

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Risposte di Impiantistica Enologica

Brugnera Paolo

**Corso di laurea:
Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche**

1. Scrivere compiutamente l'espressione del numero di Reynolds per fluidi newtoniani, indicando le grandezze e le unità di misura. Descrivere l'esperimento di Reynolds che ha condotto a l'individuazione del numero stesso, indicando bene che cosa rappresenta dal punto di vista energetico.

Reynolds prese un liquido con una viscosità μ e lo fece scorrere su un canale avente una gobba sul fondo. Egli notò che se la velocità del fluido è contenuta e quindi anche la sua energia cinetica, questo si muove secondo lamine seguendo il profilo del fondo.

Aumentando la velocità, da un certo punto in avanti si verificherà che, esaminando una qualsiasi particella di fluido, questa non segua più l'ondulazione imposta dal fondo e a questo si associa la formazione di vortici a valle dell'ostacolo e quindi la caratteristica del moto turbolento. Da un punto di vista energetico, all'aumentare della velocità corrisponde un altrettanto aumento dell'energia cinetica.

L'esperimento è stato ricondotto con un fluido più viscoso che, avendo le stesse velocità ed energie cinetiche del fluido precedente, si è comportato in maniera diversa, infatti ad alte velocità il fluido ha continuato a seguire il profilo del canale senza creare vortici a valle dell'ostacolo perché la relazione non è legata solo all'energia cinetica ma anche alla viscosità. Quindi, all'aumentare della viscosità aumenterà anche la dissipazione di energia specifica, ovvero l'attrito (τ).

Reynolds considera quindi il rapporto: $\frac{E_c}{\tau}$ semplificando E_c come ρv^2 quindi:

$$Re = \frac{E_c}{\tau} = \frac{\rho v^2}{\mu \frac{v}{y}} = \frac{\rho v y}{\mu}$$

- Per i canali: $Re = \frac{\rho v y}{\mu}$

- Per tubazioni: $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$

$$\rho \equiv \left[\frac{kg}{m^3} \right]; v \equiv \left[\frac{m}{s} \right]; y \text{ o } D \equiv [m]; \mu \equiv \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

Il n° di Reynolds è un numero adimensionale che definisce i confini tra i due tipi di moto:

- Moto laminare $Re \leq 2100$
- Moto turbolento $2100 < Re < 100000$

2. Scrivere e commentare l'equazione caratterizzante il comportamento newtoniano di un fluido enologico (spiegare le varie grandezze e le unità di misura).

Per poter determinare l'equazione è stato condotto un esperimento nel quale in un liquido posto in una vasca sufficientemente grande con un'altezza y viene appoggiata una piastra galleggiante di area A la quale viene trascinata con una forza piccola F . Le particelle di fluido si muovono su lamine parallele con una velocità inversamente proporzionale all'altezza fino ad arrivare allo strato aderente al fondo il quale rimane fermo. Questo tipo di moto viene chiamato moto laminare e la formula che mette in relazione le grandezze in gioco è: $F = \mu A \frac{v}{y}$

dove μ è la viscosità e v è la velocità della piastra.

Dividendo tutto per A si ottiene: $\frac{F}{A} = \mu \frac{v}{y} \rightarrow \tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{v}{y} [Pa]$

Questa è l'equazione di Newton e i fluidi che la verificano si chiamano newtoniani.

τ è chiamato anche sforzo tangenziale unitario ed è individuabile sia come rapporto tra forza/area (pressione, Pa) sia come rapporto tra energia/volume (J/m^3).

Nel caso in cui la forza F si maggiore avremmo che il moto delle particelle non è più laminare ma presenta dei vortici e il moto si dice turbolento. Questo moto provoca un andamento non lineare della velocità delle particelle di fluido lungo l'altezza della vasca e per questo motivo non si potrà più utilizzare la formula precedente per calcolare τ perché questa varia tra la superficie e il fondo, bensì dovrà essere calcolata localmente e quindi l'equazione di Newton diventerà: $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$, questa equazione è valida per entrambi i moti mentre la prima equazione vale solo per il moto laminare.

3. Come si determinano le perdite di carico distribuite, considerando il caso di fluido newtoniano e regime di moto turbolento (spiegare le varie grandezze e le unità di misura).

Le perdite di carico distribuite si calcolano tramite l'equazione di Darcy:

$$P_{RD} = f \frac{L}{D} \rho \frac{v^2}{2}$$

Dove: $L \equiv [m]$; $D \equiv [m]$; $\rho \equiv \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$; $v \equiv \left[\frac{m}{s}\right]$

Le forze di attrito f , poiché è un moto turbolento, vengono calcolate tramite l'equazione di Blasius:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

4. Come si determinano le perdite di carico distribuite, considerando il caso di fluido newtoniano e regime di moto laminare (spiegare le varie grandezze e le unità di misura).

Le perdite di carico distribuite si calcolano tramite l'equazione di Darcy:

$$P_{RD} = f \frac{L}{D} \rho \frac{v^2}{2}$$

Dove: $L \equiv [m]$; $D \equiv [m]$; $\rho \equiv \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$; $v \equiv \left[\frac{m}{s}\right]$

Le forze di attrito f , poiché è un moto laminare, vengono calcolate tramite l'equazione di Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

5. Come si determinano le perdite di carico distribuite, considerando il caso di fluido pseudoplastico e regime di moto laminare (spiegare le varie grandezze e le unità di misura).

Le perdite di carico distribuite si calcolano tramite l'equazione di Darcy:

$$P_{RD} = f \frac{L}{D} \rho \frac{v^2}{2}$$

Dove: $L \equiv [m]$; $D \equiv [m]$; $\rho \equiv \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$; $v \equiv \left[\frac{m}{s}\right]$

Le forze di attrito f , poiché è un moto laminare, vengono calcolate tramite l'equazione di Poiseuille:

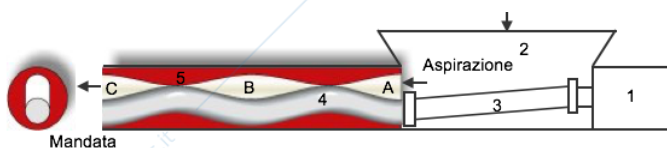
$$f = \frac{64}{Re}$$

Per quanto riguarda il moto laminare dei fluidi pseudoplastici, all'aumentare della velocità la viscosità diminuisce per effetto dell'orientamento delle particelle all'interno del fluido perciò non può più essere considerata la viscosità come tale ma si andrà a valutare la consistenza K e l'indice di non Newtonianità n che è sempre < 1 . Da qui si deduce che anche l'equazione di Reynolds cambierà e verrà espressa come:

$$Re = \frac{8\rho v^{2-n} R^n}{k \left(\frac{3n+1}{n}\right)^n}$$

Dove: $\rho \equiv \left[\frac{kg}{m^3}\right]$; $v \equiv \left[\frac{m}{s}\right]$; $R \equiv [m]$; $k \equiv [Pa \cdot s^n]$

6. Disegnare lo schema di una pompa mohno e spiegarne il principio di funzionamento.

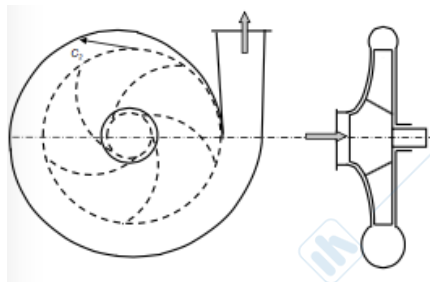
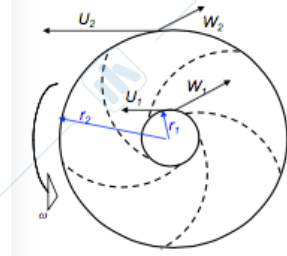


La pompa monovite è formata da un motoriduttore (1) collegato ad un albero a giunti cardanici (3) che trasferisce l'energia meccanica ad un rotore d'acciaio inossidabile a vite elicoidale (4) il quale è inserito all'interno di uno statore in gomma (5). Il rotore, che ha il passo metà di quello dello statore, gira facendo spostare il fluido da una camera all'altra verso la mandata aumentandone la pressione. Il regime di rotazione è compreso tra 100 e 800 giri/min e pressioni

comprese tra 7 e 10 bar, ma possono anche essere maggiori. Sono di facile sanitizzazione ed hanno una portata che può raggiungere anche i $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

7. Disegnare lo schema di una pompa centrifuga e spiegarne il principio di funzionamento.

La pompa centrifuga è formata da una girante con varie pale che grazie alla forza centrifuga crea una pressione. Il liquido, entrando nella pompa, entra in un canale a sezione maggiore quindi perde velocità, nonché energia cinetica: questo viene rappresentato in figura da W_1 che è la velocità relativa in entrata e W_2 che è la velocità relativa dopo l'aumento di sezione. Ma il fluido riceve anche un aumento di velocità da parte del moto rotatorio della girante e questa viene chiamata velocità relativa U che è minore in entrata, U_1 , rispetto che all'apice delle palette, U_2 . La somma vettoriale delle due velocità W_1 , U_1 e W_2 , U_2 tramite la regola del triangolo costituisce la velocità assoluta C la quale all'ingresso della pompa è C_1 mentre in uscita è C_2 . Il vettore C , a differenza di W e U non è un'energia di pressione ma è energia cinetica e per questo motivo deve essere convertita in pressione. Questo viene fatto aggiungendo una voluta a sezione crescente, come una chiocciola, che incanalerà il fluido in uscita dalla girante trasformando l'energia cinetica in pressione.

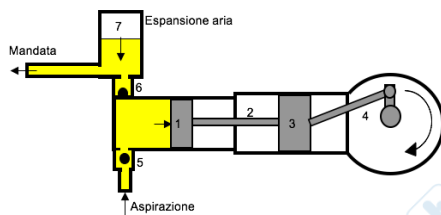


In questo tipo di pompe la pressione P_p realizzabile è strettamente collegata al regime di rotazione della girante, al contrario delle pompe volumetriche dove invece è la portata Q ad essere collegata al regime di giri. Queste pompe arrivano a generare una pressione di circa 8 bar con una velocità all'interno della voluta che raggiunge i 20-40 m/s perciò queste pompe non sono molto adatte nel trasporto di pigiato per il fatto che sgretolerebbero le parti solide formando più feccia del dovuto.

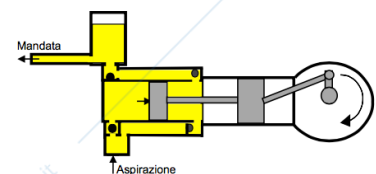
8. Disegnare sommariamente lo schema di una pompa a pistoni e spiegarne il principio di funzionamento.

