquad W = \rho_l \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}; \qquad a = \frac{du}{dt}$$

Quindi:

$$(\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot \frac{du}{dt} = (\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - (\rho_l \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - 3 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta \cdot u$$

Dividendo l’equazione

$$(\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot \frac{du}{dt} = (\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - (\rho_l \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - 3 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta \cdot u$$

per $(\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6})$

Si ricava: $$\frac{du}{dt} = \frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot g}{\rho_s} - \frac{18 \cdot \eta \cdot u}{D^2 \cdot \rho_s}$$

Durante la discesa del fluido, la velocità della particella aumenta continuamente finché le forze acceleranti e quelle resistenti non si uguagliano.

A questo punto la velocità della particella resta costante.

Questa velocità costante, che è quella massima, u_{max} si ricava da quella precedente ponendo $du/dt = 0$.

Quindi:

$$\frac{du}{dt} = 0 \qquad \text{cioe} \qquad \frac{(\rho_s - \rho_l)\cdot g}{\rho_s} = \frac{18\cdot\eta\cdot u_{max}}{D^2\cdot\rho_s}$$

Di conseguenza:

$$u_{max} = \frac{(\rho_s - \rho_l)\cdot g\cdot D^2}{18\cdot\eta}$$

Questa espressione permette di calcolare la velocità di sedimentazione di una particella sferica in regime laminare.

L'equazione viene anche usata, ad esempio, per calcolare la viscosità, in alcuni tipi di viscosimetri dove una sferetta di diametro noto viene fatta cadere entro un tubo pieno di fluido di cui si deve misurare la viscosità.

Misurando il tempo di caduta e la velocità, si determina la viscosità.

<u>Esempio:</u>

Un campione di una sospensione acquosa si lascia sedimentare per due ore, dopodiché se ne preleva una frazione a 5 *cm di profondità. Quale sarà la dimensione delle particelle più grosse prelevate supponendo che la loro densità sia* 2,5 *g/cm*^{3} *e il regime sia laminare?*

La distanza massima coperta dalle particelle prelevate è 5 cm ed è stata percorsa in 2 ore per cui:

$$u_{max} = \frac{\text{distanza massima coperta}}{\text{tempo}} = \frac{5}{7200} = 6{,}95 \cdot 10^{-4}\ \text{cm/s}$$

Ricavando D dall'equazione $u_{max} = \dfrac{(\rho_s - \rho_l)\cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \eta}$

Assumendo la viscosità dell'acqua pari a ρ_{H2O} = 1 cP, si ottiene (sapendo che 1 cP = 10^{-3} kg · m^{-1} · s^{-1} = 10^{-2} g · cm^{-1} · s^{-1}):

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot u_{max}}{(\rho_s - \rho_l)\cdot g}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^{-2} \cdot 6{,}95 \cdot 10^{-4}}{(2{,}5 - 1)\cdot 9{,}8 \cdot 10^{2}}}$$

Quindi: $D = 2{,}91 \cdot 10^{-4}\ \text{cm}$

Velocità di sedimentazione. Legge di Newton

Un'espressione di u_{max}. applicabile sia in campo laminare che turbolento, si può ricavare partendo dall'espressione di F_R proposta da Newton:

$$F_R = f \cdot \frac{A \cdot \rho_l \cdot u^2}{2}$$

dove:

- A è l'area della sezione resistente del corpo solido immerso nel fluido
- f è il coefficiente di attrito.

Quindi:

$$F' = F - F_A - F_R = m \cdot a = m \cdot g - W \cdot g - F_R$$

$$= m \cdot g - W \cdot g - f \cdot \frac{A \cdot \rho_l \cdot u^2}{2}$$

Supposto, come al solito, di considerare il corpo come una sfera di diametro D, volume V, densità ρ_s e velocità u, immersa in un fluido di densità ρ_l si ha:

$$(\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot \frac{du}{dt} = (\rho_s \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - (\rho_l \cdot \pi \cdot \frac{D^3}{6}) \cdot g - f \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \rho_l \cdot u^2}{8}$$

Isolando ed annullando *du/dt* e poi ricavando u_{max}, si ottiene:

$$u_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f}}$$

Questa espressione rappresenta la legge di Newton, e viene impiegata per calcolare la velocità di caduta di particelle sferiche.

Nel caso di moto laminare il valore del coefficiente *f* può essere calcolato uguagliando il valore di u_{max} dato dalla legge di Stokes con quello della legge di Newton.

