



Appunti Ingegneria Mod.A

Scienza Alimentare
Università degli Studi di Padova (UNIPD)
18 pag.

INGNERIA DELL'INDUSTRIA AGROALIMENTARE MOD. A

MECCANICA DEI SOLIDI E DEI FLUIDI ALIMENTARI

Reologia = scienza che studia le deformazioni dei solidi e i flussi dei fluidi in conseguenza dell'applicazione di forze esterne.

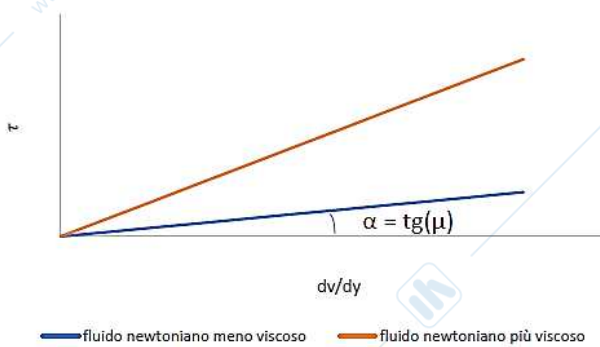
I prodotti alimentari si possono classificare in solidi e fluidi liquidi e gassosi.

2 tipologie della materia → il solido elastico e il fluido. La **sostanza elastica** ha forma propria, reagisce alle forze esterne con deformazione elastica, cioè modificazione limitata della forma. La **sostanza fluida** non ha forma propria, assume una forma imposta dalle forze esterne, deformandosi continuamente se sottoposto a forze di altro tipo. Esiste una tipologia intermedia, **sostanza plastica**, l'applicazione di forze produce una deformazione permanente che non scompare al cessare delle forze.

Il differente comportamento tra solidi e fluidi dipende dallo *stato di aggregazione molecolare*.

- I legami intermolecolari dei **gas** sono più deboli, occupano tutto lo spazio, forma e volume, sono variabili
- Nei **fluidi** la struttura delle molecole è più disordinata, scorrono per effetto di forze piccolissime
- Nei **solidi** i legami sono elevati, la struttura molecolare rimane invariata

Fluidi newtoniani



Supponiamo 2 piastre parallele e orizzontali, una inferiore fissa, l'altra in movimento. Tra esse c'è un fluido animato da movimento (moto laminare). Le molecole di fluido aderenti alla piastra superiore si muovono con la stessa velocità di essa, mentre quella alla piastra inferiore sono fisse. Per mantenere il moto uniforme della piastra con velocità costante Δv , è necessaria una forza F applicata alla piastra mobile. Tale forza dipende dalla velocità Δv , dall'area della piastra A , dalla *viscosità* μ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) del fluido e dalla distanza fra le piastre Δy .

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Il rapporto F/A definisce lo sforzo tangenziale unitario → $\tau = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$

La viscosità è funzione inversa della temperatura per i liquidi, è funzione diretta per i gas. In una retta $y=mx+q$, la viscosità è il coefficiente angolare m .

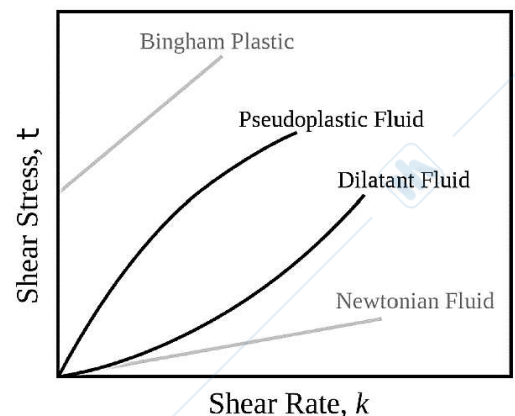
Fluidi non newtoniani

Pseudoplastici: sospensione acquosa di particelle più o meno grossolane. Se la velocità Δv è molto piccola, l'insieme di particelle risulta disposto casualmente, il fluido presenta un'elevata viscosità. Con l'aumentare della velocità le particelle si orientano nella direzione del moto. La viscosità diminuisce fino ad un valore costante. Il reogramma di tali fluidi risulta una curva uscente dall'origine con la concavità verso il basso.

$$\tau = K \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^n$$

K = consistenza, n = indice di non newtonianità ($0 < n < 1$).

Plastici di Bingham: fluidi con un reticolo polimerico che imprigionando molecole d'acqua ne impedisce lo scorrimento, fino a che non si sia superata una soglia di *sforzo tangenziale unitario* τ_0 . Oltre tale soglia il reticolo si rompe,



il gel si fluidifica cominciando a scorrere. Il fluido plastico di Bingham si comporta come un fluido newtoniano una volta superata la soglia τ_0 .

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

Plastici di Herschel-Bulkley: presentano una soglia di sforzo tangenziale unitario τ_0 , al di sotto si comportano come solidi elastici, superata diventano fluidi pseudoplastici. Es: omogeneizzati, mostarda, yogurt.

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^n$$

Dilatanti: aumento della resistenza allo scorrimento e un aumento della viscosità. Il reogramma ha la concavità verso l'alto. Es: soluzione di amido, sciroppo di eucalipto.

$$\tau = K \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^n \text{ dove } n > 1.$$

Influenza della temperatura sulla reologia dei fluidi

L'indice di non newtonianità n e lo sforzo tangenziale unitario di soglia τ_0 non subiscono l'effetto della temperatura, però, se la temperatura aumenta molto, n tende ad approssimarsi al valore unitario e τ_0 ad azzerarsi. La viscosità e la consistenza sono sempre influenzate, diminuendo con l'aumento del grado termico.

Equazione di Arrhenius $\rightarrow \mu = \mu_\infty \cdot e^{\frac{Ea}{RT}}$; $\rightarrow K = K_\infty \cdot e^{\frac{Ea}{RT}}$ dove μ_∞ e K_∞ sono la viscosità e la consistenza a temperatura infinita. Per questa condizione la funzione esponenziale vale 1. R è la costante universale dei gas, T è la temperatura assoluta (K) ed Ea è l'energia di attivazione, ovvero l'energia in eccesso che i reagenti devono avere per far procedere la reazione.

TRASPORTO DEI FLUIDI

Instabilità del moto laminare, moto turbolento, numero di Reynolds

Il moto laminare si verifica anche con la geometria tubolare. Il *moto laminare* ha modo di verificarsi o perché la velocità del fluido è ridotta o perché è piccolo lo spazio a disposizione del fluido. Si tratta di un ambito limitato, superato il quale, il moto assume una connotazione di *moto turbolento*.

Esperimento di Reynolds: un tubo di vetro alimentato da un serbatoio di acqua. All'ingresso del tubo c'è un capillare dal quale fuoriesce un colorante, all'uscita del tubo c'è una valvola regolatrice della portata Q (m^3/s) e della velocità media v_m (m/s) dell'acqua.

$$Q = \pi R^2 v_m = \frac{\pi D^2}{4} v_m = A \cdot v_m$$

Con la valvola poco aperta, la velocità dell'acqua è ridotta e il colorante appare come un filamento sottile, segno che il moto è laminare. Alla graduale apertura della valvola il filamento colorato va ondulandosi sempre più fino a che si rompe diffondendosi in tutto il volume del tubo. Il moto è diventato turbolento. Reynolds giunse alla conclusione che è l'energia cinetica a promuovere la turbolenza ed è l'energia dissipata dagli attriti a contrastarla.