Sono in grado di aspirare l'aria che riempie il tubo di aspirazione, quindi di creare una depressione tale da aspirare il fluido nelle fasi iniziali di funzionamento. Questa proprietà consente a queste pompe di essere chiamate autoadescanti.

Questa pompa è costituita da un meccanismo biella-manovella (4) il quale mette in moto un pistone di guida (3) che è collegato allo stantuffo pompante (1) tramite un'asta (2). Il pistone quando arretra crea una depressione che permette l'aspirazione di liquido tramite l'apertura della valvola a sfera di aspirazione (5); inversamente, quando avanza, crea una pressione che permette la mandata di liquido tramite l'apertura della valvola a sfera di mandata (6). Questo tipo di pompa è costituito anche da un accumulatore per regolarizzare il flusso della portata nei tempi morti.



L'andamento pulsante della portata porta ad una non regolarità del flusso di liquido, perciò è stato pensato di mettere, per un'unica pompa, due stantuffi a semplice effetto, ma ancora il flusso non è regolare. Si è pensato quindi di far lavorare lo stantuffo sia in andata che in ritorno della sua corsa; sono state messe quindi due valvole in aspirazione e due in mandata in modo da far fare un doppio effetto allo stantuffo. Mettendo quindi due stantuffi a doppio effetto si ha la completa regolarizzazione del flusso in mandata, grazie anche all'aiuto dell'accumulatore.



Queste pompe possono lavorare a pressioni che variano da qualche decina di bar fino anche a 200-400 bar con una portata che varia da pochi dm^3/h fino a $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

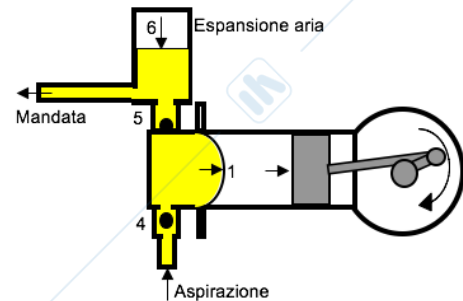
9. Disegnare sommariamente lo schema di una pompa a membrana e spiegarne il principio di funzionamento.

Sono in grado di aspirare l'aria che riempie il tubo di aspirazione, quindi di creare una depressione tale da aspirare il fluido nelle fasi iniziali di funzionamento. Questa proprietà consente a queste pompe di essere chiamate autoadescenti.

Sono costituite da un albero motore che aziona un meccanismo biella-manovella, a sua volta in grado di mettere in moto alterno un pistone. Lo scopo di quest'ultimo è quello di creare una variazione di pressione nella camera chiusa con la membrana (1).

Quando il pistone arretra, l'aria si espande deformando la membrana che aspira il fluido (4), quando avanza l'aria si comprime spingendo la membrana a comprimere il fluido verso la mandata (5). La pompa è formata anche da un accumulatore (6) che permette di stabilizzare il flusso del fluido. La membrana di elastomero, spesso neoprene, consente di pompare senza alcuna difficoltà qualsiasi fluido alimentare e il mancato contatto tra organi in moto reciproco di scorrimento/strisciamento, permette a questa pompa, diversamente dalle altre, di comprimere fluidi con sospensione di solidi abrasivi come ad esempio la farina fossile nei filtri a preannello ad alluvionaggio.

La pressione in mandata non può superare i 30 bar per via della membrana, ma può avere una portata che varia da pochi dm^3/h fino anche a $300 \text{ m}^3/\text{h}$.



10. Disegnare sommariamente lo schema di una pompa a lobi e spiegarne il principio di funzionamento.



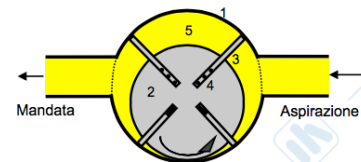
La pompa a lobi deriva dalla pompa ad ingranaggi e differisce sostanzialmente per il numero ridotto di denti, ora chiamati lobi, i quali possono essere due o tre. Questa pompa è costituita da due rotori bilobati (1) (oppure trilobati) i quali sono indipendentemente azionati da una coppia di ruote dentate da parte del motoriduttore; questo viene fatto per una migliore regolarità di funzionamento e per non usurare i rotori. La pressione in mandata può superare facilmente i 10 bar e le portate possono arrivare a $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

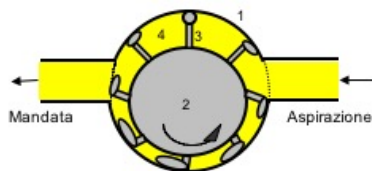
11. Disegnare sommariamente lo schema di una pompa a palette e spiegarne il principio di funzionamento.

Di queste pompe ne esistono due diversi tipi: le pompe a rotore eccentrico e a rotore flessibile.

Le pompe a rotore eccentrico sono formate da uno statore (1) all'interno del quale è presente un tamburo a rotore eccentrico (2) entro al quale alloggiato delle palette (3) tenute in spinta verso l'esterno da delle molle interne (4). Il tamburo, ruotando in senso antiorario, sposta il liquido dall'aspirazione alla mandata facendo passare il liquido all'interno delle camere interpalari (5). Il tamburo è eccentrico per evitare che il liquido rimanga incamerato negli spazi e quindi lo costringe ad uscire dalla mandata. Non si fa un grosso uso di queste pompe per il fatto che negli spazi all'interno del tamburo si possono formare crescite indesiderate di microrganismi. Le pressioni sono comprese fra 4 e 10 bar con una portata che varia tra $0,1$ e $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

In sostituzione a queste sono state prese in considerazione le pompe a rotore flessibile le quali sono sempre formate da uno statore (1), un tamburo rotante eccentrico di elastomero (2) e delle palette flessibili di elastomero (3) le quali si deformano strisciando contro lo statore. Questo tipo di

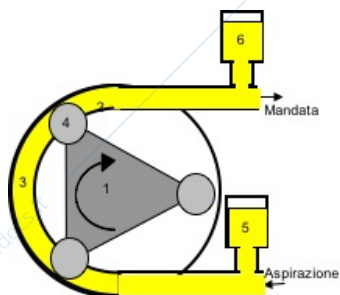




palette permette una miglior pulizia della pompa e quindi è da preferire rispetto alla precedente sebbene la portata e la pressione sono sempre minori, in particolare la pressione non supera i 3 bar.

12. Disegnare sommariamente lo schema di una pompa peristaltica e spiegarne il principio di funzionamento.

Questa pompa è formata da uno statore tubolare in gomma (2) che si appoggia su un telaio cilindrico esterno. Sul tubo agiscono dei rulli folli (4) (solitamente due o tre) che lo comprimono.



Questi rulli sono posti ai vertici di un rotore (1) azionato da un motoriduttore. Girando e comprimendo lo statore, i rulli sono in grado di creare una depressione in aspirazione e una pressione in mandata che permette il pompaggio. Inoltre, presentando una certa pulsazione della portata, solitamente sono dotate di accumulatore (5,6) sia in mandata che in aspirazione per regolarizzare il flusso. Le pressioni di esercizio non sono elevate, difatti non si superano i 6 bar ma la portata può arrivare anche a $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

13. Disegnare e commentare la curva caratteristica pressione-portata pp-Q di una pompa volumetrica.

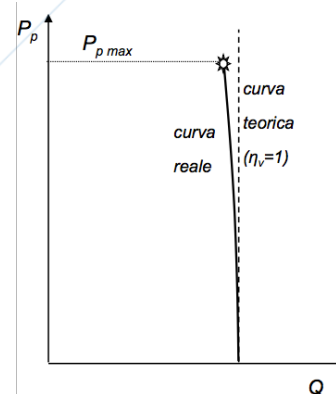
Nelle pompe volumetriche la portata Q è in funzione del volume teorico, peraltro costante per una data pompa, spostato dall'aspirazione alla mandata. La Q è poi funzione del numero di giri al minuto n dell'albero della pompa. Pertanto fissato n , se il rendimento volumetrico (rapporto tra la portata uscente e quella elaborata dalla pompa) è ipotizzato teoricamente unitario, la portata Q rimane costante, e non dipende quindi dalla pressione P_p espressa dalla pompa a seconda del circuito idraulico in cui essa è inserita.

La pompa volumetrica fornisce una pressione P_p che dipende unicamente dai dislivelli e dalle perdite di carico nelle tubazioni del circuito. Quindi P_p può essere diversa a seconda dei casi. Tuttavia sappiamo che non deve superare il valore massimo ammesso dal costruttore $P_{p \text{ max}}$.

In definitiva per qualunque P_p richiesta dal circuito, purché sotto il limite massimo previsto per evitare che si rompa, la portata Q rimane costante.

Quando però il circuito richiede una pressione P_p maggiore di zero, il rendimento volumetrico si riduce se pur modestamente, perché aumentano i rigurgiti verso l'aspirazione e quindi anche la portata si riduce leggermente.

La curva, pressoché verticale, che correla le due variabili si dice curva caratteristica della pompa.



14. Disegnare e commentare la curva caratteristica pressione-portata pp-Q di una pompa centrifuga.

La pompa centrifuga crea una pressione che dipende dal numero di giri della girante, ma come per tutte le pompe la pressione reale non è quella teorica, difatti a grandi linee per le pompe centrifughe è circa l'85%.

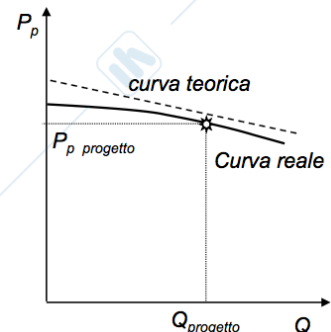
Il liquido uscente dalla bocca premente ha una determinata portata Q detta di progetto. Il liquido di portata Q viene inviato alla mandata dovendo superare il dislivello e le perdite di carico del circuito della tubazione. Il circuito chiede quindi alla pompa una pressione P_p calcolabile con l'equazione di Bernulli $P_p = \rho g(h_2 - h_1) + P_R$.

A questo punto è chiaro che la pressione P_p richiesta deve coincidere con quella fornita dalla pompa per quel numero di giri n . solo così la pompa e il circuito si trovano in accordo. Supponiamo che aumentino le perdite di carico e/o il dislivello, il circuito idraulico chiederà una pressione

maggiore di quella che la pompa fornisce come valore fisso (dato che il numero di giri non cambia). La pompa all'aumentare della pressione del circuito risponderà quindi con un'importante riduzione della portata Q . riducendo la portata diminuirà anche la velocità del fluido nella tubazione e quindi si ridurranno anche le perdite di carico correlate a tale velocità e quindi calerà anche la richiesta di pressione da parte del circuito. In questo modo la pompa e il circuito si troveranno in un punto di incontro.