Pertanto:

$$u_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f}} = \frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \eta}$$

Elevando a quadrato si ricava:

$$\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f} = \left(\frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \eta} \right)^2 = \frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \eta} \cdot u_{max}$$

Uguagliando i due estremi di questa equazione si ricava l'espressione del coefficiente di attrito *f* nel campo laminare, già vista esaminando il problema della resistenza del mezzo.

$$f = 24 \frac{\eta}{u_{max} \cdot D \cdot \rho_l} = \frac{24}{Re}$$

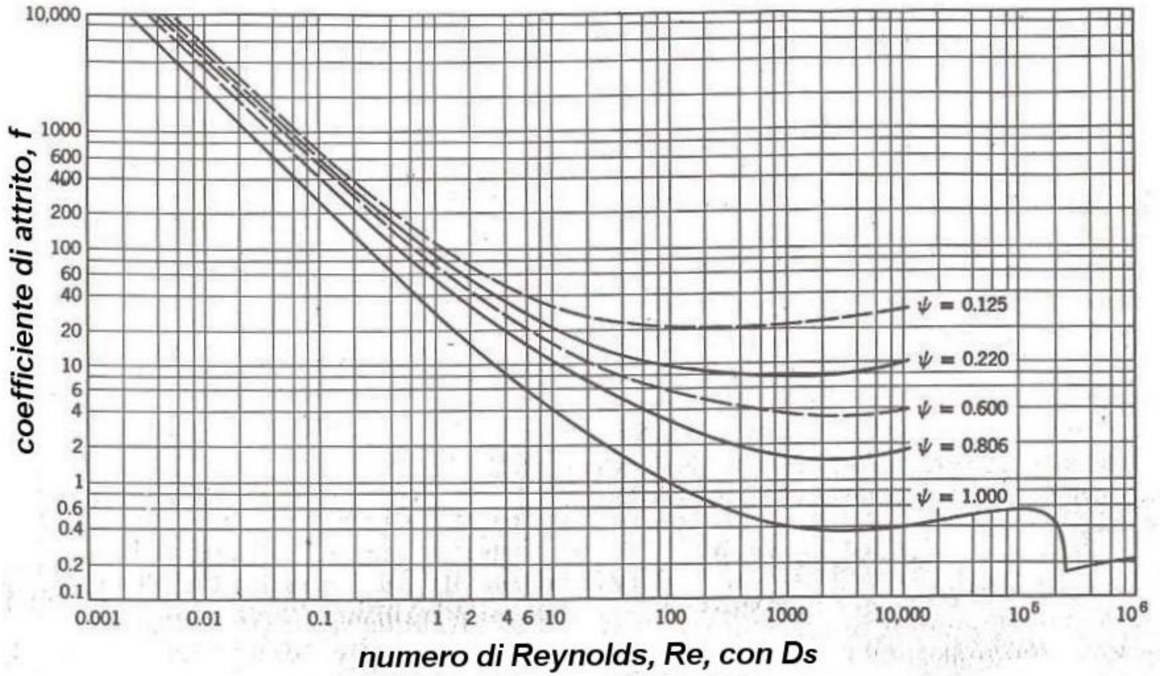
Dove *Re* è il numero di Reynolds:

$$Re = \cdot \frac{D \cdot u_{max} \cdot \rho_l}{\eta}$$

Quando prevale il moto laminare si può quindi sempre usare l'equazione precedente che in forma logaritmica diventa:

$$\log f = \log 24 - \log Re$$

Riportando *log f* in funzione di *log Re,* il coefficiente d'attrito per il moto laminare è rappresentato, in coordinate logaritmiche, da una retta con pendenza (-1).



Come già osservato si può ritenere che una particella sia in moto laminare fino a valori del suo numero di Reynolds pari a 0,1.

A questo punto ha inizio la transizione verso il regime turbolento.

Quando il numero di Reynolds supera il valore di 1 per calcolare la velocità di caduta di particelle sferiche, si deve usare l'espressione generale della legge di Newton:

$$u_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f}}$$

Il coefficiente di attrito *f* che compare nell'equazione

$$u_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f}}$$

è anch'esso funzione della velocità e quindi si ha una equazione in due incognite.

Per arrivare ad una soluzione simultanea si procede nel seguente modo.

Si eleva tutto al quadrato ricavando:

$$u_{max}^2 = \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot f} \qquad \text{e quindi} \qquad f = \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot u_{max}^2}$$

Questa equazione scritta in forma logaritmica diventa:

$$log\ f = \log \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot D \cdot g}{3 \cdot \rho_l} - 2\, log\ u_{max}$$

Esprimendo anche in forma logaritmica il numero di Reynolds,

$$Re = \cdot \frac{D \cdot u \cdot \rho_l}{\eta}$$

si ricava:

$$log\ Re = log \frac{D \cdot \rho_l}{\eta} + log\, u_{max}$$

Quindi:

$$log\, u_{max} = log\ Re - log \frac{D \cdot \rho_l}{\eta}$$

Eliminando u_{max}, si ottiene:

$$log\ f = -2\, log\ Re + log \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \rho_l \cdot D^3 \cdot g}{3 \cdot \eta^2}$$

L’equazione $$\log f = -2\log Re + \log \frac{4\cdot(\rho_s - \rho_l)\cdot\rho_l\cdot D^3\cdot g}{3\cdot\eta^2}$$

È quella di una retta con pendenza (-2) e passante per il punto $Re = 1$ e $f = 4 \cdot (\rho_s - \rho_l)\, \rho_l \cdot D^3 \cdot g / 3\cdot\eta^2$.