Il **numero adimensionale di Reynolds** (Re) con il suo valore indica se il moto è laminare o turbolento

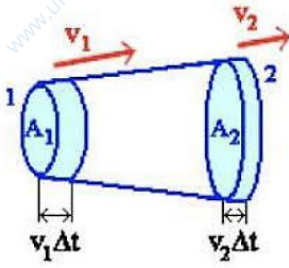
$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu}$$

- Se $Re \leq 2100$ il regime è *moto laminare*
- Se $Re \geq 4000$ il regime è *moto turbolento*
- Se $2100 < Re < 4000$ pur non essendo pienamente turbolento, lo si considera ancora *turbolento*

Il numero di Reynolds viene generalizzato Re_G per tenere conto sia della consistenza K che dell'indice di non newtonianità n :

$$Re_G = \frac{8 \cdot \rho \cdot v_m^{2-n} \cdot R^n}{K \cdot \left(\frac{3n+1}{n}\right)^n}$$

Principio di continuità (o conservazione della massa)



Si prende un fluido con moto stazionario, in un tubo troncoconico, con la sezione A_1 d'ingresso dove il fluido passa a velocità media v_{m1} . Il fluido percorre il tubo uscendo a velocità media v_{m2} dalla sezione A_2 . Il moto stazionario indica che la velocità d'ingresso rimane sempre la stessa così come quella di uscita.

In un intervallo di tempo Δt , da A_1 entra una massa pari a m_1 , mentre da A_2 esce una massa m_2 . Il **principio di conservazione della massa** dice che se si è in un regime stazionario e non ci sono perdite di fluido dalle pareti del tubo, m_1 deve essere uguale a m_2 durante uno stesso intervallo di tempo Δt :

$$\frac{m_1}{\Delta t} = \frac{m_2}{\Delta t}$$

Definito il rapporto $m/\Delta t$ come portata di massa G (kg/s) diventa $G_1=G_2$, $G = \text{costante}$.

Dalla definizione di densità ρ (kg/m³) = m/V e nell'ipotesi che sia costante nel moto:

$$\rho \frac{V_1}{\Delta t} = \rho \frac{V_2}{\Delta t}$$

Semplificando ρ e ricordando che il volume sul tempo Δt è la portata volumetrica Q (m³/s) si ha $Q_1=Q_2$, $Q = \text{costante}$. La portata volumetrica è correlata alla sezione A del tubo e alla velocità media v_m del fluido $\rightarrow Q = v_m \cdot A$, $A_1 v_{m1} = A_2 v_{m2}$. Se il tubo è a sezione costante $A_1=A_2$ quindi $v_{m1}=v_{m2}$.

Principio di conservazione dell'energia meccanica

Supponiamo un fluido incompressibile e che sia perfetto, quindi se in moto, risulta privo di attriti. Il suo moto deve soddisfare la conservazione dell'energia meccanica. L'energia meccanica si manifesta in 3 diverse forme:

- Energia cinetica: $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v m^2$
- Energia potenziale: $m g \cdot h$
- Energia di pressione: $V \cdot p$

La conservazione dell'energia meccanica è la somma delle 3: $\frac{1}{2} m \cdot v m^2 + m g \cdot h + V \cdot p = \text{costante}$

Applichiamo la conservazione dell'energia meccanica tra la sezione A_1 e la sezione A_2 . Il volume V rimane invariato, otteniamo l'Equazione di Bernoulli $\rightarrow \frac{1}{2} p \cdot v m_1^2 + p g \cdot h_1 + p_1 = \frac{1}{2} p \cdot v m_2^2 + p g \cdot h_2 + p_2$

Tutti i termini hanno come unità di misura $J/m^3 = Nm/m^3 = Pa$.

Equazione di Bernoulli per fluidi reali

Nella realtà, la presenza dei fenomeni d'attrito, fa decadere la conservazione dell'energia meccanica. È possibile estendere l'equazione di Bernoulli al caso dei fluidi reali introducendo un termine che rappresenti le perdite di energia meccanica per attriti P_R chiamate *perdite di carico*. L'energia meccanica totale nella sezione A_2 risulta minore della sezione A_1 e la differenza sono le perdite di carico. Durante il moto parte dell'energia meccanica si dissipa in calore ad opera degli attriti. Nei fluidi reali con moto laminare, la velocità non è costante, quindi l'energia cinetica non è correttamente rappresentabile da $\frac{1}{2} m \cdot v m^2$. Si introduce un coefficiente correttivo $\alpha \rightarrow \frac{1}{2} \alpha \cdot m v m^2$

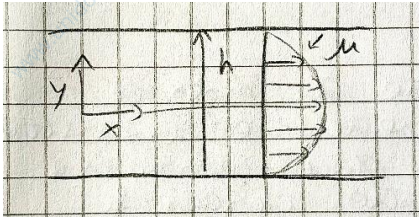
In regime laminare, α dipende dal tipo di fluido

- Vale 2 per i newtoniani
- 1,2-2 per pseudoplastici
- 1-1,8 per Herschel-Bulkley

Se consideriamo un liquido (incompressibile) all'interno di una tubazione a sezione costante l'energia cinetica del liquido durante il moto non cambia. L'equazione di Bernoulli diventa: $p g \cdot h_1 + p_1 = p g \cdot h_2 + p_2 + P_R$

Se la tubazione è orizzontale ($h_1=h_2$): $P_1 = P_2 + P_R$. Quindi la pressione diminuisce avanzando lungo la tubazione. Maniera intuitiva per rappresentare le perdite di carico.

Moto laminare fluido all'interno di una condotta cilindrica



La velocità di un fluido in una tubazione è massima al centro e minima vicino alle pareti. Per i fluidi newtoniani, l'andamento della velocità lungo il profilo del tubo ha la forma di una parabola: $V(r) = \frac{\Delta p}{4L\mu}(R^2 - r^2)$

Al centro $r=0$, avremo la velocità massima $V_{max} = \frac{\Delta p}{4L\mu}R^2$

La portata può essere ricavata dalle seguenti equazioni:

$$Q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot R^4}{8L\mu} ; Q = \pi r^2 v_m$$

Ponendo l'uguaglianza fra le due portate ricaviamo la velocità media: $V_m = \frac{\Delta p}{8L\mu}R^2$

Il rapporto $V_m/v_{max} = 0,5$

Moto turbolento fluido in una condotta cilindrica

In questo caso il moto è caratterizzato dalla formazione di turbini casuali.

Particelle più veloci → dal centro alla periferia → accelerano le altre

Particelle più lente → dalla periferia al centro → rallentano le altre

Si ha una trasmissione della quantità di moto fra le diverse particelle. Equalizzano la velocità lungo il profilo. È sempre presente un sottostato laminare in prossimità delle pareti (strato limite). Questo strato è estremamente sottile e viene rotto dalla scabrosità delle pareti. Il fenomeno è stato modellizzato come equazioni logaritmiche o come polinomi del 7° ordine. In entrambi i casi per $Re > 10.000$, $V_m/V_{max} = 0,82$.

L'esperimento di Reynolds

Reynolds pose un capillare e del colorante all'interno di un tubo di vetro alimentato da un serbatoio di acqua. All'uscita del tubo pose una valvola che regola la portata Q e la velocità media di uscita dell'acqua.

$$Q = \pi r^2 v$$

- Valvola poco aperta (velocità bassa) = filamento sottile e stabile di colore al centro del tubo = *moto laminare*
- Valvola molto aperta (velocità alta) = il filamento diviene sempre più ondulato e si diffonde in tutto il tubo = *moto turbolento*

Reynolds capì quindi che la velocità promuove il moto turbolento e associò la velocità all'energia cinetica del fluido $E_c = m \cdot v_m^2$, considerò E_c per unità di volume $\frac{m \cdot v_m^2}{V} = \rho \cdot v_m^2$.

Se ripetiamo l'esperimento con un fluido più viscoso il moto rimane laminare, nonostante la valvola molto aperta.