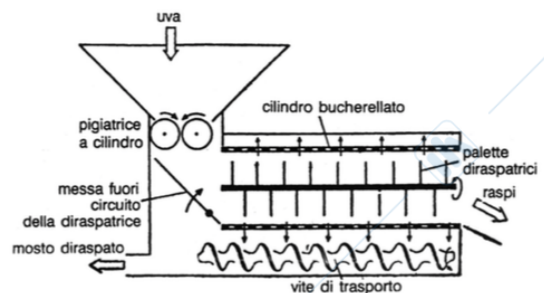
L'opposto succede se viene richiesta una pressione inferiore, la pompa risponderà aumentando la portata, incrementando la velocità e quindi anche le perdite di carico in modo da portare la pressione nel circuito a quella che la pompa può generare a quel determinato numero di giri.

In definitiva si può dire che le pompe centrifughe alle diverse richieste del circuito rispondono soprattutto con variazioni di portata in modo tale da mantenere pressoché costante la pressione anche se in realtà, all'aumentare della portata la pressione cala leggermente.



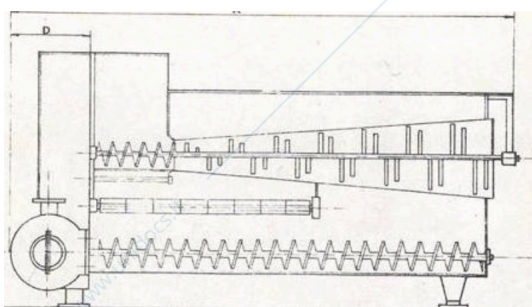
15. Spiegare il principio di funzionamento di una pigiadiraspatrice a rulli, evidenziandone i pregi e i difetti.

La pigiadiraspatrice a rulli esegue il suo lavoro in due momenti distinti: prima pigia l'uva e successivamente questa viene diraspata. L'uva entra nella tramoggia di carico dall'alto dove incontra subito i rulli per la pigiatura: le macchine presentano due o quattro rulli controrotanti verso il centro i quali hanno una configurazione a 4 o 6 lobi di acciaio rivestiti in gomma alimentare. A questo punto l'uva cade e grazie ad uno scivolo viene mandata all'interno di un buratto forellato cilindrico posto in lenta rotazione. All'interno di questo è disposto un albero diraspatore a palette il quale gira ad una velocità compresa fra 150 e 300 giri/min. I raspi escono dall'estremità opposta del buratto mentre il pigiato passa attraverso i fori e viene raccolto in una vasca sottostante collegata ad una pompa. Grazie allo scivolo presente in queste macchine è possibile escludere la diraspatura ottenendo così il pigiato non diraspato; d'altro canto non è possibile escludere la pigiatura facendo sì che i raspi vengano sempre schiacciati con possibili cessioni indesiderate di acidi e polifenoli e maggiori produzioni di fecce.



16. Spiegare il principio di funzionamento di una diraspapigiatrice a rulli, evidenziandone i pregi e i difetti.

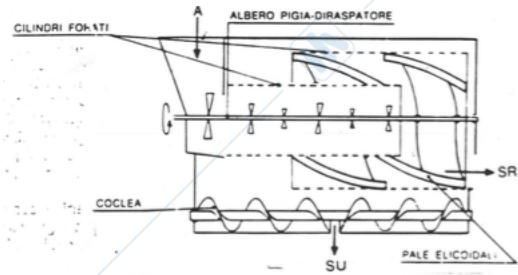
La diraspapigiatrice a rulli esegue il suo lavoro in due momenti distinti: prima diraspa l'uva e successivamente questa viene pigiata. L'uva viene caricata dall'alto e grazie ad una coclea viene convogliata all'interno di un buratto forellato posto in lenta rotazione. All'interno dello stesso ruota, a velocità più elevata (200-350 giri/min), l'albero diraspatore a palette disposte su un profilo elicoidale. I raspi escono dal buratto all'estremità opposta rispetto a quella di carico e gli acini attraversano il cilindro forellato cadendo sui rulli della pigiatrice i quali eseguono la pigiatura. In questo caso è possibile escludere la pigiatura grazie a delle lamiere disposte a tetto che vanno a coprire i rulli e quindi gli acini uscendo dal buratto vengono convogliati direttamente nella vasca di raccolta sottostante. Questa macchina, essendo che esegue prima la diraspatura, necessita che l'albero con palette giri a velocità più sostenuta per eseguire il



lavoro. Grazie alla configurazione della macchina è possibile ottenere il pigiato diraspato, il pigiato non diraspato e anche il diraspato non pigiato, permette inoltre una lavorazione delicata delle uve senza estrazioni eccessive o produzione di fecce indesiderate.

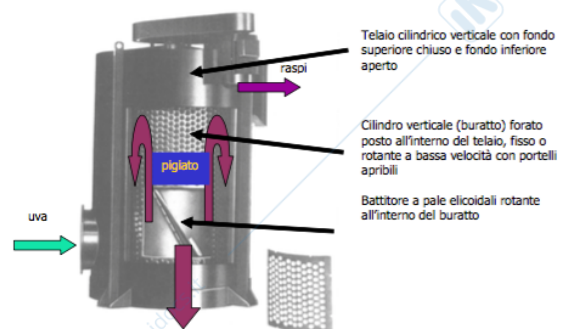
17. Spiegare il principio di funzionamento di una pigiadiraspatrice centrifuga ad asse orizzontale, evidenziandone i pregi e i difetti.

L'uva caricata dall'alto entra nel buratto minore dove, grazie alla velocità sostenuta delle palette viene pigiata. La forza centrifuga spinge il mosto e le bucce ad attraversare i fori i quali ne permettono l'uscita verso la vasca di raccolta. I raspi invece escono dal buratto minore per entrare all'interno di uno più grande dove, grazie a delle pale elicoidali, vengono fatti avanzare verso l'uscita subendo il completo distacco degli acini e l'asciugatura. Questa pigiatrice ha un'elevata capacità lavorativa ma presenta un'azione aggressiva sulle parti solide creando un discreto quantitativo di fecce.



18. Spiegare il principio di funzionamento di una pigiadiraspatrice centrifuga ad asse verticale a caricamento dal basso, evidenziandone i pregi e i difetti.

Inizialmente furono progettate con il caricamento dall'alto ma per scomodità sono state sostituite con quella a caricamento dal basso. Una coclea di alimentazione porta l'uva all'interno della pigiatrice dove viene aspirata all'interno del buratto e grazie all'azione di un cilindro con palette elicoidali l'uva viene pigiata e diraspata. Il pigiato, per forza di gravità, tende a cadere verso il basso in una tramoggia di raccolta dove poi verrà pompato all'esterno mentre i raspi continuano la risalita grazie alle pale elicoidali del battitore. È una macchina vantaggiosa perché occupa poco spazio e consente alte produzioni a costi più bassi ma tende a produrre maggiori quantità di fecce e ad estrarre una quantità maggiore di tannini rispetto alle altre pigiadiraspatrici.



19. Descrivere bene, ripercorrendo l'esperimento del torchietto da laboratorio con le due serie di prove, la prima a tempo infinito variando la pressione e la seconda variando invece la pressione, l'equazione che lega la resa di estrazione durante la pressatura meccanica con la pressione e il tempo (spiegare le varie grandezze e le unità di misura).

L'estrazione di un liquido da una massa come il pigiato d'uva, o le vinacce o ancora l'uva intera, può essere descritta matematicamente.

Si tratta di mettere in correlazione la resa di estrazione η , definita come il rapporto tra massa di liquido estratto e quella complessivamente presente nel pigiato o nelle vinacce, con i parametri fisici del prodotto e con quelli operativi della macchina.

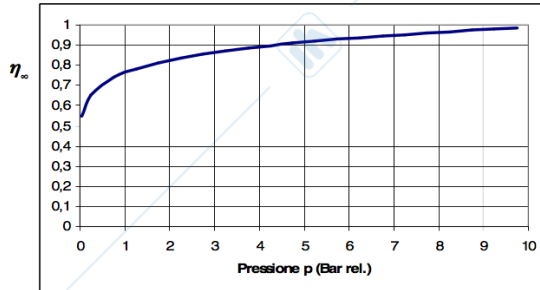
Tra questi ultimi i principali sono la pressione esercitata sul prodotto e il tempo di pressatura, talché la relazione matematica cercata è una funzione del tipo: $\eta = f(p, t)$.

Concentriamo l'attenzione sull'influenza della sola pressione, immaginando di eseguire degli esperimenti al variare della stessa su di un campione di pigiato posto in una semplice pressa da laboratorio a pistone verticale (torchio).

Per evitare l'influenza del tempo ogni esperimento prevede l'esercizio della pressione per un tempo infinito. Nella pratica non sarà possibile, tuttavia se si considera un tempo abbastanza lungo (p.e. di 4 ore) nell'ambito del quale la quantità di liquido estratto è di fatto la stessa del tempo infinito, si riesce ad approssimare questa condizione matematica ($t = \infty$).

Ogni esperimento consiste nel: riempire il torchietto con una data quantità di pigiato; nel sottoporlo a una data pressione; nel misurare la quantità di liquido uscito (estratto); nel calcolare la resa di estrazione η_{∞} come rapporto del liquido estratto con il liquido totale

contenuto nel pigiato. Con il crescere della pressione si ottiene un aumento della resa di estrazione η_{∞} , che però non è linearmente proporzionale con la pressione



La relazione matematica che meglio approssima questo andamento della resa η_{∞} è la seguente

$$\eta_{\infty} = k p^n$$

Dove: k = costante che dipende dal tipo di prodotto e n = esponente minore di uno che dipende dal prodotto.

Il diagramma ci consente in definitiva di osservare che la pressione agisce favorevolmente, come

atteso, però oltre certi valori l'incremento di resa diventa modesto e dopo una decina di bar diventa quasi insignificante. Pertanto non conviene che la macchina operi a pressioni eccessive, anche perché si rischia di estrarre oltretutto composti indesiderati (che danno ad esempio gusti vegetali ed erbacei).

Immaginiamo ora di condurre un esperimento di estrazione con il solito torchietto da laboratorio ad una data pressione ma per un tempo nettamente inferiore al tempo infinito. La quantità di liquido estratta sarà inferiore a quella del tempo infinito a pari pressione. Di conseguenza la resa di estrazione η sarà $\eta < \eta_{\infty}$. Dividendo tutto per η_{∞} si ricava: $\frac{\eta}{\eta_{\infty}} < 1$. Tale disuguaglianza può essere

riscritta come uguaglianza nel modo seguente: $\frac{\eta}{\eta_{\infty}} = 1 - f(t)$, dove $f(t)$ è una funzione del tempo da determinare sperimentalmente con le prove di laboratorio sul torchietto. In altre parole l'esperimento prima descritto viene ripetuto alla stessa pressione cambiando più volte il tempo di pressatura e misurando la resa di estrazione η . Si fa il rapporto con la resa alla stessa pressione ma per il tempo infinito $\frac{\eta}{\eta_{\infty}}$ e lo si mette in relazione con il tempo, ottenendo il seguente diagramma:

L'equazione matematica che meglio approssima questi risultati sperimentali è: $\frac{\eta}{\eta_{\infty}} = 1 - ae^{-bt}$

Dove a, b sono costanti legate al prodotto, e è la funzione esponenziale e t è il tempo.