Nell’equazione non appare u_{max}, che però può essere determinata tracciando questa retta sul diagramma che esprime l’andamento del coefficiente di attrito, *f*, con il numero di Reynolds, *Re*.

La intersezione di questa retta con la relativa curva di sfericità (ψ) del diagramma di *f* in funzione di *Re* darà il numero di Reynolds corrispondete alla u_{max}, che quindi può essere calcolata da tale numero.

Con uno procedimento analogo si può ricavare la seguente espressione:

$$\log f = \log Re + \log \frac{4\cdot(\rho_s - \rho_l)\cdot g\cdot\eta}{3\cdot\rho_l^2\cdot u_{max}^2}$$

nella quale non compare la dimensione della particella

L’intersezione della retta di questa equazione con la relativa curva di sfericità fornisce il valore del numero di Reynolds corrispondente a u_{max}.

Da tale numero di può ricavare *D*.

Esempio

Calcolare la velocità finale con la quale goccioline sferiche, del diametro di 400 μm, cadono in aria. La densità relativa delle goccioline è 1,03, mentre la temperatura dell'aria è 150°C (a questa temperatura la densità dell'aria è ρ_{aria} = 0,83 Kg/m^3).

Per calcolare la velocità finale bisogna prima determinare il fattore di attrito attraverso l'equazione:

$$log\ f = -2\,log\ Re + log\ \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \rho_l \cdot D^3 \cdot g}{3 \cdot \eta^2}$$

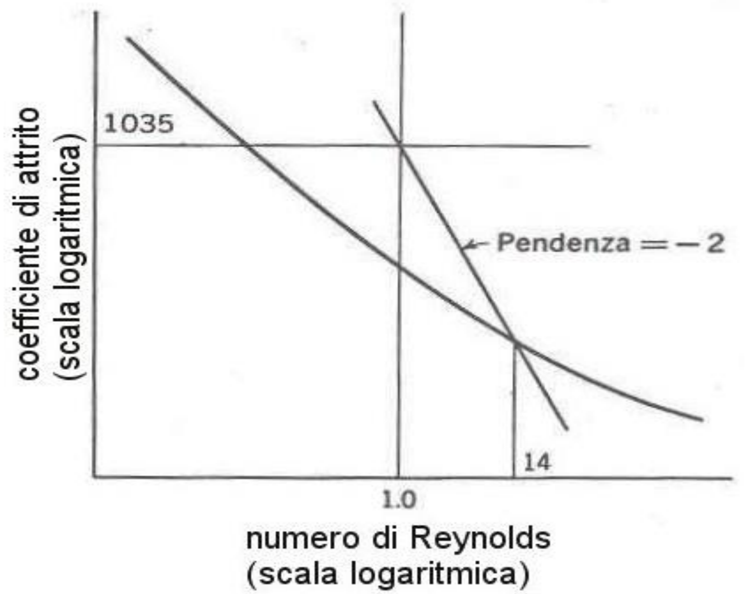
Con i dati disponibili si traccia sul diagramma del coefficiente di attrito *f* in funzione di *Re, l*a retta passa per il punto *Re = 1* e $f = 4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \rho_l \cdot D^3 \cdot g / 3 \cdot \eta^2$ con pendenza pari - 2.

I dati a disposizione sono: D = 400 $\cdot$ 10^{-8} = 4 $\cdot 10^{-4}$ m; ρ_{aria} = 0,83 Kg/m^3; η_{aria} = 2,6 10^{-5} kg $\cdot$ m^{-1} $\cdot$ s^{-1}; ρ_s = 1,03 g $\cdot$ cm^{-3} = 1030 kg $\cdot$ m^{-3}.

Quindi: $f = [4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \rho_l \cdot D^3 \cdot g / 3 \cdot \eta^2] =$
$[4 \cdot (1030 – 0{,}83) \cdot 0{,}83 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9{,}8 / 3 \cdot \eta^2] / 3 \cdot (2{,}6\ \ 10^{-5})^2$

Cioè: f = 1035

Si traccia sulla figura (tratta dal diagramma di *f* in funzione di *Re*) una retta di pendenza - 2, passante per il punto f = 1035 e Re = 1.



In corrispondenza della intersezione con la curva ψ =1 si trova Re = 14.

Quindi:

$$Re = \cdot \frac{D \cdot u_{max} \cdot \rho_l}{\eta} = 14$$

Di conseguenza:

$$u_{max} = \frac{14 \cdot \eta}{D \cdot \rho_l} = \frac{14 \cdot \left(2,6 \cdot 10^{-5}\right)}{\left(4 \cdot 10^{-4}\right) \cdot 0,83} = 1,09 \text{ m/s}$$

Caduta ostacolata di particelle sferiche

Nei casi pratici, le particelle presenti sono molte, per cui, durante la caduta, esse si ostacolano l'un l'altra. Il gradiente di velocità di una particella è pertanto influenzato dalle particelle circostanti.