La viscosità scoraggia il moto turbolento. Reynolds mise a punto un numero puro dividendo l'energia cinetica che promuove la turbolenza per la tensione tangenziale (attriti) che la contrastano:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu}$$

Il **numero di Reynolds** descrive il regime di moto di un fluido. Oltre che da energia cinetica e viscosità del fluido, il tipo di moto dipende dalla geometria del canale. Se il moto avviene in condotte circolari si utilizzano il diametro.

Determinazione delle perdite di carico nelle tubazioni

Le perdite di carico P_R sono di due tipi:

- *Perdita di carico distribuita* P_{RD} è il risultato dell'attrito che si esplica lungo la tubazione tra le falde del fluido a diversa velocità e tra il fluido e la parete del tubo
- *Perdite di carico concentrate* P_{RC} sono dovute a fenomeni locali

Perdite di carico distribuite

$$P_{RD} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2 \text{ equazione di Darcy}$$

f è un fattore adimensionale che racchiude l'influenza del regime di moto, il tipo di fluido, la rugosità della parete del tubo e il coefficiente correttivo α . Per applicare questa formula occorre definire preliminarmente la lunghezza L della tubazione, definire la velocità media da adottare all'interno del tubo, determinare il diametro D .

Valori consigliati per velocità fluidi

FLUIDI	VELOCITA' MEDIA m/s
Newtoniani poco viscosi	1-3
Newtoniani medio viscosi	0,5-1
Non newtoniani	0,1-0,5
Gas e vapori	10-30

Poiché la portata volumetrica Q è correlata alla sezione A del tubo e alla velocità media del fluido dalla formula $Q = v_m \cdot A$ e poiché per una sezione circolare $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ si può ricavare il diametro del tubo $D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_m}}$

Manca ancora di conoscere il fattore d'attrito di Darcy f e per il calcolo occorre distinguere il moto laminare dal turbolento per i fluidi newtoniani, mentre per i non newtoniani il moto si presenta sempre laminare.

Fattore d'attrito di Darcy f

- Per i fluidi newtoniani in moto laminare: $f = \frac{64}{Re}$
- Per i pseudoplastici in moto laminare: $f = \frac{64}{Re_G}$ dove $Re_G = \frac{8 \cdot \rho \cdot v_m^{2-n} \cdot R^n}{K \left(\frac{3n+1}{n}\right)^n}$
- Per i fluidi plastici di Bingham in moto laminare: $f = \frac{64}{\beta \cdot Re_G}$ dove β è sempre minore di 1, non può essere negativo e nemmeno nullo. $\beta = 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_p}$ dove τ_0 è la tensione tangenziale di soglia, τ_p è quella di parete.
- Il fattore d'attrito nel moto turbolento per i tubi lisci: $f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$

Perdite di carico concentrate

Le P_{RC} si possono determinare in funzione dell'energia cinetica del fluido, ovvero:

$$P_{RC} = K \cdot \frac{1}{2} \alpha \cdot \rho \cdot v_m^2$$

Dove α è il coefficiente correttivo dell'energia cinetica, pari a circa 1 per il moto turbolento dei newtoniani. Il coefficiente di perdita concentrata K dipende dal tipo di singolarità (gomito, diramazioni, valvole..). Essendo presenti in una tubazione di trasporto più singolarità:

$$P_{RC} = \sum K \cdot \frac{1}{2} \alpha \cdot \rho \cdot v_m^2$$

POMPE PER FLUIDI ALIMENTARI

Le pompe sono macchine in grado di trasformare l'energia meccanica disponibile all'albero di un motore in energia meccanica del fluido sotto forma di pressione. 2 grandi categorie:

- **Volumetriche:** operano tra il tubo di aspirazione e quello di mandata spostando un volume definito di fluido. Divise in *alternative* e *rotative*.
- **Centrifughe** o rotodinamiche: sfruttano l'elevata velocità di rotazione di alcune palette collegate all'albero della pompa, per creare una pressione tramite forza centrifuga.

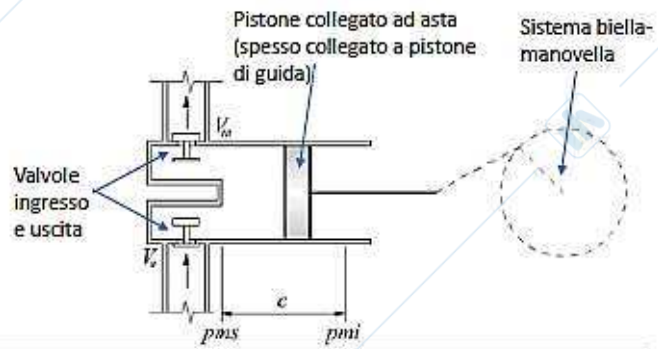
Pompe volumetriche alternative

Spostano un determinato volume di fluido per ogni ciclo. Il processo di pompaggio si svolge secondo un ciclo che si ripete fintanto che la pompa è azionata dal motore. Sono in grado di aspirare l'aria che riempie il tubo di aspirazione. Riescono a creare una adeguata depressione tale che la pressione atmosferica spinge il fluido durante le fasi iniziali di funzionamento. Queste pompe con tale proprietà vengono definite autoadescenti. Si dividono a loro volta in

- Pompe a stantuffi
- Pompe a membrane

Pompe a stantuffi

Costituite da un corpo pompa con uno o più cilindri provvisti di aperture per le valvole, entro ognuno dei quali si sposta uno stantuffo a tenuta realizzata con guarnizioni di teflon. Il movimento alternativo dello stantuffo viene fornito da un'asta collegata ad un pistone di guida mosso, tramite una biella, da un albero a manovella. La funzione del pistone di guida è quella di separare dal cilindro/stantuffo pompante, il sistema biella-manovella che deve essere lubrificato. Un apposito motoriduttore riduce il numero di giri del motore elettrico a 20-120 giri/min. Per attenuare la pulsazione della portata è sempre presente, alla mandata, un accumulatore cioè una camera parzialmente riempita di liquido, in comunicazione sia con il cilindro che con il tubo di mandata.

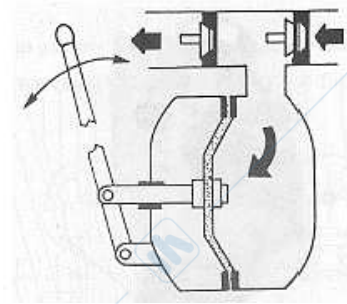


6

Condizioni operative	Pressioni di lavoro
<ul style="list-style-type: none"> - Bassi regimi di rotazione (<120 giri/min) - Velocità del fluido di circa 1 m/s - Si adattano a molti fluidi 	<ul style="list-style-type: none"> - Decine di bar - Centinaia di bar - Altissime pressioni
Materiali	Portate di lavoro
<ul style="list-style-type: none"> - Stantuffo: acciaio inox - Guarnizioni: teflon - Valvole: elastomeri 	<ul style="list-style-type: none"> - Da pochi l/h a circa 100 m³/h

Pompe a membrana

Costituite da un albero motore che aziona un meccanismo biella-manovella in grado di mettere in moto alterno un pistone, il cui scopo è creare una variazione di pressione nella camera chiusa con la membrana. Quando arretra, l'aria si espande deformando la membrana che aspira il fluido, quando avanza l'aria si comprime spingendo la membrana a comprimere il fluido verso la mandata. Per attenuare le pulsazioni si ricorre a realizzazioni a più membrane in parallelo mosse dallo stesso albero ma con manovelle sfalsate. L'aggiunta dell'accumulatore regolarizza ulteriormente la portata. Le valvole ad aletta o a sfera hanno configurazioni simili a quelle delle pompe a stantuffo. La membrana di elastomero pompa qualsiasi fluido alimentare.



- Bassi regimi di rotazione (<math><120\text{ giri/min}</math>)
- Pressioni max 30 bar
- Portate da pochi l/h a circa $100\text{ m}^3/\text{h}$

Vantaggio: no organi in reciproco strisciamento. Possono movimentare fluidi contenenti parti abrasive.