Osservando il diagramma precedente si deduce che non conviene avere tempi troppo alti poiché il recupero ulteriore di liquido diventa sempre più esiguo, anche perché aumenta il rischio di ossidazione del prodotto.

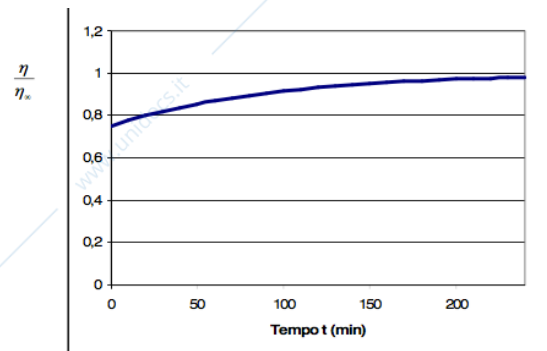
Riscrivendo l'equazione come: $\eta = \eta_{\infty}(1 - ae^{-bt})$

e sapendo che $\eta_{\infty} = k p^n$ allora si ricava l'equazione generale: $\eta = k p^n (1 - ae^{-bt})$

Con i valori delle costanti che dipendono dal prodotto ma per il mosto sono:

- a = 0,25
- b = 0,011
- k = 0,76
- n = 0,11

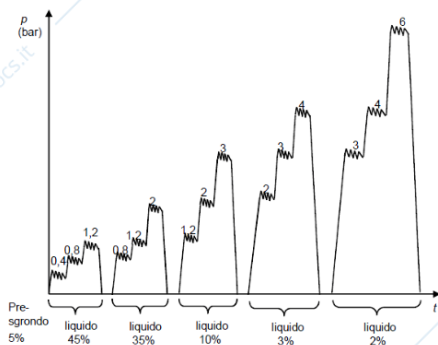
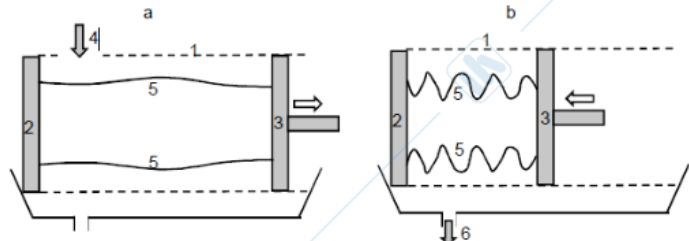
Quando il prodotto viene pressato, esso è disposto in modo tale che solo una parte si trova a contatto con la superficie drenante della pressa. Nelle parti di prodotto distanti, anche se pressate, il liquido fuoriuscito incontra notevoli difficoltà ad attraversare tutto lo strato fino alla superficie drenante della macchina. Questa è una importante concausa dell'andamento delle curve di resa. È previsto allora l'artificio che consiste nel predisporre ciclicamente durante la pressatura delle fasi di sgretolamento e rimescolamento del prodotto. In questo modo nelle presse discontinue (a polmone o a pistone) si riesce ad avere la stessa resa di estrazione con un tempo totale dimezzato.



20. Disegnare lo schema di una pressa a pistone e spiegarne il principio di funzionamento con il diagramma dei cicli di pressione, evidenziandone i pregi e i difetti.

La pressa a pistone è costituita da un cilindro traforato dove alle estremità sono presenti una testata e un pistone che ha il compito di avanzare comprimendo il pigiato all'interno. Tra la testata e il pistone sono presenti dei fili di nylon che servono per favorire lo sgretolamento della vinaccia in fase di rotazione della pressa.

Dopo il caricamento, chiusa la portella, inizia la prima fase di pressatura con il pistone che avanza fino a che la pressione non ha



raggiunto un valore prestabilito (es. 0,4 bar) e programmato nella centralina stessa. Man mano che il liquido fuoriesce dal cilindro traforato, la pressione tende a diminuire. Non appena è calata di una certa quantità (ad es. del 10%) il pistone spinge a sinistra ripristinando la pressione iniziale. Dopo un certo numero di ripristini della pressione (sempre a 0,4) questa tenderà a diminuire con maggior difficoltà, cioè in tempi molto lunghi. Ciò significa che a quella data pressione si è raggiunta la resa prevista. Di più non si può estrarre. Si chiude così la prima fase.

Si passa quindi ad una seconda fase di pressatura prevedendo una pressione maggiore di 0,4 bar, ad esempio di 0,8 bar. Si procede nel modo previsto già per pressioni di 0,4 bar.

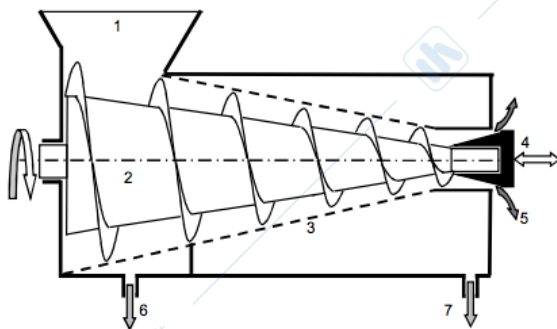
A questo punto la pressione viene innalzata, per la terza fase, ad un valore di 1,2 bar e si ripete la procedura. In sostanza il ciclo è costituito da tre fasi di pressatura con pressione crescente senza intervallo di sgretolamento tra l'una e l'altra.

Quindi si procede ad arretrare il pistone che, con la relativa distensione dei fili di nylon e con una lenta rotazione del cilindro traforato, consente di attuare lo sgretolamento.

Si prosegue poi con una serie di cicli a pressioni crescenti separati dall'operazione di sgretolamento fino ad arrivare ad una pressione di circa 6 bar.

Questa pressa è più economica e meno soggetta a rotture rispetto a quelle a polmone ma produce una quantità di fecce eccessive e provoca un'eccessiva ossigenazione del pressato a causa della gabbia aperta.

21. Disegnare lo schema di una pressa a vite e spiegarne il principio di funzionamento, evidenziandone i pregi e i difetti.



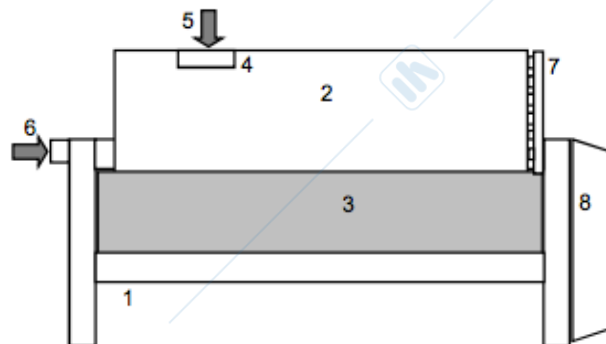
Questa pressa funziona grazie all'azione di una coclea (2) che girando molto lentamente (5-8 giri/min) fa avanzare il pigiato in uno spazio sempre più ridotto per la diminuzione del diametro della vite e del passo determinandone un aumento di pressione. Questo viene favorito anche dal coperchio in uscita delle vinacce (4) il quale può essere regolato: tanto più il coperchio è chiuso, tanto maggiore sarà la difficoltà da parte delle vinacce ad uscire e questo ne determina un aumento di pressione.

Il liquido estratto fuoriesce attraverso la superficie della lamiera traforata tronco-conica (3) che avvolge la vite. Questo presenta una torbidità molto elevata che in fase di vinificazione può essere

svantaggioso. D'altro canto le rese di estrazione sono molto alte con un tempo di pressatura che è ridotto a qualche minuto.

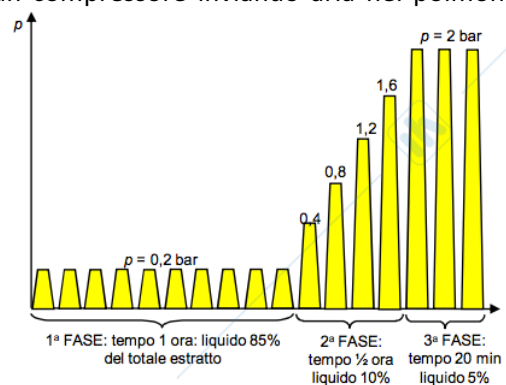
22. Disegnare lo schema di una pressa polmone e spiegarne il principio di funzionamento con il diagramma dei cicli di pressione, evidenziandone i pregi e i difetti.

La pressa a polmone è costituita da un serbatoio cilindrico di acciaio inox (gabbia) di un volume compreso tra 2 e 50 m³ che può ruotare lentamente. All'interno è presente un diaframma (telo) di materiale sintetico fissato diametralmente che divide quindi il serbatoio in due volumi. Un volume che andrà riempito con il prodotto da pressare e presenta, sulla superficie interna, delle canaline longitudinali traforate per permettere la fuoriuscita del liquido. L'altro



volume, detto polmone viene insufflato d'aria in pressione per far sì che il diaframma si deformi contro il prodotto, pressandolo. Il pigiato può entrare nella pressa tramite una valvola assiale (6) oppure mediante caricamento laterale (5) grazie alla presenza di una portella a ghigliottina (4). Dopo il caricamento inizia la fase di pressatura dove un compressore inviando aria nel polmone

crea una pressione nella gabbia di 0,2 bar per un tempo di circa 2-3 minuti nel quale il liquido fuoriesce grazie alla presenza delle canaline. Dopo questo tempo la pressione cala fino a quella atmosferica ed inizia la fase di sgretolamento ottenuto grazie alla rotazione lenta della gabbia per un breve periodo di tempo. Si riprende a comprimere il prodotto alla medesima pressione e si ripetono questi cicli più volte finché lo sgrondo non diminuisce. A questo punto viene aumentata la pressione a 0,4 bar, si esegue lo sgretolamento e si ritorna a preme ad una pressione ancora maggiore, 0,8 bar e si sgretola nuovamente. Si procede ciclicamente aumentando la



pressione gradualmente di 0,2 bar fino al raggiungimento dei 2 bar dove vengono eseguiti alcuni cicli finali. Il tempo di lavoro dura all'incirca 2 ore ma può essere maggiore per prodotti più difficili.