In tal caso, la velocità di sedimentazione è notevolmente inferiore a quella che si otterrebbe applicando le equazioni già viste.

Il meccanismo di caduta cambia, poichè la particella non attraversa soltanto un fluido, ma una sospensione di particelle in un fluido.

La densità effettiva della fase fluida è la densità apparente della sospensione, cioè il rapporto tra la massa totale di liquido più solido e il volume totale.

Anche la viscosità della sospensione è notevolmente più elevata di quella del fluido.

La viscosità di tali sospensioni è spesso funzione della velocità di scorrimento, della probabilità che si formino grappoli di particelle, della forma e della levigatezza delle particelle, che contribuiscono a rendere gli strati limite più spessi.

Come è logico aspettarsi in base a quanto detto sopra, non è possibile avere relazioni generalizzate per il calcolo della viscosità delle sospensioni.

Per ottenere valori accurati, è necessario ricorrere a misure sperimentali.

Per una data sospensione di particelle che non si agglomerino, le misure possono essere correlate entro un intervallo ragionevole di composizione sotto forma di rapporto tra la viscosità apparente effettiva, η_b e la viscosità del liquido, η espressa come funzione della frazione di volume di liquido, χ nella sospensione:

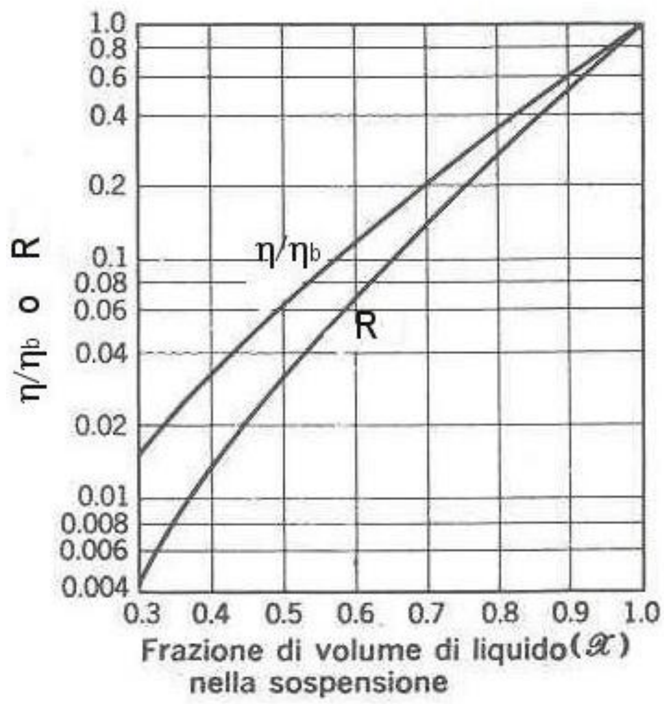
$$\frac{\eta_b}{\eta} = \frac{10^{1,82(1-\chi)}}{\chi}$$

Per una data sospensione si può anche trovare un fattore di correlazione, *R* che tenga conto degli effetti di viscosità e di densità, consentendo l'impiego di una più equazione conveniente del tipo:

$$u_H = \frac{(\rho_s - \rho_l)\cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \eta} \cdot R$$

dove u_H è la velocità finale della caduta ostacolata

L'andamento di η/η_b e di *R* in funzione della frazione di volume di liquido, χ nella sospensione, è mostrato nella Figura.



Apparecchiature di sedimentazione

Separazione liquido-solido

Le apparecchiature usate per la sedimentazione (detti sedimentatori o decantatori) sono in genere di forma molto semplice.

Si tratta generalmente di vasti recipienti (per lo più cilindrici), in cui si immette la miscela liquido-solido.

Il solido sedimenta sul fondo e il liquido limpido viene prelevato dall'alto.

Di queste apparecchiature ne esistono a funzionamento:
- continuo
- discontinuo

Sedimentatori discontinui

Le apparecchiature discontinue servono in impianti di modeste potenzialità ed hanno struttura molto semplice.