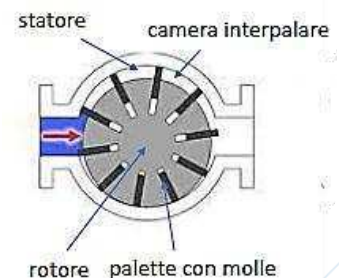
Pompe volumetriche rotative

Lo spostamento del fluido avviene per mezzo di un moto rotatorio. Costituite da uno statore (parte ferma) entro il quale opera il rotore (parte in rotazione). I volumi riempiti di fluido vengono spostati dall'aspirazione alla mandata in modo regolare, senza la necessità di valvole e spesso senza l'uso di accumulatori. Sono tutte reversibili attraverso l'inversione del senso di rotazione. Occorre evitare il funzionamento a vuoto in quanto il fluido da pompare fa da lubrificante. La loro portata è proporzionale al numero di giri al minuto dell'albero del rotore, oltre che al volume e al numero di camere che spostano volume verso la mandata. Vari tipi di queste pompe:

- Pompe a palette con rotore eccentrico
- Pompe con rotore flessibile
- Pompe ad ingranaggi e a lobi
- Pompe monovite
- Pompe peristaltiche

Pompe a palette

Il rotore è costituito da un tamburo con cave radiali, entro le quali alloggiavano le palette. Il loro bordo esterno scivola sulla parete cilindrica, interna dello statore, le camere interpalari spostano il liquido dell'aspirazione verso la mandata. Il tamburo nella parte inferiore sfiora lo statore, in modo che il liquido non resti incamerato negli spazi e sia costretto ad uscire dalla mandata. Il tamburo risulta eccentrico rispetto allo statore. Il numero di palette è commisurato alla pressione che la pompa è destinata a fornire. Queste pompe sono in grado di trasportare prodotti molto viscosi o non newtoniani, compresi quelli con molti solidi grossolani in sospensione.



- Pressione $> 10\text{ bar}$ molte palette in metallo
- Pressione 2-6 bar poche palette in teflon
- Portata 0,1-100 m^3/h
- Pulsazioni scarse. Aumentano al diminuire del numero di palette
- Rischi: infiltrazione fluido attraverso alloggi palette. Difficili da sanificare.

Pompe con rotore flessibile

Il rotore è eccentrico ed è costituito da un corpo unico con le palette. Tutto è di elastomero fissato ad un albero. Le palette si piegano durante la rotazione, man mano che il tamburo si avvicina allo statore nella parte inferiore. Sono di costruzione più semplice e meno costosa, ma richiedono una sostituzione cadenzata del

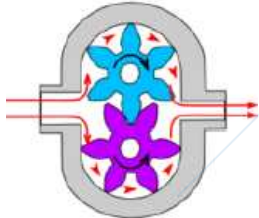
rotore. Il numero di palette determina il volume delle camere interpalari. Maggiore numero di palette = camere + piccole = fluidi meno viscosi.

Difetti: bassa durata palette; elevato surriscaldamento se girano a vuoto; pressioni troppo elevate piegano le palette causando rigurgiti eccessivi.



Pompe ad ingranaggi e a lobi

Costituite da 2 rotori che sono 2 ruote dentate (ingranaggi). I denti sono abbastanza grandi di modo che tra loro si possano trasportare fluidi viscosi o con parti in sospensione. Una delle due ruote dentate è motrice e trascina l'altra in rotazione per l'interazione reciproca dei denti, che possono essere metallici o di materiale plastico. I denti non strisciano rispetto allo statore ma lo sfiorano. Ciò consente a questa pompa di funzionare a vuoto senza danneggiamenti agli organi. Le portate possono arrivare a 40 m³/h.

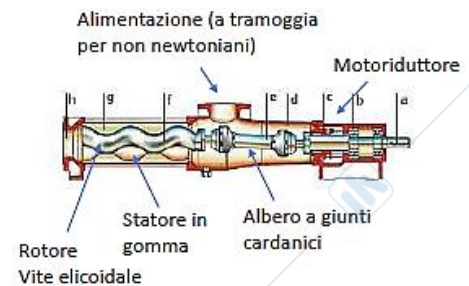


Da questa pompa deriva la pompa a lobi, diversificandosi per il numero ridotto dei denti, ora chiamati lobi, pari a 2 o 3, ricoperti di elastomero o poliammide. Non c'è un rotore che spinge al moto l'altro rotore. Si preferisce azionarli dall'esterno con un'altra coppia di ruote dentate. Le pompe a lobi vengono usate per fluidi newtoniani, pseudoplastici e plastici.

Vantaggi: facile pulizia; nessuna pulsazione.

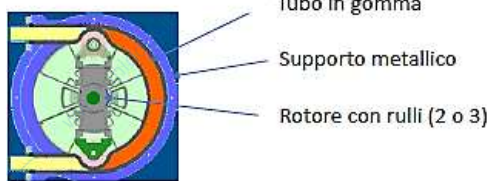
Pompe monovite

Costituite da statore di gomma forato e rotore di acciaio come cilindro curvato all'interno dello statore. Per ottenere la forma definitiva della pompa monovite occorre attuare una torsione su più giri secondo la rotazione tracciata. Le estremità del rotore si muovono di moto alterno e di rotazione propria, per cui l'alimentazione meccanica del motoriduttore deve avvenire tramite un albero a giunti cardanici. Il regime di rotazione è compreso tra 100 e 800 giri/min preferendo i valori minori per i fluidi viscosi. Sono pompe di facile sanitizzazione poiché non hanno organi mobili. Le pressioni sono comprese tra 7 e 10 bar. Le portate raggiungono per il settore alimentare i 100 m³/h.



Pompe peristaltiche

Sono costituite da uno statore tubolare di gomma che si appoggia su un telaio cilindrico esterno. Sullo statore agiscono dei rulli di compressione del tubo posti ai vertici di un rotore azionato da un motoriduttore. I rulli sono 2-3. Presentando una certa pulsazione della portata, sono dotate di un accumulatore alla mandata e spesso uno anche all'aspirazione. Il tutto per regolarizzare il flusso. Il rotore gira a 40-100 giri al min, le portate massime arrivano a 100 m³/h. Le pressioni non sono elevate, con un limite superiore di circa 6 bar, sono più che sufficienti per il trasporto di fluidi alimentari.



Potenza delle pompe volumetriche

La potenza idraulica disponibile al fluido P_i ($W = m^3/s \times Pa$) è il prodotto della portata Q (m^3/s) per la pressione P_p (Pa) $\rightarrow P_i^w = Q \cdot P_p$

La potenza richiesta al motore elettrico deve tenere conto di 3 fatti:

1. La portata Q di fluido uscente dalla pompa richiede che la stessa ne elabori un valore maggiore per tenere conto dei rigurgiti e delle fughe verso l'aspirazione. Il rapporto tra le due portate è il **rendimento volumetrico η_v**
2. La pressione P_p ricevuta dal fluido richiede che la pompa ne elabori una quantità maggiore per tenere conto delle perdite di carico interne alla macchina. Il rapporto tra le due pressioni è il **rendimento idraulico η_i**

3. La potenza meccanica all'albero del rotore richiede che il motore elettrico ne fornisca una quantità maggiore per tener conto delle perdite di potenza negli organi meccanici di collegamento tra i due. Il rapporto tra le due potenze è il **rendimento meccanico** η_m

Il rendimento totale è il prodotto dei tre. La potenza fornita dal motore elettrico è:

$$P^w = \frac{Q \cdot P_p}{\eta}$$

La pompa volumetrica fornisce una pressione P_p che dipende dai dislivelli e dalle perdite di carico nelle tubazioni del circuito e quindi non può superare il valore massimo ammesso dal costruttore $P_p \text{ max}$. Per qualunque P_p sotto il limite massimo previsto, la portata rimane costante. Il rendimento volumetrico dipende dalla pressione, ovvero che al crescere di questa, esso si riduce se pur modestamente. La portata Q all'aumentare della pressione richiesta dal circuito tende leggermente a diminuire. Da queste considerazioni nasce il diagramma della pressione P_p fornibile dalla pompa in funzione della portata Q . La curva verticale che correla le due variabili si dice **curva caratteristica** della pompa, è il luogo dei possibili punti di funzionamento della pompa stessa.