Questo tipo di pressa è vantaggiosa perché permette la lavorazione delle uve in maniera delicata, nel massimo rispetto di alti standard qualitativi e la possibilità di modificare i programmi la rende molto versatile in base alla tipologia di utilizzo e di prodotto. La possibilità di effettuare pressature soffici la rende uno strumento valido nella produzione di basi spumanti e vini bianchi di qualità che richiedono lavorazioni più delicate. La pressatura con sistemi a polmone è una delle metodiche con minor ottenimento di fecce. D'altro canto si tratta di un sistema discontinuo con tempi di pressatura relativamente lunghi. La sanitizzazione richiede un tempo non indifferente, soprattutto se attuata con cura. Il telo è un organo piuttosto sensibile, è necessaria una grande cautela nell'introduzione delle uve o del pigiato: corpi estranei possono concorrere alla bucatura del polmone nel momento del gonfiaggio. Richiedono un investimento in termini monetari non indifferenti e investimenti molteplici nel caso di grandi realtà. È necessario un corretto dimensionamento delle stesse in quanto risulta difficile operare con partite di uve sottodimensionate. Sono piuttosto voluminose e richiedono ampi spazi operativi.

23. Spiegare il principio di funzionamento di una pressa a nastro, evidenziandone i pregi e i difetti.

Il pigiato viene inizialmente caricato in uno sgrondatore con cestello forellato per effettuare una presgrondatura, successivamente passa in un nastro che lo convoglia all'interno della pressa e

grazie all'azione di un secondo nastro posto sopra il primo, viene schiacciato progressivamente fino alla completa spremitura che si ottiene alla fine del percorso dove le vinacce esauste vengono espulse. Il pressato viene raccolto in una vasca sottostante. Questa macchina è in grado di lavorare in continuo in brevi tempi, produce bassa quantità di fecce ed è una pressatura poco aggressiva ma ha una bassa resa di estrazione e è difficile da sanitzare.

24. Sviluppare, partendo dalla legge della dinamica, l'equazione di Stokes sulla sedimentazione, indicando i passaggi matematici e le grandezze in gioco.

Ipotizzando che nel liquido sia presente una particella solitaria (1° ipotesi), in modo tale che il suo moto non sia interferito da altre particelle, questa sarà sottoposta alle seguenti forze:

- Forza peso: mg ;
- Forza di galleggiamento: F_g ;
- Resistenza d'attrito: R .

Applicando il secondo principio della dinamica $\sum \vec{F} = m \vec{a}$ e proiettando la direzione positiva verso il basso avremmo che:

$$mg - F_g - R = ma$$

Dove: m è la massa della particella (kg)

g è l'accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/s}^2$)

a è l'accelerazione della particella (m/s^2)

È stato osservato che la particella, dopo un intervallo di tempo molto piccolo, sedimenta con un moto uniforme. Questo avviene perché durante la breve fase di moto accelerato la resistenza degli attriti R aumenta all'aumentare della velocità fintanto che il suo valore eguaglia la somma algebrica delle altre due forze $mg - F_g$. Dall'istante in cui questo si verifica l'accelerazione risulta nulla e quindi l'equazione diventa:

$$mg - F_g - R = 0 \text{ ovvero } mg = F_g - R$$

Per lo studio della decantazione, la fase di moto accelerato può essere trascurata e può essere quindi esplicitata l'equazione sopra citata considerando che la particella sia sferica (2° ipotesi):

- $mg = \rho_p V g = \rho_p \frac{\pi D^3}{6} g$
- $F_g = \rho_l V g = \rho_l \frac{\pi D^3}{6} g$
- $R = C_d A \rho_l \frac{v^2}{2} = C_d \frac{\pi D^2}{4} \rho_l \frac{v^2}{2}$

Dove: $V = \frac{\pi D^3}{6}$ è il volume della particella sferica (m^3)

ρ_p è la densità della particella (kg/m^3)

ρ_l è la densità del liquido (kg/m^3)

C_d è il coefficiente di resistenza adimensionale

$A = \frac{\pi D^2}{4}$ è la sezione equatoriale della particella (m^2)

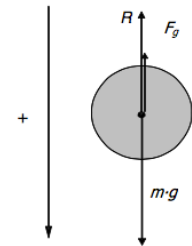
v è la velocità di decantazione (m/s).

Il coefficiente di resistenza C_d dipende dal regime di moto che si instaura nello strato di liquido aderente alla particella, chiamato strato limite. Questo strato può avere tre diversi caratteri: laminare, di transizione o turbolento. Bisogna quindi calcolare in numero di Reynolds per conoscere il moto utilizzando la formula: $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$ dove D è il diametro della particella e μ è la viscosità del

fluido. Nel caso della decantazione dei mosti e vini le particelle sono molto piccole ($10\text{-}170 \mu\text{m}$) e si può ipotizzare quindi che il moto sia sempre laminare (3° ipotesi) e quindi il coefficiente C_d può essere espresso come: $C_d = \frac{24}{Re} = \frac{24\mu}{\rho v D}$. Quindi l'equazione della resistenza R diventerà:

$$R = \frac{24\mu}{\rho v D} \frac{\pi D^2}{4} \rho_l \frac{v^2}{2} = 3 \mu \pi D v$$

Inserendo tutte le equazioni ottenute nella formula iniziale: $mg = F_g - R$ otteniamo:



$$\rho_p \frac{\pi D^3}{6} g = \rho_l \frac{\pi D^3}{6} g - 3 \mu \pi D v$$

Che semplificando e isolando v diventa:

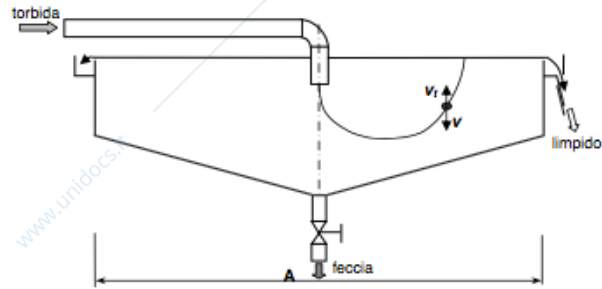
$$v = (\rho_p - \rho_l) \frac{D^2 g}{18 \mu}$$

Questa è l'equazione di Stokes e può essere applicata solo se valgono le tre ipotesi fatte sopra. Nel caso del mosto e del vino può essere utilizzata perché le particelle sono pressoché sferiche, la loro concentrazione è abbastanza bassa da evitare gli scontri in fase di sedimentazione e il moto è sempre laminare.

25. Disegnare e ricavare l'area di base di un sedimentatore statico continuo.

Il sedimentatore viene alimentato in continuo dall'alto e con altrettanta continuità esce il limpido per sfioramento, mentre la feccia viene estratta dal basso. Le singole particelle che devono decantare sono soggette a due azioni:

- La velocità v di sedimentazione calcolata tramite l'equazione di Stokes;
- La velocità v_t di trascinamento verso l'alto assieme al liquido.



Affinché le particelle non inquinino il limpido uscente è necessario che la velocità di decantazione v sia maggiore o uguale a quella di trascinamento: $v \geq v_t$. Considerando il serbatoio come un grande tubo può essere applicata l'espressione della portata $Q = v_t A \rightarrow v_t = \frac{Q}{A}$. Questa può essere inserita nella formula precedente dove risulta: $v \geq \frac{Q}{A}$ e quindi ci si ricava l'area tramite la formula:

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

Questa formula serve per il calcolo dell'area di base del decantatore, cioè per il suo dimensionamento.

26. Disegnare e ricavare l'area di base di un sedimentatore statico discontinuo (3 recipienti).

La velocità di decantazione, oltre che con la legge di Stokes, può essere calcolata tramite la formula: $v = \frac{h}{t_s}$ dove h è l'altezza del serbatoio e t_s è il tempo di sedimentazione incognito. Da questa si può esplicitare:

$t_s = \frac{h}{v}$ dove al posto di v andrà messo il valore determinato con la legge di Stokes.

Il sedimentatore statico discontinuo è formato da tre recipienti uguali, uno in fase di riempimento, uno in fase di decantazione e uno in fase di scarico. Questi tre recipienti devono svolgere le loro azioni nello stesso tempo affinché si possa dire che il sistema è in continuo.

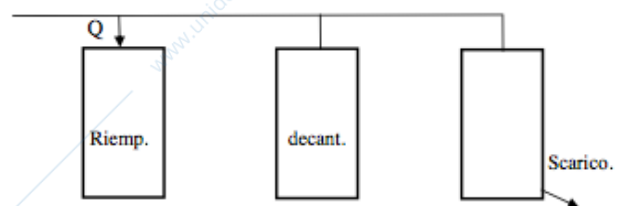
Il recipiente in fase di scarico necessita di un tempo molto minore rispetto agli altri due data l'elevata portata della pompa.

Il recipiente in riempimento dipende dalla portata Q della macchina che lo precede (pressa) e quindi $Q = \frac{V}{t_r}$ dove V è il volume di liquido e t_r è il tempo di riempimento che risulta: $t_r = \frac{V}{Q}$.

Se devono lavorare con gli stessi tempi allora $t_r = t_s \rightarrow \frac{V}{Q} = \frac{h}{v} \rightarrow \frac{hA}{Q} = \frac{h}{v}$ da cui si ricava:

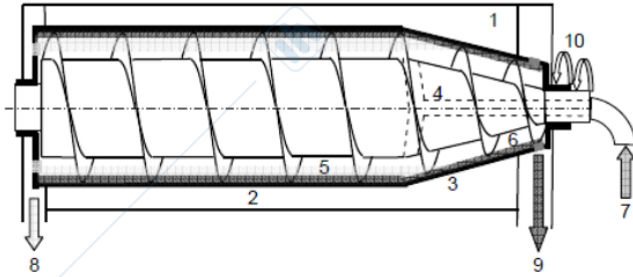
$$A = \frac{Q}{v}$$

Questa è la formula per il calcolo del dimensionamento del decantatore statico discontinuo, reso continuo con la tecnica dei tre serbatoi. Data l'assenza della relazione con l'altezza si può dedurre



che questa può essere diversa nei vari recipienti a patto che il volume rimanga uguale per soddisfare la condizione di continuità.

27. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, il principio di funzionamento di un decanter, indicando poi le caratteristiche d'impiego.