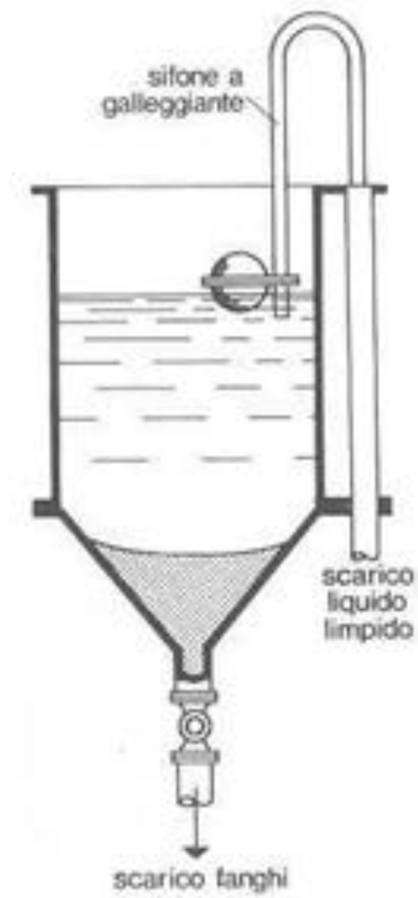
La maggiore difficoltà che si riscontra nell'uso di questi apparecchiature è quella dell'estrazione del solido dopo che è stato eliminato il liquido.

La Figura mostra un tipo di sedimentatore discontinuo. Si tratta di un recipiente a fondo conico che termina in un tubo di scarico (del fango) munito di rubinetto.

L’estrazione del liquido avviene invece con un sifone a galleggiante.

Man mano che il deposito solido sul fondo ha raggiunto un certo volume, si scarica aprendo il rubinetto. In tal modo si realizza uno scarico intermittente.

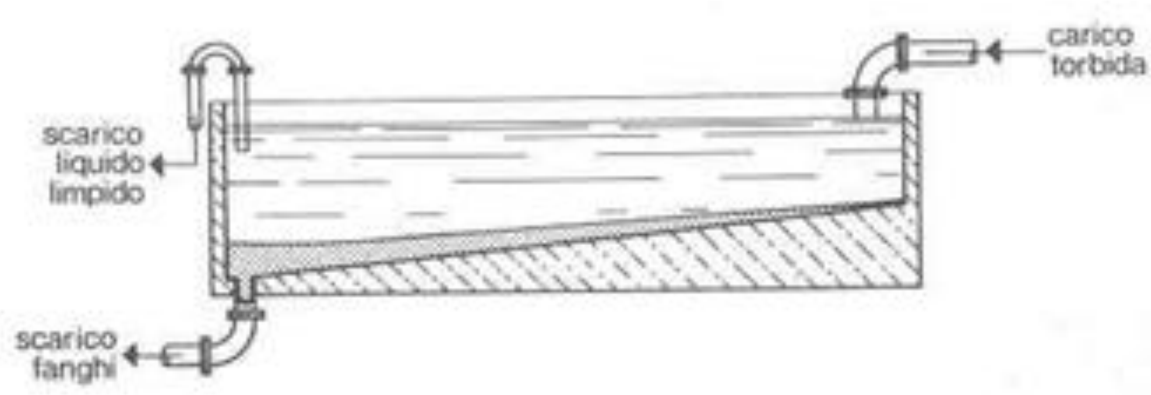
Prima di scaricare il solido si deve sifonare dall'alto il liquido; la cui estrazione va, esattamente, prolungata fino a che non rimane scoperto il fango che si trova sul fondo.



In secondo tipo di decantatore discontinuo, mostrato nella Figura, risulta invece costituito da una grande vasca col fondo disposto in pendenza, in cui viene immessa la sospensione.

La sospensione attraversa lentamente il sistema, così che si verifichi la sedimentazione del solido e il liquido resti praticamente limpido.

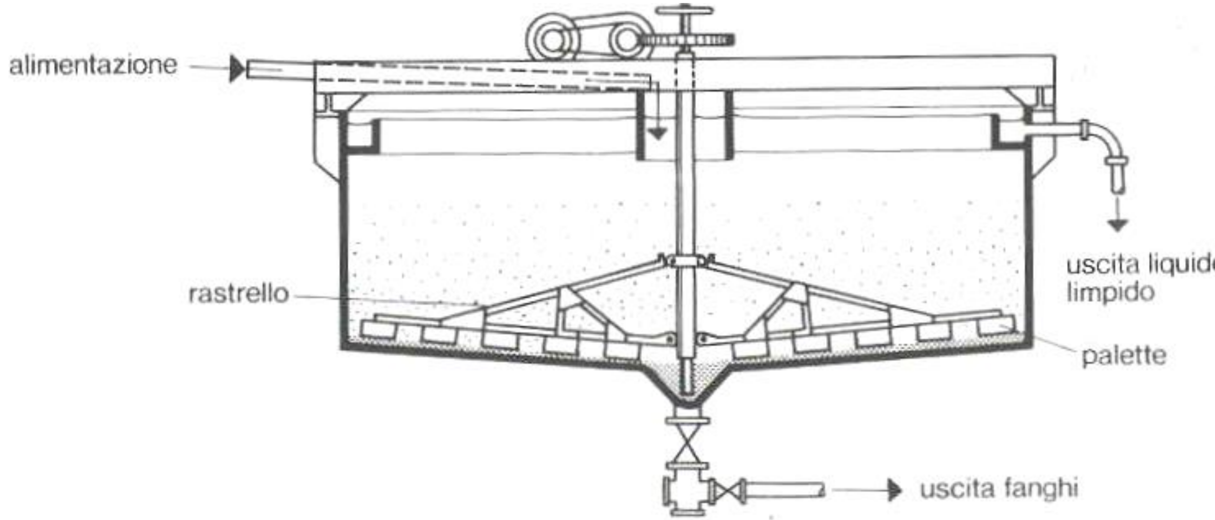
A intervalli determinati il liquido sovrastante viene pompato fuori, fino al punto da lasciare scoperto il deposito fangoso.