Pompe centrifughe

Dette rotodinamiche. Sfruttano l'elevata velocità di rotazione di una girante con varie pale, collegata con un albero al motore elettrico, per creare una pressione tramite la forza centrifuga, cioè un'azione rotodinamica. Nella creazione della pressione si aggiunge la decelerazione del flusso di liquido nei canali interpallari a causa della loro divergenza verso la periferia della girante. Il fluido esce dalla girante con una energia cinetica che deve essere convertita in pressione attraverso la predisposizione di un volume periferico, chiamato voluta, che incanalando il fluido in uscita dalla girante secondo una sezione crescente, ne permette una diffusione cioè la trasformazione in energia di pressione. Tale sezione crescente dà alla voluta una tipica forma a chiocciola che incanalando il liquido verso un'uscita a forma di tubo, detta bocca, permette della pompa.

Il fluido entra ed esce dai condotti interpallari secondo la direzione imposta dalle pale. La velocità del fluido si dice **velocità relativa** W . Il fluido è dotato anche di un moto rotatorio contraddistinto dalla **velocità tangenziale** U . La somma delle due risulta la **velocità assoluta** C . Determinare i vari contributi alla pressione P_p . Il primo contributo è determinabile come differenza tra l'energia cinetica all'uscita e all'ingresso legata alla velocità tangenziale.

$$p = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2}$$

Il secondo contributo è dovuto all'allargamento del canale interpallare, cioè alla diminuzione di velocità relativa e quindi dell'energia cinetica relativa

$$p = \frac{W_1^2 - W_2^2}{2}$$

La velocità assoluta all'uscita è maggiore di quella all'ingresso, ci sarà anche il contributo dell'aumento dell'energia cinetica della corrente assoluta

$$p = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$$

I primi due sono contributi già sotto forma di pressione, l'ultimo è energia cinetica che deve essere convertita in pressione. La pressione P_p acquisita dal fluido dentro la pompa centrifuga è:

$$P_p = p \cdot \frac{U_2^2 - U_1^2}{2} + p \cdot \frac{W_1^2 - W_2^2}{2} + p \cdot \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$$

P_p è fortemente legata al numero di giri al minuto (n) perché U è direttamente proporzionale a n e C dipende da U . Quindi ad ogni n abbiamo una certa P_p . Le pompe centrifughe si usano solo per fluidi newtoniani perché le velocità in gioco sono troppo elevate.

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> - Mancanza di organi in contatto reciproco - Affidabilità - Scarsi costi di manutenzione - Facili da pulire 	<ul style="list-style-type: none"> - Basse Pp raggiungibili - Poco utilizzabili per fluidi con presenza di solidi

Queste pompe non sono autoadescanti. Hanno dei problemi quando lavorano a vuoto oppure prelevano il fluido ad una distanza errata → fenomeno della **cavitazione** = formazione di microbolle di vapore nel fluido che scorre all'interno dei canali interpalari delle pompe centrifughe.

ESTRAZIONE MECCANICA SOLIDO-LIQUIDO

Macchine usate = presse

Applicano una pressione al materiale (vegetale, contenente molta acqua) che permette l'uscita del succo. L'uscita avviene per percolazione attraverso il materiale stesso in un certo tempo.

Rendimento di estrazione: $n = \frac{m_L}{m_{TOT}}$ dove m_L = massa liquido, m_{TOT} = massa totale.

Alla fine si ottengono 2 frazioni:

- Massa liquida (che è quello che vogliamo recuperare)
- Solido esausto (che viene distribuito in campo, mangime, matrice per estrazione)

Legge empirica fondamentale

$$n = K \cdot p^n (1 - ae^{-bt})$$

L'estrazione può essere condotta con presse continue o discontinue. Quando il prodotto viene pressato nelle presse discontinue, è disposto che solo una parte si trova a contatto con la superficie drenante della pressa. Nelle parti di prodotto distanti il liquido fuoriuscito incontra delle difficoltà a percolare attraverso lo strato fino alla superficie drenante della macchina. È previsto l'artificio di alternare ciclicamente alle fasi di pressature delle fasi di sgretolamento e rimescolamento del prodotto. In questo modo nelle presse discontinue si riesce ad avere la stessa resa di estrazione con un tempo totale ridotto.

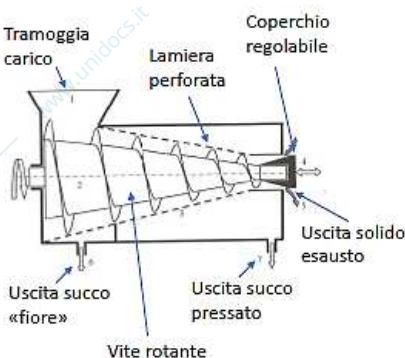
Presse continue: presse a vite; presse a nastri

Presse discontinue: presse a polmone; presse a pistone a comando

Presse a vite

Il prodotto grezzo entra tramite tramoggia e spinto da una vite tronco-conica rotante verso l'uscita dove si trova un coperchio regolabile. Quanto più è chiuso tanto maggiore è la difficoltà del solido esausto a scaricarsi. La pressione induce l'estrazione del succo attraverso la superficie di lamiera traforata che avvolge la vite. Man mano che il prodotto avanza lo spazio disponibile tra la vite e la superficie traforata si riduce per effetto:

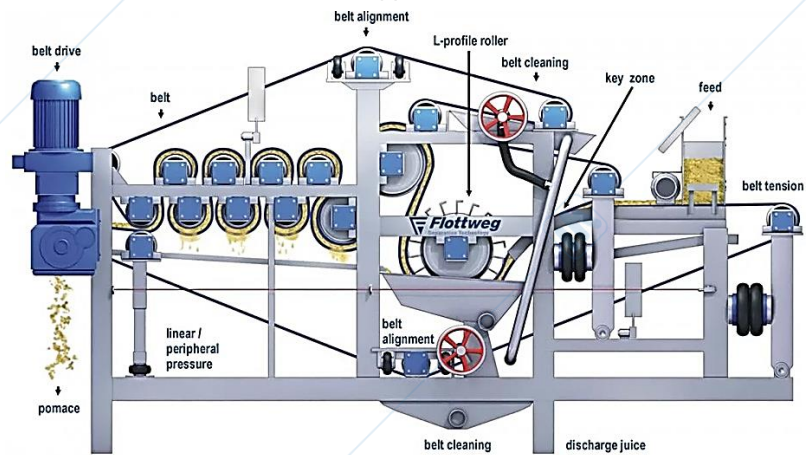
- Di una diminuzione del diametro della vite
- Dell'altezza della cresta della vite
- Del diametro



La diminuzione del volume e il coperchio regolabile consentono di aumentare la pressione sul prodotto e quindi l'estrazione di liquido. Le pressioni raggiungono valori da qualche decina di bar fino anche a un centinaio. Il regime di rotazione della vite è di 3-8 giri/min. La rotazione lenta riduce l'azione di sfregamento del prodotto contro le pareti della vite e della camera di drenaggio e permette di contenere la presenza di parti solide parcellizzate nel liquido estratto. Regimi più alti sono adottati per ottenere puree.