Il decanter è caratteristico per il suo asse rotativo orizzontale. Esso è costituito da un carter al cui interno è presente un tamburo in parte cilindrico e in parte troncoconico (zona chiamata spiaggia), che ruota a circa 4000 giri/minuto. All'interno del tamburo è presente una coclea poggiata su un rotore che ruota con una velocità dai 10 ai 70 giri/min

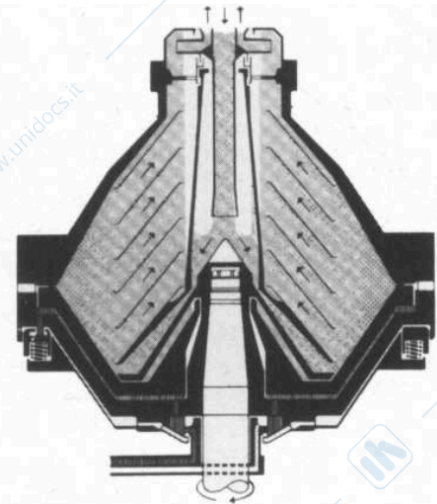
superiori al tamburo. Il rotore è formato da un albero cavo da cui entra il liquido che seguirà una biforcazione che lo porterà all'interno del tamburo. A causa delle differenti velocità di rotazione dei due organi, la parte solida tenderà a spostarsi verso la sezione troncoconica trasportata dal movimento della coclea mentre il liquido pulito permane nel tamburo cilindrico e sgronda tramite dei fori dalla parte opposta della feccia.

La velocità di rotazione della coclea influenza l'asciugatura delle fecce, difatti a velocità minori esce più asciutta perché permane per più tempo all'interno della spiaggia. La feccia viene espulsa tramite dei fori di uscita, chiamati bussole.

Il decanter viene utilizzato soprattutto per la separazione del mosto presente all'interno delle fecce che hanno subito precedentemente una separazione statica con concentrazione di solidi sospesi compresa fra 2% e 60% e non trova un utilizzo nelle altre operazioni di cantina.

28. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, il principio di funzionamento di una centrifuga ad asse verticale, indicando poi le caratteristiche d'impiego.

Le centrifughe ad asse verticale sono formate da un tubo di alimentazione fisso presente all'apice della macchina, attorno al quale sono montati dei dischi di forma conica racchiusi da un doppio tamburo: uno superiore e l'altro inferiore che ha il compito anche di mantenere chiusi i fori di uscita dei fanghi. I dischi e il tamburo ruotano ad una velocità di circa 7500 giri/min e per effetto della forza centrifuga il fluido si dispone verso la periferia per poi risalire lungo gli spazi formati tra un disco e l'altro aventi dimensioni di circa 2 mm. In questi spazi avviene la separazione delle particelle solide le quali aderiscono sulla superficie dei dischi e successivamente scivolano verso la camera di accumulo dei fanghi situata lungo la circonferenza di contatto dei due tamburi. Il liquido limpido, invece, risale verso l'uscita situata superiormente.



Durante il funzionamento, con il passare del tempo, i fanghi si accumulano e bisogna procedere alla loro eliminazione. L'operazione viene eseguita aprendo la camera di accumulo dei fanghi cioè abbassando il tamburo inferiore. I fanghi, dotati di notevole energia grazie alla elevata rotazione, escono repentinamente con una modalità che sembra uno "sparo". Il tamburo inferiore viene mantenuto alto grazie alla presenza di acqua al di sotto di esso, ma al momento dello sparo l'acqua viene tolta dalla camera sottostante permettendo al tamburo inferiore di abbassarsi e di far fuoriuscire i fanghi. Lo sparo può essere comandato secondo tre modalità:

- Tramite un temporizzatore che può essere opportunamente regolato dall'operatore;

- Mediante una fotocellula disposta sulla specula del tubo in uscita del limpido. Quando questa rileva una maggiore torbidità comanda lo sparo;
- Mediante un flussimetro che misura la portata di liquido attraverso un piccolo canale. L'accumulo di depositi ne diminuisce il flusso il quale viene percepito dallo strumento che comanda lo sparo.

Durante lo sparo l'afflusso del mosto deve essere interrotto altrimenti uscirebbero insieme ai fanghi anche notevoli quantità di liquido, il tempo per l'uscita del fango è di circa 15 secondi mentre il tempo di lavoro della macchina varia da 5 a 20 minuti in base alla torbidità del liquido ma per questo la macchina è discontinua.

Questo tipo di centrifughe sono in grado di lavorare con fluidi che possono arrivare al massimo al 10% di solidi sospesi, come ad esempio il mosto, ma in cantina vengono utilizzate anche per l'illimpidimento dei vini e dei vini spumanti con portate che possono raggiungere parecchie decine di m³/h.

29. Cos'è l'area equivalente A_e di un decanter? (spiegare il suo significato, come si determina e, infine, scrivere il legame tra essa e le caratteristiche geometriche e funzionali della macchina).

L'area equivalente di un decanter è l'area minima di un sedimentatore statico, equivalente in termini di capacità e qualità di lavoro ad un decanter. Per descrivere l'area equivalente di un decanter è necessario partire dall'equazione generica per il calcolo dell'area minima del decantatore statico continuo: $A = \frac{Q}{v}$ dove Q rappresenta la portata (m³/h) e v la velocità di decantazione statica calcolabile con Stokes (m/s).

L'equazione per l'area minima è valida a patto che si sostituisca alla velocità v quella di decantazione centrifuga v_c . Pertanto l'area minima del decanter centrifugo sarà: $A_{min_c} = \frac{Q}{v_c}$.

Tuttavia questa formula non è applicabile, poiché la velocità v_c di decantazione centrifuga richiede la preventiva conoscenza della velocità angolare ω con cui ruota il rotore del decanter e del raggio r del tamburo. Questi due dati non sono in possesso dell'enologo che si accinge al dimensionamento. Pertanto l'equazione sopra riportata non si può applicare direttamente. Il problema si risolve fornendo al costruttore (rivenditore) di centrifughe non l'area minima del decanter ma l'area minima di un decantatore statico continuo che operi sullo stesso fluido, con la stessa portata Q e con lo stesso livello qualitativo di illimpidimento raggiunto (diametro delle particelle da sedimentare).

Tale area minima del decantatore statico continuo equivalente al decanter da acquistare, in termini quantitativi e qualitativi, viene proprio chiamato Area equivalente A_e che si calcola tramite la formula:

$$A_e = A_{min} = \frac{Q}{v}$$

Dove la velocità v verrà calcolata tramite l'equazione di Stokes.

Una volta determinata l'area equivalente, il costruttore può determinare l'area minima del decanter tramite la formula:

$$A_{min_c} = \frac{Q}{v_c} = \frac{Q}{v} \frac{v}{v_c} = A_e \frac{g}{\omega^2 r^2}$$

Esiste un legame matematico tra l'area equivalente della centrifuga e i suoi parametri geometrici e operativi:

$$A_e = \frac{2\pi L \omega^2 r^2}{g}$$

Ma questa formula è solamente la relazione teorica che deve necessariamente soddisfare le tre ipotesi (particella sferica, bassa concentrazione di solidi e moto laminare). Nella realtà è presente un fattore di correzione ϕ legato alla concentrazione dei solidi e tende a diminuire all'aumentare dei solidi nel liquido. Inoltre bisogna considerare un moto non laminare attorno allo strato limite della particella, quindi bisognerà abbassare l'esponente di ω a 1,5. La formula diventa dunque:

$$A_{e\text{reale}} = \frac{\varphi \times 2\pi L \omega^{1,5} r^2}{g}$$

30. Che cos'è l'area equivalente di una centrifuga ad asse verticale A_e ? (spiegare il suo significato, come si determina e il legame tra essa e le caratteristiche geometriche e funzionali della macchina).

L'area equivalente di una centrifuga è l'area minima di un sedimentatore statico, equivalente in termini di capacità e qualità di lavoro ad una centrifuga. Viene calcolata tramite la formula:

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

dove Q è la portata di liquido mentre v è la velocità di sedimentazione statica calcolata tramite la legge di Stokes. L'area equivalente riassume le prestazioni quanti-qualitative della macchina: quantitative perché considera la portata e qualitative perché la velocità dipende dal diametro delle particelle che si vogliono separare, ovvero il grado di illimpidimento che si vuole ottenere.

Esiste un legame matematico tra l'area equivalente della centrifuga e i suoi parametri geometrici e operativi:

$$A_e = \frac{2\pi}{3} z \operatorname{tg} \alpha \frac{\omega^2}{g} (R_e^3 - R_i^3)$$

Questa equazione però è teorica perché non vengono rispettate le ipotesi fatte nello sviluppo della legge di Stokes. Questa equazione diventa allora:

$$A_e = K z \operatorname{tg} \alpha \frac{\omega^{1,5}}{g} (R_e^{2,75} - R_i^{2,75})$$

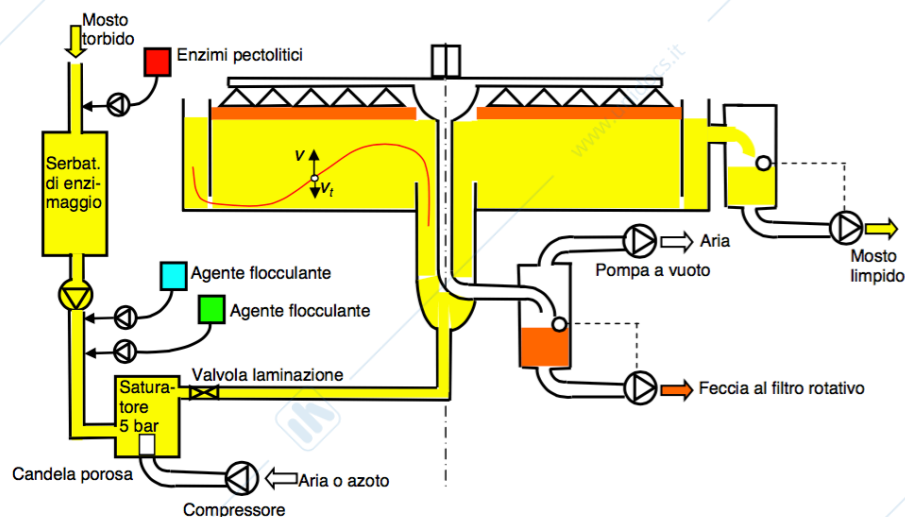
Dove: z è il numero di dischi;

L'angolo α dei dischi è di 45° ;

R_e e R_i sono il raggio esterno e interno dei dischi;

ω è la velocità angolare.

31. Disegnare lo schema funzionale di un flottatore, indicando i vari elementi costruttivi dell'impianto.



Il mosto sgrondato passa per un filtro a spazzole autopulente, dove subisce una prima separazione dalle particelle più grossolane sospese. Successivamente entra nel serbatoio di enzimaggio dove vengono aggiunti gli enzimi pectolitici e rimane per un certo periodo di tempo affinché gli enzimi diminuiscano la viscosità. Segue la stazione di preparazione e dosaggio degli agenti flocculanti (sol di silice o bentonite e gelatina) i quali favoriscono l'adesione delle microbolle e formano dei fiocchi leggeri all'interno del quale si intrappolano le microbolle di gas.