Sedimentatori continui

Le Figura mostra lo schema di un tipico decantatore continuo (tipo Dorr).

Si tratta di un vasca avente un diametro molto grande rispetto all'altezza, realizzabile con vari materiali (anche in cemento armato, i più grandi).

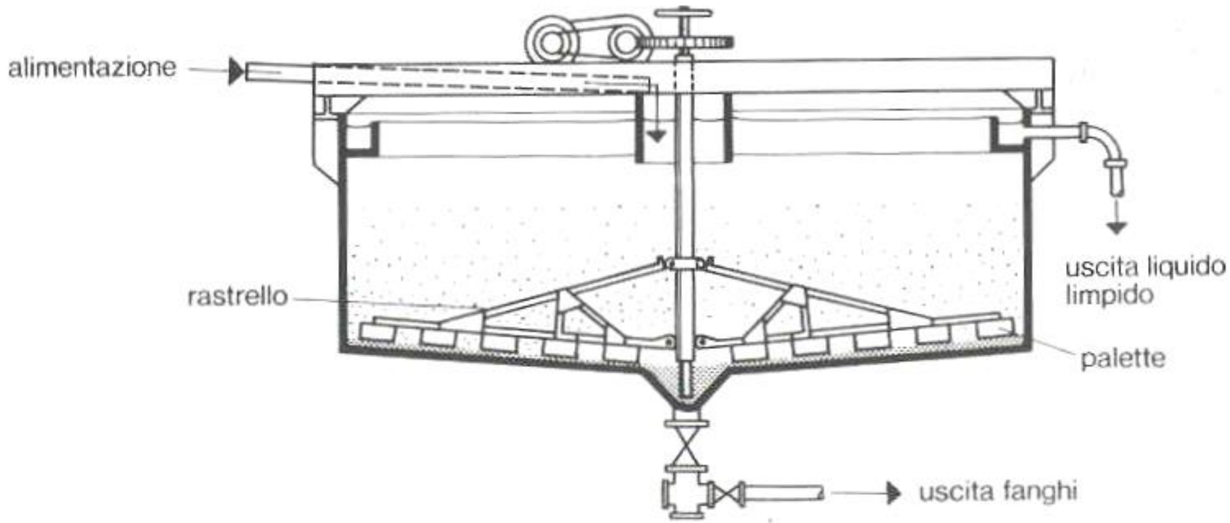


Il decantatore viene talvolta rivestito internamente con materiali resistenti ad attacchi chimici.

Il fondo del decantatore è un po' conico, anziché piano, per favorire l'invio del sedimento verso la parte centrale, da dove viene scaricato.

A tale zona il sedimento viene spinto anche dai raschiatori solidali con l'albero centrale.

L’alimento entra nel decantatore dalla parte alta, in prossimità dell'albero.



Il liquido chiarificato esce pure dall'alto, grazie al fatto che per tutta la circonferenza interna del decantatore corre un canale sfioratore.

Sopra il decantatore si trova l'organo motore dell'albero rotante.

Il numero di giri del braccio rotante non è alto (2-30 giri all’ora) per non provocare rimescolamenti e dipende sia dalle caratteristiche della sospensione che decanta, sia dal diametro delle vasche.

Separazione liquido-liquido

Il problema della separazione due liquidi immiscibili e di diverso peso specifico ha qualche analogia col caso della separazione mediante decantazione di una torbida solido-liquido.

Infatti, si utilizza la legge di Stokes per calcolare la velocità con cui le goccioline di uno dei due liquidi si muovono in seno all'altro liquido.

L’equazione è pertanto:

$$u = \frac{\Delta\rho \cdot D^2 \cdot g}{18 \cdot \eta}$$

dove:

- $\Delta\rho$ è la differenza fra le densità dei due liquidi
- D è il diametro delle goccioline che decantano
- η è la viscosità del liquido in seno al quale si muovono le goccioline
- g è l'accelerazione di gravità.