Presse a nastri

Costituita da una serie di rulli tra i quali scorrono due nastri di materiale sintetico poroso. Il materiale da pressare è adagiato tra i due nastri. In un primo tratto avviene un drenaggio. In un secondo tratto, tra i rulli piccoli, avviene una crescita della pressione. Nel terzo tratto con i rulli più grandi, i due nastri e il materiale da spremere compiono una serie di curve determinando una pressione maggiore che insieme allo sgretolamento indotto dalle curvature del percorso, provoca l'estrazione. Hanno tempi ridotti di permanenza di 2-4 min e pressioni di 0,5-1 bar. La resa di estrazione è minore di quella delle presse a vite. Il liquido estratto è molto povero di parti in sospensione. Per il recupero della frazione di liquido rimasta nel prodotto solido, si può usare una pressa a vite. Le presse a nastro sono più costose di quelle a vite e più onerosa è la loro manutenzione.



Presse a polmone

Durata ciclo = lunga, circa 2 ore

Vantaggi= basse pressioni, liquido poco torbido, semplicità costruttiva e manutentiva, versatilità.

Svantaggi= difficile pulizia canaline, sostituzione diaframma a cadenza regolare, rischi ossidativi, basse capacità operative.

Notevole successo nelle industrie alimentari. Grosso volume riempito di prodotto. Una membrana laterale si gonfia, si riduce il volume del materiale da pressare (che deve avere una grande percentuale di acqua). Esce il succo. Per aumentare la resa bisogna disgregare i solidi perché una parte del succo rimane incastrata. Sono macchine molto diffuse.

Riempimento → pressatura → sgretolamento → scarico

Questa pressa fa meno feccia (=vantaggio). È una macchina semplice, quindi meno manodopera legata alla manutenzione. Cambio membrana e pulizia = svantaggi. Le canaline, da dove esce il succo, spesso si intasano. Sono macchine molto versatili, nel senso che ci possiamo pressare diverse matrici. Permettono di tirare fuori il succo a pressioni base.

Presse a pistone

Si carica nella camera il materiale da pressare e si avvicinano i due piatti del pistone di cui uno fisso e l'altro mobile. Nelle presse a polmone, se il succo era incastrato nel solido, rompevo di nuovo. In questa pressa fra i 2 piatti vengono inseriti dei fili di nylon che sono tesi quando i piatti sono lontani. Quando i piatti si avvicinano si incastrano nei solidi e quando si allontanano rompono i solidi. Queste presse producono una quantità di feccia elevate rispetto alle altre. Lavorano ad una pressione più elevata e quindi rese maggiori (rispetto alle presse a polmoni). Hanno però un'azione meccanica più energica e quindi danno alte torbidità. Esiste una variante di queste presse a configurazione verticale senza i fili di nylon. Si ottiene un liquido più limpido ma di meno. Queste presse le usano i prodotti di alta qualità.

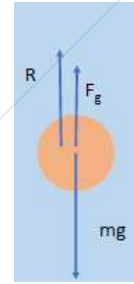
SEDIMENTAZIONE E CENTRIFUGAZIONE

Sedimentazione = operazione per la separazione di particelle solide in sospensione dal liquido che le contiene. Occorre una densità diversa tra le particelle e il liquido. Le due diverse fasi devono essere sottoposte ad una forza. Se è la gravità, la sedimentazione è statica e si definisce *decantazione*. Se la forza è centrifuga si parla di *centrifugazione*.

Equazione di Stokes nella decantazione

Fornisce la velocità di decantazione di una particella solida in un liquido di diversa densità, in un recipiente soggetto alla forza di gravità. La particella sarà sottoposta alle seguenti forze:

- Forza peso ($m \cdot g$)
- Forza di galleggiamento o spinta di Archimede (F_g)
- Resistenza d'attrito (R)



Applichiamo il *secondo principio della dinamica* $\sum F = m \cdot a$ proiettando i vettori nella direzione verticale positiva verso il basso: $m \cdot g - F_g - R = m \cdot a$ dove:

- m è la massa della particella (Kg)
- g è l'accelerazione di gravità 9,81 m/s²
- a è l'accelerazione della particella

Dopo un intervallo di tempo molto piccolo, il tipo di moto che si instaura è uniforme. La resistenza dovuta agli attriti R è proporzionale alla velocità, all'aumentare di essa anche R cresce, fintanto che il suo valore eguaglia la somma algebrica delle altre due forze $m \cdot g - F_g$. Quando ciò si verifica l'accelerazione risulta nulla $m \cdot g - F_g - R = 0$. Questa può essere esplicitata considerando la particella sferica.

$$m \cdot g = \rho_p \cdot \frac{\pi D^3}{6} g$$

$$F_g = \rho_l \cdot \frac{\pi D^3}{6} g$$

$$R = C_d \cdot A \cdot \rho_l \cdot \frac{V^2}{2} = 3\mu\pi Dv$$

Dove:

- $\frac{\pi D^3}{6}$ è il volume della particella sferica (m³)
- ρ_p è la densità della particella (kg/m³)
- ρ_l è la densità del liquido (kg/m³)
- C_d è il *coefficiente di resistenza*
- $A = \frac{\pi D^2}{4}$ è la sezione equatoriale della sfera
- V è la velocità di decantazione

Il **coefficiente di resistenza C_d** dipende dal regime di moto che si instaura nello strato limite presente sulla superficie della particella. Il moto può essere di 3 tipi diversi:

- Laminare $Re \leq 2$
- Di transizione $2 < Re \leq 500$
- Turbolento $Re > 500$

Il numero di Reynolds è funzione del diametro D della particella sferica.

Nel caso in cui il regime sia laminare $C_d = \frac{24}{Re}$. Così otteniamo la *velocità di decantazione*

$$v = \frac{D^2(\rho_p - \rho_l) \cdot g}{18\mu}$$

Per ottenere questa formula servono tre ipotesi:

1. La particella è solitaria
2. La particella è sferica

3. Il regime di moto nello strato limite attorno alla particella è laminare

Sedimentatori statici

Il modo più semplice per illimpidire un liquido è quello di lasciarlo sedimentare per il tempo necessario all'interno di un serbatoio, dopodiché effettuare un travaso. Il calcolo del tempo necessario viene effettuato mediante l'equazione di Stokes. Detti anche decantatori, possono essere continui o discontinui. Può essere reso continuo con il metodo dei 3 serbatoi, dove 1 serbatoio viene riempito, 1 sedimenta e 1 viene svuotato a rotazione. Per non fermarsi il tempo di riempimento deve essere uguale al tempo di sedimentazione.

Discontinui = serbatoi riempiti della sospensione che viene lasciata a riposo per un tempo determinato.

La velocità di decantazione v si può anche scrivere come $v = \frac{h}{t_s}$ dove h = altezza del serbatoio, t_s = tempo incognito. La velocità di sedimentazione è considerata pari anche al percorso che la particella più lontana dal fondo deve compiere riferita al tempo di decantazione. Il tempo di incognito è $t_s = \frac{h}{v}$.

Metodi dei 3 serbatoi

Per avere un sistema continuo, si predispongono 3 decantatori:

1. Il primo è in fase di riempimento
2. Il secondo in quella di decantazione
3. Il terzo in fase di scarico

Perché l'operazione sia continua è necessario che i tempi delle 3 fasi siano uguali, soprattutto quello di riempimento e di decantazione. Quello di scarico dipende dalla scelta della portata della pompa di scarico.

Se:

- Q = portata volumetrica della torbida da decantare (m^3/s)
- V = volume del recipiente (m^3)
- t_R = tempo di riempimento (s)

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

Uguagliando i tempi abbiamo

$$A = \frac{Q}{v}$$

(v = velocità), questa formula calcola la dimensione di ciascun recipiente di decantazione. Serve cioè a dimensionare il decantatore discontinuo, reso continuo con la tecnica dei 3 serbatoi. L'assenza dell'altezza h del serbatoio nella formula indica che si possono usare serbatoi di qualsiasi altezza purché siano tutte e 3 uguali. I decantatori continui spesso sono realizzati su base circolare.