Il mosto in seguito viene inviato ad un saturatore verticale a colonna dove si pressurizza con aria sterile o azoto, inviata con un compressore alla pressione di 4 - 5 bar. Il saturatore fa anche da

polmone per dare tempo agli agenti flocculanti precedentemente iniettati di agire. Da qui il mosto torbido passa alla vasca di flottazione, dove la diminuzione di pressione, dovuta alla valvola di laminazione, forma delle piccolissime bollicine di modo che il moto verso l'alto sia caratterizzato da un regime nello strato limite di tipo laminare che massimizza il processo di flottazione. L'introduzione del mosto avviene nella zona centrale, dalla quale il liquido si distribuisce con velocità decrescente alla periferia della cella. Da questa passa attraverso un'apertura alla base della vasca verso una corona più esterna dove si raccoglie il limpido. In questo modo, lo spostamento della particella verso l'alto viene scarsamente influenzato dalla velocità orizzontale del fluido.

Il limpido, con una percentuale di solidi compresa tra 0,1 e 1%, si travasa in un serbatoio laterale alla vasca, dal quale viene asportato da una pompa. L'impianto poi lavora aspirando la schiuma, costituita da feccia umida (circa il 40% di solidi) e gas inglobato, tramite un sistema di bocchette rotanti, sostenute da un braccio motorizzato. A queste è abbinata una pompa del vuoto che permette l'aspirazione della feccia e il trasporto verso un filtro rotativo, un decanter oppure ad un filtro tangenziale su membrana.

32. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, la struttura di un fermentino verticale, indicando in particolare i tipi di sistemi di rimontaggio, di irrorazione del cappello e di scarico delle vinacce.

Il fermentino, detto anche vinificatore, è un recipiente cilindrico verticale di acciaio inox che presenta un fondo a becco di luccio, troncoconico o piatto in funzione delle sue dimensioni. Questo può poggiare su 4 supporti chiamati gambe oppure appoggiare completamente per terra se la sua capacità è maggiore di 500 hl. Il vinificatore è dotato di alcune attrezzature normalmente presenti in tutti i recipienti di cantina che sono:

- Portella sul fondo della vasca per permettere lo scarico delle vinacce e l'entrata dell'operatore;
- Un duomo presente all'apice del cielo conico con relativo chiusino e valvola di sfiato;
- Valvole di scarico totale e parziale;
- Tubo segna livello;
- Valvola preleva campioni;
- Termometro.

Ma, dovendo trattare il mosto-vino in presenza di bucce e vinaccioli, deve essere dotato anche di accessori per il rimontaggio, per l'irrorazione del cappello di vinacce e per lo scarico delle stesse a fine fermentazione.

Accessori per il rimontaggio: il rimontaggio consiste nel prelievo di una parte del liquido alla base del fermentino per portarlo sulla sommità dove si è formato il cappello di vinacce con lo scopo di sgretolarlo e aumentare l'estrazione dei composti dalle bucce. Sulla valvola di aspirazione del liquido è presente una rete drenante che impedisce il passaggio di eventuali parti solide che potrebbero intasare la tubazione. Quest'ultima è presente generalmente all'esterno del fermentino ed è collegata ad una pompa che preleva il liquido e lo manda fino in cima al vinificatore. Questa pompa può essere indipendente se viene utilizzata una normale pompa presente in cantina oppure può essere fissa, ovvero predisposta solo per il lavoro di rimontaggio. In questo caso è da preferire una pompa poco costosa, generalmente a palette flessibili, che presenti anche una bassa prevalenza dato il minimo lavoro che deve svolgere. Per automatizzare i cicli di rimontaggio è anche presente un temporizzatore regolabile dall'operatore.

Sistemi di irrorazione del cappello: il requisito fondamentale è la bagnatura uniforme del cappello delle vinacce, la quale può essere fatta tramite diversi irroratori:

- Irroratori fissi: a doccia, a piatto, a castello o a raggera che offrono bagnature non sempre uniformi e rischio di intasamenti;
- Irrorazione a cascata: è presente un recipiente superiore che viene riempito di liquido il quale viene successivamente fatto uscire attraverso una valvola che permette la bagnatura delle vinacce;

- Irroratori girevoli: sistemi di irrorazione rotativi a comando meccanico oppure tramite la semplice pressione del liquido in uscita tramite dei getti;
- Follatori: il follatore è costituito da due pale orizzontali fissate su di un asse centrale comandato da un pistone. Questo permette l'abbassamento delle pale che sommergono il cappello di vinacce nel liquido.

Sistemi di scarico delle vinacce: il sistema di scarico delle vinacce dipende dal tipo di vinificatore:

- Scarico a becco di luccio, con capacità inferiori a 200 hl. In questi fermentini può essere montato un fondo inclinato che permette lo scivolamento delle vinacce verso la portella senza nessuna azione meccanica;
- Scarico automatizzato dall'alto, con capacità inferiori a 500 hl. Nato per i fermentini poggiato completamente a terra, grazie all'azione di una coclea alimentata da due rastrelli rotanti posizionata in alto, il cappello di vinacce viene asportato all'esterno del vinificatore;
- Scarico meccanizzato dal basso, per capacità superiori a 200 hl. È presente un estrattore sul fondo della vasca il quale è formato da due pale che girano e trasportano tutta la vinaccia verso la portella sul fondo.

33. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, il funzionamento di un fermentino rotante, indicando poi i pregi e i difetti.

Sono realizzati da un recipiente cilindrico orizzontale in acciaio inox rotante sul suo asse longitudinale a velocità regolabile fino ad un massimo di 1,65 giri/min. Hanno una forma cilindrica da un lato e troncoconica dall'altro chiusa da una portella che si apre assialmente per lo scarico delle vinacce.

Il recipiente, che può avere capacità da 50 a 700 hl, poggia su un telaio di sostegno che ne consente la rotazione. La rotazione in un senso permette il rimescolamento e la sommersione del cappello delle vinacce, grazie alla presenza di una spirale fissata alla parete. Nell'altro, sempre in virtù della spirale, lo scarico finale delle vinacce attraverso la portella assiale aperta. Un'altra portella, con apertura scorrevole, è situata sul mantello del cilindro per il carico del pigiato. Sul mantello sono anche presenti delle tasche per il termo condizionamento. È presente una valvola alla base della sezione troncoconica che è collegata all'interno di una canalina dalla quale sgronda il liquido. La CO₂ viene eliminata attraverso una valvola con dispositivo di sicurezza che consente l'apertura quando si trova in posizione superiore.

Con questo tipo di fermentino si può attuare un'azione delicata sulle bucce con ridotta produzione di feccia e una buona estrazione del colore, vengono ridotti i tempi di macerazione e può essere impiegato anche per le macerazioni pellicolari. Per contro ha che occupa più spazio, ha un maggior costo di investimento e permette una scarsa ossigenazione della massa.

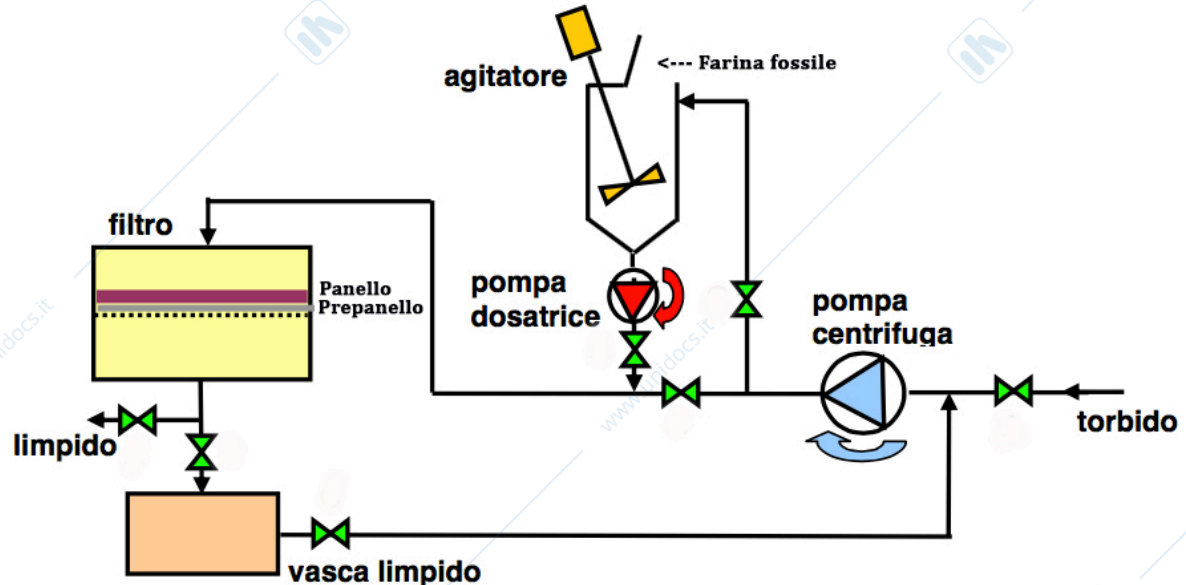
34. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, il funzionamento di un fermentino ganimede, indicando poi i pregi e i difetti.

Si tratta di un recipiente cilindrico verticale al cui interno è posto un diaframma ad imbuto che rende comunicante la parte inferiore con quella superiore del fermentino. Un ulteriore collegamento tra i due spazi si realizza con una valvola by-pass. Durante il riempimento, la valvola by-pass viene chiusa e la zona sottostante al diaframma rimane vuota perché l'aria presente non riesce ad uscire.

In fase di fermentazione viene prodotta CO₂ la quale tende a spingere fuori l'aria da sotto il diaframma creando delle bolle abbastanza grandi da permettere il mescolamento del cappello di vinacce. La rottura del cappello viene inoltre eseguita tramite l'apertura della valvola by-pass che permette il passaggio del gas dalla parte inferiore a quella superiore del diaframma. A questo punto la parte sottostante al diaframma si presenterà piena di liquido, ma per effetto della produzione di gas, questo ritornerà ad incamerarsi nell'intercapedine e potrà essere riutilizzato nuovamente per la rottura del cappello. Questa operazione può essere effettuata anche in assenza di fermentazione, basterà insufflare all'interno una dose adeguata di gas tecnico.

La rottura del cappello tramite il gas permette una disgregazione morbida con ridotta produzione di feccia. I vinaccioli possono essere facilmente estratti dal fondo attraverso la valvola di scarico totale. Per contro, questo tipo di fermentino, a differenza di quello verticale semplice, ha un costo molto elevato e non sempre è conveniente sostenere una spesa così eccessiva.