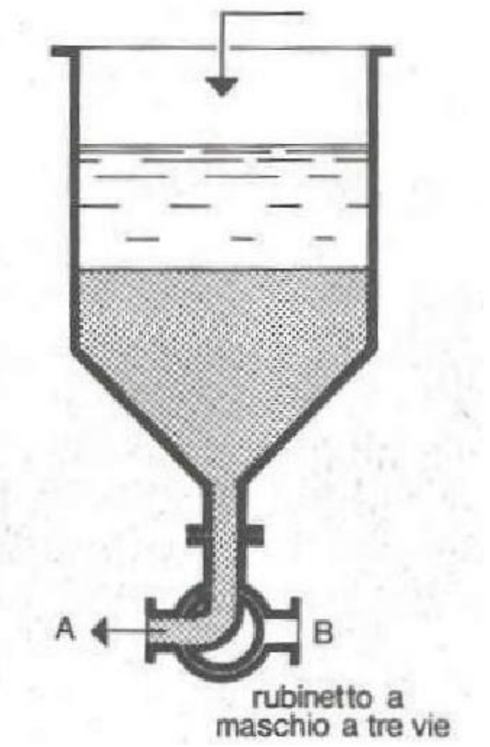
La separazione liquido-liquido può essere fatta in discontinuo o in continuo.

Separatori discontinui

In un separatore discontinuo la miscela la miscela dei due liquidi viene inviata in un recipiente, munito al fondo di un’uscita a due vie.

Trascorso il tempo necessario perché avvenga la separazione dei due liquidi si apre prima una valvola per consentire l'uscita del liquido più pesante e successivamente si apre l'altra per consentire l'uscita del liquido più leggero.

Lo stesso scopo si raggiunge con una sola valvola a tre vie come mostra la Figura.

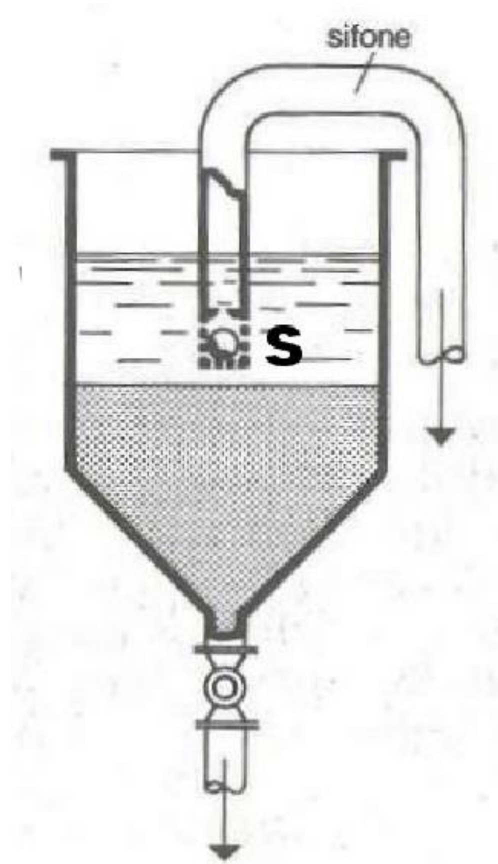


Per separare i due liquidi si può ricorrere anche ad un sistema a sifone come mostra la Figura.

Il sifone è comandato da una sferetta di peso specifico intermedio tra quelli dei due liquidi.

Finchè la bocca è immersa nel liquido più leggero la sferetta non galleggia e il liquido può uscire.

Quando viene sifonato il liquido più pesante la sferetta galleggia chiudendo l'imbocco del sifone.



Esempio di dimensionamento di un decantatore

Si supponga ad esempio di volere separare in modo discontinuo dell'acqua tenuta in sospensione da un olio minerale. Quest'ultimo ha una densità 900 g/L e una viscosità di 0,45 Poise a 20 °C, mentre l'acqua alla stessa temperatura ha una densità di 998 g/L.

Si supponga di voler separare le più piccole particelle d'acqua tenute in sospensione (le più difficili da separare) e che queste abbiano un diametro di 0,4 mm.

Dalla equazione di Stokes:

$$u = \frac{\Delta\rho \cdot D^2 \cdot g}{18 \cdot \eta}$$

si ricava una velocità di caduta di circa 0,019 cm/sec.

Per calcolare il tempo occorrente alla separazione, bisogna conoscere l'altezza del decantatore.

Infatti tale tempo (in secondi) sarà dato dall'altezza h (indicata in cm in questo caso) diviso per la velocità u.

$$t = \frac{h}{u}$$

Ad esempio, se il decantatore è alto 3 m, le particelle di acqua di diametro più piccolo (0,4 mm) che si trovano sulla superficie dell'olio contenuto nel decantatore (e che sono quelle che dovranno compiere il percorso più lungo per giungere al fondo) impiegheranno:

$$t = \frac{h}{u} = \frac{300}{0{,}019} = 15800\ s$$

Le particelle d'acqua di diametro maggiore e quelle che si trovano collocate sotto lo specchio dell'olio, si separeranno in un tempo minore, depositandosi più rapidamente delle prime sul fondo dell'apparecchio.

Dal fondo, dato il funzionamento discontinuo, trascorso il tempo indicato (circa 4,5 ore) si scarica prima l'acqua e poi l'olio deacquificato

La portata oraria di liquido *Q* da decantare sarà data dal rapporto tra il volume del decantatore, *V* e il tempo, *t* occorrente per la decantazione.