La torbida alimenta con continuità il decantatore, la feccia viene estratta dal basso regolando la valvola. Le singole particelle che devono decantare sono soggette a due azioni:

- la prima di sedimentazione per gravità secondo una velocità v data dall'equazione di Stokes
- la seconda di trascinarsi verso l'alto insieme con il liquido secondo una velocità v_t

Affinché le particelle non inquinino il liquido uscente è necessario che la velocità di decantazione v sia maggiore o al limite uguale a quella di trascinarsi $v_t \rightarrow v \geq v_t$

Considerando il serbatoio come un grande tubo verticale si potrà applicare l'espressione $Q = v_t \cdot A$ dalla quale ricavare $v_t = \frac{Q}{A}$, $v \geq \frac{Q}{A}$.

$A_{min} = \frac{Q}{v}$ = superficie minima del decantatore per far precipitare ad una data Q una particella di un diametro D .

Centrifugazione = diversa densità tra le particelle e il liquido di dispersione. La forza che genera la separazione è la *forza centrifuga* F_c che sostituisce la forza peso

$$F_c = \rho_p \frac{\pi D^3}{6} a_c$$

A questa forza va associata al posto dell'accelerazione di gravità, quella centrifuga $a_c = \omega^2 r$ dove ω = velocità angolare, r = raggio della traiettoria circolare seguita dal fluido. Stessa cosa accade per la *velocità di decantazione*. Per il regime laminare, l'equazione di Stokes centrifuga diventa:

$$v_c = \frac{D^2(\rho_p - \rho_l) \cdot \omega^2 r}{18\mu}$$

La velocità angolare è legata al numero di giri al minuto n dalla $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$

Il rapporto tra la velocità di centrifugazione e quella di decantazione si chiama **numero di g** e viene indicato con il simbolo Z :

$$Z = \frac{v_c}{v} = \frac{\omega^2 r}{g}$$

I sedimentatori centrifughi si dividono in 2 categorie a seconda dell'asse di rotazione:

- centrifughe ad asse orizzontale, chiamate *decanter*
- centrifughe ad asse verticale a dischi, dette *centrifughe*

Decanter

Il decanter presenta un tamburo, detto bolo, in parte cilindrico e in parte troncoconico. Quest'ultimo tratto si chiama spiaggia. Esso ruota ad un regime n di circa 4000 giri/min. All'interno del tamburo è posto un rotore costituito da una coclea e da un albero cavo di alimentazione della torbida. Rotore e relativa coclea ruotano ad un regime leggermente superiore a quello del tamburo in modo da traslare verso destra le particelle solide che vengono separate dal liquido. Sul fondo del tamburo, a sinistra, sono presenti dei fori dai quali il liquido potrà uscire per essere raccolto in una camera anulare. Le parti in contatto con il fluido sono di acciaio inox. Sono macchine adatte alla chiarificazione di torbida con concentrazione di solidi sospesi variabile dal 2% al 60% e con particelle comprese tra 10 μm e 20 mm. Le portate variano da 1,5 a 60 m^3/h e con il raggio del tamburo di circa 0,25m. Sono impiegate ad esempio per l'estrazione dell'olio di oliva.

Centrifughe a dischi

L'alimentazione avviene dall'alto lungo un tubo centrale fisso che sfocia in uno di diametro maggiore, il quale porta alla sua estremità inferiore un disco conico. Sopra tale disco ne sono sovrapposti altri. In questo modo si creano gli spazi interdiscali dello stesso spessore, entro i quali il liquido torbido risale verso il centro della centrifuga. Durante questo percorso centripeta della torbida avviene che le particelle più pesanti sono spinte verso l'esterno e si depositano sul lato interno di ciascun disco per effetto della forza centrifuga, scivolano uscendo per raccogliersi nella camera dei fanghi. Tale camera è il risultato di due tamburi entrambi conici e costituenti la superficie di chiusura del complesso rotante. Questo complesso ruota generalmente ad un regime compreso tra 5000 e 7500 giri/min. Il liquido limpido, risalito negli spazi interdiscali, trova l'uscita concentrica al tubo rotante di alimentazione. I dischi fungono da superficie di sedimentazione e grazie alla loro inclinazione si autopuliscono consentendo lo scivolamento della feccia nella camera dei fanghi.

FILTRAZIONE

È un processo di separazione che offre la possibilità di separare non solo le particelle solide ma anche macromolecole e addirittura ioni. La separazione è basata sulla ritenzione dei solidi da parte di un mezzo filtrante poroso attraverso la **differenza di pressione** (Δp).

Obiettivo filtrazione = separare una fase dispersa, composta da particelle solide, da un fluido che costituisce una fase continua.

Il tipo di pompa utilizzata è di tipo centrifugo. La pressione Δp è considerata costante.

Il cuore del filtro è il **setto filtrante** e può essere di tre tipi:

- un telo che fa da supporto al deposito di solidi provenienti dalla torbida
- un cartone di spessore di 5 mm
- una membrana di spessore 2-3 decimi di millimetro

Due tipi di filtrazione:

- **filtrazione di superficie** = le particelle solide vengono fermate sulla superficie del setto filtrante per setacciamento. Adatta sia a sospensioni torbide con solidi sospesi, sia a sospensioni limpide con solidi sospesi fini.
- **Filtrazione di profondità** = il setto filtrante è più spesso e caratterizzato da una porosità costituita da canali capillari, lunghi dove le particelle vengono trattenute. I setti filtranti sono costituiti da uno strato di materiale come ad esempio farina fossile o perlite o cellulosa appoggiati su di uno specifico supporto di tela. I pori di un filtro di profondità hanno di norma un diametro maggiore delle particelle da separare. Le particelle della torbida vengono portate da forze di inerzia in contatto con la parete dei capillari la quale le trattiene.

Prepanello e alluvionaggio

Per la filtrazione nell'industria alimentare, occorre introdurre nella torbida, una certa dose di particelle con struttura rigida, particelle come la farina fossile. Questa, mescolata con la feccia, costituirà lo scheletro, permettendo l'esistenza dei pori. La filtrazione con alluvionaggio viene preceduta dalla predisposizione di uno strato sottile di farina fossile (prepanello) con lo scopo di assicurare il grado di limpidezza richiesto.

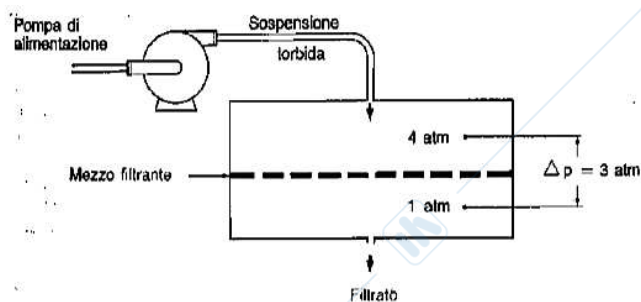
- *Tecnica dell'alluvionaggio continuo*: i coadiuvanti sono mescolati alla sospensione e si depositano sul supporto formando un pannello rigido
- *Tecnica del prepanello*: prima di iniziare la filtrazione si lascia depositare sul supporto uno strato di materiale ausiliario che impedisce che le particelle fini ostruiscano il supporto e garantisce la rimozione dei solidi anche all'inizio del ciclo di filtrazione

Equazione di Darcy

La seguente relazione correla la portata di filtrato ai parametri geometrici, funzionali e dei materiali:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta p}{\mu \cdot l} = \frac{A \cdot \Delta p}{\mu \cdot R} \rightarrow R = \frac{l}{K}$$

- Q = portata
- A = superficie del filtro
- Δp = differenza di pressione attraverso il mezzo filtrante
- μ = viscosità del filtrato (Pa s)
- l = spessore dello strato filtrante
- k = *permeabilità specifica* del setto filtrante
- R = resistenza specifica del mezzo filtrante



I coadiuvanti

- Capacità di formare un deposito poroso v vuoto / v totale > 0,85-0,90
- Alta superficie specifica del deposito
- Formazione di deposito rigido alla pressione di lavoro del filtro
- Granulometria uniforme
- Elevato potenziale elettrocinetico

I tre coadiuvanti più utilizzati sono:

- *Farina fossile* (diatomee) = granulometrie più fini definite “pink product” e granulometrie più grossolane “white product”
- *Perlite* (silice + allumina) = meno costosa rispetto a farina fossile. Particelle meno uniformi, maggiore resistenza meccanica nei prepanelli
- *Cellulosa* (da legno) = usata frequentemente come additivo di perlite e farine fossili. Dotata di potenziale elettrocinetico

Il primo è prevalente e si usa in tutti i filtri a pressione, il secondo si usa nei filtri sottovuoto (depressione), l'ultimo difficilmente viene usato da solo ma dà ottime proprietà ai precedenti.