Cioè:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Volendo calcolare la capacità di lavoro del decantatore, bisogna dividere il volume V per il tempo occorrente per la decantazione: si ha in questo modo la portata oraria di liquido da decantare.

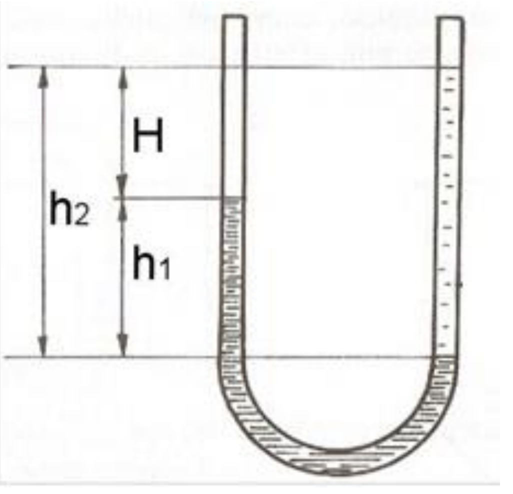
Se il decantatore è alto 3 m e ha un diametro di 2 m (quindi un volume di 9600 L), la portata teorica diventa:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{9600}{4{,}5} = 2133\ L/h$$

Separatori continui

Per meglio comprendere come avviene la separazione di due liquidi immiscibili a densità differente basta fare riferimento alla Figura che rappresenta un semplice tubo a U che contiene i due liquidi immiscibili.

La colonna più alta del liquido a densità inferiore è in equilibrio con colonna più bassa del liquido a densità superiore.



Indicando con γ_1 e γ_2 i pesi specifici dei due liquidi (1 pesante e 2 leggero) e riferendoci alle altezze indicate in Figura, si ha:

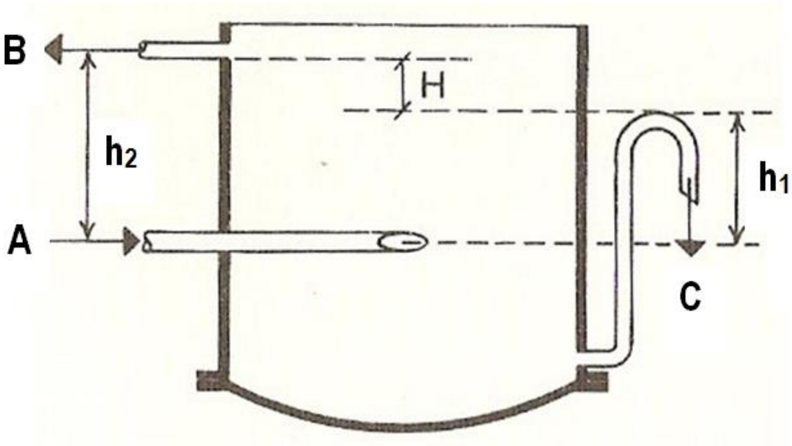
$$\gamma_1 \cdot h_1 = \gamma_2 \cdot h_2 \qquad \text{da cui} \qquad h_2 = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot h_1$$

Quindi: $H = h_2 - h_1 = \dfrac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2} \cdot h_1$

Pertanto la differenza di altezza tra le due colonne è:
- direttamente proporzionale all'altezza della colonna di liquido pesante (1)
- direttamente proporzionale alla differenza dei pesi specifici tra i due liquidi
- inversamente proporzionale peso specifico del liquido leggero (2).

Il liquido da decantare viene inviato in modo continuo attraverso il tubo *A* (all’incirca dove si presume vi sia la superficie di separazione tra olio e acqua) e scaricato nella parte inferiore del separatore.

In tal modo le particelle d'acqua hanno un percorso verticale assai breve da fare, per separarsi dall'olio mentre quelle del liquido più leggero e deacquificato salgono per uscire da *B.*



L'acqua, invece, che si accumula nel fondo, si scarica attraverso il tubo a sifone *C*.

Data la grande sezione di passaggio posseduta da questi decantatori, il liquido che sale per essere scaricato da *B*, si muove assai lentamente.

Allo scopo di impedire il trascinamento delle particelle pesanti che devono depositarsi nel fondo dell'apparecchio, occorre che la velocità del liquido che sale sia inferiore alla velocità di caduta determinata con la formula di Stokes.

Si può, allora determinare anche qui la distanza *H* con l'espressione

$$H = h_2 - h_1 = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2} \cdot h_1$$

ammesso che l'alimentazione all'interno del serbatoio coincida con la superficie di stratificazione dei due liquidi.

Supponendo che la quota di h_1 sia di 270 cm, si ha, sempre per la miscela acqua-olio precedente.

$$H = h_2 - h_1 = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2} \cdot h_1$$

$$= \frac{0{,}998 - 0{,}900}{0{,}900} \cdot 270 = 29\ cm$$