Filtri-pressa a piastre e telai

Sono adatti alla filtrazione su prepanello ed alluvionaggio, su torbide da 0,2 al 10% di solidi sospesi. Sono costituiti da piastre e telai montati alternativamente su due longheroni. Tra i telai e le piastre vi sono i teli che fanno da supporto del prepanello. I teli sono costituiti da un tessuto di cotone o fibra sintetica. Le forme di telai e piastre sono rettangolari. Il materiale è acciaio inox.

Filtri a camera di pressione

Lavorano con una pompa che spinge la torbida attraverso la superficie filtrante. Sono usati esclusivamente a prepanello alluvionaggio. Oggi si usano principalmente quelli a piatti orizzontali. Funzionano attaccati ad un serbatoio in cui viene aggiunto al liquido da filtrare il coadiuvante. La torbida così preparata viene alimentata in una camera in pressione che ha un tubo centrale in acciaio dove sono messi i piatti filtranti. I piatti hanno una superficie forata su cui si deposita prima il prepanello e poi il deposito alluvionato. Il collettore centrale porta via il liquido limpido terminato il filtraggio.

Filtri in depressione a tamburo rotante

Sono filtri che possono lavorare in continuo (con prepanello sono discontinui perché deve essere rinnovato a ogni rotazione). Minori Δp . filtrazione di mosti o fecce. Costituiti da un tamburo cilindrico che ruota su un asse orizzontale. Fasi:

1. Immersione della parte inferiore in vasca con livello di torbida costante, aspirazione e formazione di un deposito di spessore variabile
2. Emersione del deposito, lavaggi (acqua aspirata in collettore diverso rispetto al filtrato) e parziale essiccamento residuo
3. Distacco del residuo, mediante un colpo di pressione e l'uso di un coltello raschiante. Allontanamento residuo distaccato con coclea.

Regolazioni possibili:

- Grado di immersione del tamburo nella torbida (25-70%- valori maggiori per vini più filtrabili)
- Velocità di rotazione (10-70 giri/h, valori maggiori per vini più filtrabili)
- Durata delle diverse fasi (spostamento piastre di separazione interne)

LA SEPARAZIONE CON MEMBRANE

Le operazioni delle membrane sono molteplici:

- Osmosi inversa (iperfiltrazione) = consente il passaggio solo dell'acqua
- Ultrafiltrazione = trattiene le macromolecole e fa passare tutto quello che ha dimensioni minori
- Microfiltrazione tangenziale
- Nanofiltrazione

Microfiltrazione su membrana frontale (dead-end)

Le membrane ricevono il prodotto da microfiltrare frontalmente alla superficie. Le particelle (lieviti e batteri) vengono trattenuti sulla superficie della membrana. Lo spessore della membrana è 0,2-0,3 mm, i pori hanno un diametro crescente (struttura anisotropa) verso l'uscita del filtrato, chiamato permeato, in modo da impedire l'intasamento all'interno dello spessore. Se il prodotto da trattare non è stato precedentemente filtrato con il metodo prepanello alluvionaggio, si verificherà un intasamento della membrana (colmataggio). Occorre che il prodotto da microfiltrare non contenga più dello 0,1% di solidi sospesi.

Microfiltrazione tangenziale (MFT)

La microfiltrazione tangenziale si attua con un elevato flusso tangente alla membrana del prodotto da trattare. Ha un funzionamento discontinuo, il prodotto da microfiltrare (detto ritenuto) in un recipiente viene alimentato con una pompa centrifuga di alimento su un circuito chiuso di ricircolo, che anch'esso ha una pompa centrifuga di elevata portata e da un piccolo serbatoio. Il flusso di ritenuto lambisce parallelamente la membrana per poi uscire dall'alto ed essere ripreso dalla pompa di ricircolo è indispensabile per assicurare un elevato flusso tangenziale sulla membrana. Le velocità del fluido torbido sono comprese tra 1 e 3 m/s al fine di minimizzare il deposito di particelle, chiamato *fouling*, sulla membrana stessa e quindi il rischio di colmataggio della stessa. Con l'andare del tempo il fouling si presenta, provocando un calo della portata di permeato. È prevista la pulizia della membrana.

Equazione portata di permeato nella MFT

L'equazione di Darcy può essere adottata anche nella MFT.

$$Q = \frac{A \cdot \Delta p}{\mu \cdot (R_m + R_f)}$$

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta p$$

$$k = \frac{1}{\mu \cdot (R_m + R_f)}$$

- R_m = resistenza della membrana
- R_f = resistenza del deposito (fouling)

R_m è considerata costante, R_f varia nel tempo aumentando con l'aumentare dello spessore del deposito.

k = permeabilità e NON va confusa con K che è la permeabilità specifica nella filtrazione tradizionale.

L'aumento di R_f dovuto al fouling comporta una progressiva diminuzione di Q . Al di sotto di una Q preimpostata gli impianti effettuano *blackflush*, che consiste nell'applicare una contro pressione leggera per rilanciare nel ritenuto le particelle che colmatavano la membrana.

Le principali configurazioni delle membrane sono:

- Membrane tubolari
- Membrane a fibre cave
- Membrane a spirale

Ultrafiltrazione (UF)

La UF serve a separare le macromolecole come proteine o polifenoli ad alto grado di polimerizzazione. L'UF è sempre attuata in flusso tangenziale come la MFT. La membrana da UF deve presentare una porosità fino a 100 volte inferiore ai valori del diametro dei pori tra 0,1 e 0,001 μm , capaci di separare macromolecole di massa molecolare pari a 10.000 dalton. Le caratteristiche sono le stesse della MFT. Spessore di 0,2-0,3 mm,

carattere anisotropo della porosità che sarà crescente verso l'uscita del permeato. Anche per UF l'equazione della portata è $Q = k \cdot A \cdot \Delta p$.

Osmosi inversa (OI)

L'osmosi inversa ha l'obiettivo di trattenere tutti i soluti compresi i Sali e dare come permeato solo il solvente, cioè l'acqua. Nell'industria alimentare trova impiego per concentrare vari prodotti come latte o succhi di frutta. La membrana OI deve avere una porosità nulla poiché il solvente acqua attraversa la membrana per un fenomeno diffusivo, che è molto lento e quindi occorre minimizzare lo spessore della membrana.

Pressione osmotica con la legge di van't Hoff $\rightarrow \Delta\pi = C \cdot R \cdot T$ dove C = concentrazione molare della soluzione, R= costante universale dei gas = 8314J, T= temperatura assoluta in K.

Portata di permeato = $Q = k \cdot A \cdot (\Delta p - \Delta\pi)$

Coefficiente di ritenzione = $R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right)$