35. Disegnare e spiegare lo schema di filtrazione a prepanello e alluvionaggio.



Inizialmente viene preparato il prepanello predisponendo una sospensione di farina fossile su un liquido limpido. Questo viene pompato da una pompa centrifuga all'interno del serbatoio del filtro con agitatore per mantenere la farina in sospensione. Oltre all'inserimento del liquido limpido, vengono aggiunti 700 g/m^2 di farina fossile per ottenere un prepanello di 2 mm.

Successivamente viene effettuata la preparazione del prepanello tramite l'azionamento della pompa dosatrice che inietta la sospensione di farina fossile nel tubo principale in cui scorre il liquido limpido in circuito chiuso tra la vasca e il filtro. La pompa dosatrice è una pompa a membrana perché, essendo volumetrica, è più precisa; inoltre non viene rovinata dalla sospensione di farina perché quest'ultima non entra in contatto con organi meccanici.

Una volta formato il prepanello, viene riempito nuovamente il serbatoio e viene aggiunta altra farina fossile, in questo caso però, a dosi comprese fra 50 e 250 g/hl, in base a dei calcoli effettuati in precedenza tramite la teoria della filtrazione. Questa operazione viene chiamata alluvionaggio.

A questo punto viene bloccato l'afflusso di liquido limpido e viene fatta entrare la torbida che, dopo essere stata alluvionata, entra nella camera del filtro dove verrà filtrata ed uscirà il limpido che viene mandato in una vasca.

36. Con le ipotesi di: filtrazione a pressione costante, deposito rigido ($\alpha = \text{costante}$), resistenza del supporto trascurabile, sviluppare la teoria della filtrazione e quindi indicare la formula per il calcolo dell'area del filtro.

Darcy ha proposto la seguente relazione che correla la portata di filtrato ai parametri geometrici e funzionali del filtro e ai materiali:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{K A \Delta P}{\mu l}$$

Dove:

$Q = \frac{dV}{dt}$: portata istantanea (m^3/s);

A : superficie del filtro (m^2);

ΔP : differenza di pressione attraverso il mezzo filtrante (Pa);

μ : viscosità del filtrato (Pa s);

l : spessore dello strato filtrante (m);

K : permeabilità specifica del setto filtrante (m^2 , ma per comodità è stata creata l'unità di misura *darcy* che corrisponde a circa $10^{-12} m^2$).

Durante la filtrazione, le grandezze a destra dell'equazione sono costanti, tranne lo spessore l dello strato di deposito che aumenta con il passare del tempo per effetto del continuo depositarsi di feccia e farina fossile.

L'equazione di Darcy può essere scritta anche:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu R_t}$$

Dove R_t è la resistenza totale del mezzo filtrante che equivale al rapporto $\frac{l}{K}$.

La resistenza totale R_t è la somma di due contributi: la resistenza del supporto, ovvero del telo e del prepanello (R) e la resistenza del deposito dovuto alla feccia e la farina fossile (R_d). Ma essendo che R è una quantità costante e molto piccola rispetto ad R_d , può essere trascurata. La resistenza R_d , invece, varia nel tempo e aumenta all'aumentare dello spessore del deposito.

Definendo s come il deposito specifico (kg/m^2) ed α la resistenza specifica (m/kg), la quale dipende dal numero di canalicoli formati e dalla loro dimensione, si può affermare che la resistenza del deposito è: $R_d = s \alpha$ e l'equazione di Darcy diventerà:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu s \alpha}$$

Eseguendo un bilancio di massa è possibile ricavare il deposito specifico s in funzione del volume V di torbida passata per il filtro. Supponendo di considerare un intervallo di tempo Δt durante il quale passa un certo volume V di filtrato. Poiché il volume V (m^3) conteneva, prima del passaggio attraverso il filtro, una frazione di solidi (feccia + farina fossile alluvionata), pari alla concentrazione c espressa in (kg solidi/ m^3), la massa totale m_t (kg) di solidi presenti nella torbida che è passata nell'intervallo Δt è: $m_t = c V$.

Questa quantità m_t sarà finita a fare lo strato di deposito il quale sarà caratterizzato da un'estensione superficiale pari all'area del filtro A e da una massa specifica s per unità di area (deposito specifico). Cioè: $m_t = s A$.

In definitiva in bilancio di massa m_t dà: $c V = s A$ da cui si ricava $s = \frac{c V}{A}$ e quindi l'equazione di Darcy diventa:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c V \alpha}$$

Portando il volume nella forma finita ed infinitesima dallo stesso lato si ha:

$$V dV = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} dt$$

Integrando:

$$\int V dV = \int \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} dt$$

Risolvendo l'integrale risulta si arriva alla cosiddetta equazione di Carman:

$$\frac{V^2}{2} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} t$$

A partire da questa equazione è possibile ricavare l'area del filtro:

$$A = \sqrt{\frac{V^2 \mu c \alpha}{2 \Delta P t}}$$

Per poterla calcolare bisogna essere a conoscenza della differenza di pressione sul mezzo filtrante, del volume di torbida da filtrare, del tempo in cui si vuole svolgere il lavoro, della viscosità del liquido, della concentrazione di solidi sospesi e della resistenza specifica.

37. Con le ipotesi di: filtrazione a pressione costante, deposito rigido ($\alpha = \text{costante}$), resistenza del supporto trascurabile, sviluppare la teoria della filtrazione segnalando i passaggi matematici e le varie grandezze e quindi indicare il metodo per la determinazione della quantità ottimale di coadiuvante di filtrazione per l'alluvionaggio.

Darcy ha proposto la seguente relazione che correla la portata di filtrato ai parametri geometrici e funzionali del filtro e ai materiali:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{K A \Delta P}{\mu l}$$

Dove:

$Q = \frac{dV}{dt}$: portata istantanea (m^3/s);

A : superficie del filtro (m^2);

ΔP : differenza di pressione attraverso il mezzo filtrante (Pa);

μ : viscosità del filtrato (Pa s);

l : spessore dello strato filtrante (m);

K : permeabilità specifica del setto filtrante (m^2 , ma per comodità è stata creata l'unità di misura *darcy* che corrisponde a circa 10^{-12}m^2).

Durante la filtrazione, le grandezze a destra dell'equazione sono costanti, tranne lo spessore l dello strato di deposito che aumenta con il passare del tempo per effetto del continuo depositarsi di feccia e farina fossile.

L'equazione di Darcy può essere scritta anche:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu R_t}$$

Dove R_t è la resistenza totale del mezzo filtrante che equivale al rapporto $\frac{l}{K}$.

La resistenza totale R_t è la somma di due contributi: la resistenza del supporto, ovvero del telo e del prepanello (R) e la resistenza del deposito dovuto alla feccia e la farina fossile (R_d). Ma essendo che R è una quantità costante e molto piccola rispetto ad R_d , può essere trascurata. La resistenza R_d , invece, varia nel tempo e aumenta all'aumentare dello spessore del deposito.

Definendo s come il deposito specifico (kg/m^2) ed α la resistenza specifica (m/kg), la quale dipende dal numero di canali formati e dalla loro dimensione, si può affermare che la resistenza del deposito è: $R_d = s \alpha$ e l'equazione di Darcy diventerà:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu s \alpha}$$

Eseguendo un bilancio di massa è possibile ricavare il deposito specifico s in funzione del volume V di torbida passata per il filtro. Supponendo di considerare un intervallo di tempo Δt durante il quale passa un certo volume V di filtrato. Poiché il volume V (m^3) conteneva, prima del passaggio attraverso il filtro, una frazione di solidi (feccia + farina fossile alluvionata), pari alla concentrazione c espressa in ($\text{kg solidi}/\text{m}^3$), la massa totale m_t (kg) di solidi presenti nella torbida che è passata nell'intervallo Δt è: $m_t = c V$.

Questa quantità m_t sarà finita a fare lo strato di deposito il quale sarà caratterizzato da un'estensione superficiale pari all'area del filtro A e da una massa specifica s per unità di area (deposito specifico). Cioè: $m_t = s A$.

In definitiva in bilancio di massa m_t dà: $c V = s A$ da cui si ricava $s = \frac{c V}{A}$ e quindi l'equazione di Darcy diventa:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c V \alpha}$$

Portando il volume nella forma finita ed infinitesima dallo stesso lato si ha:

$$V dV = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} dt$$

Integrando:

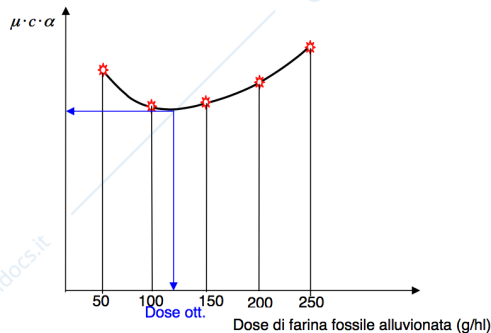
$$\int V dV = \int \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} dt$$

Risolvendo l'integrale risulta si arriva alla cosiddetta equazione di Carman:

$$\frac{V^2}{2} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu c \alpha} t$$

A partire da questa ci si può ricavare il valore di $\mu c \alpha$ come una singola grandezza tramite delle prove in laboratorio con un filtro pilota di cui conosciamo l'area A_p , la differenza di pressione ΔP , il tempo di filtrazione t_p e il volume di liquido filtrato V_p :

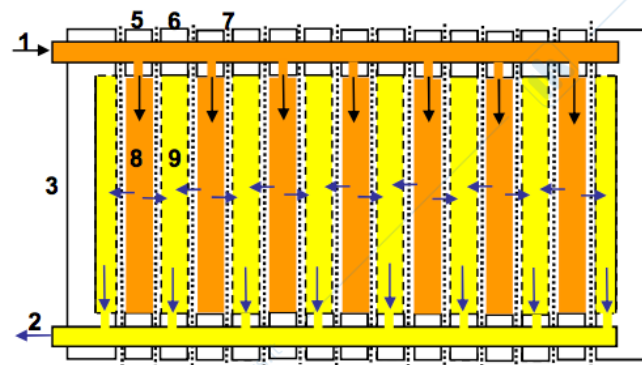
$$\mu c \alpha = \frac{2 A_p^2 \Delta P t_p}{V_p^2}$$



Per scegliere la dose ottimale di farina fossile da utilizzare, possono essere eseguite 5 prove diverse con concentrazioni aumentate di 50 g/hl di farina nel range tra 50 e 250 g/hl. Nelle varie prove verranno trovati dei valori di $\mu c \alpha$. All'aumentare della dose di farina si verifica un calo di $\mu c \alpha$ fino ad una certa concentrazione e successivamente ricomincia a crescere, la dose ottimale è il punto più basso della pancia della curva.

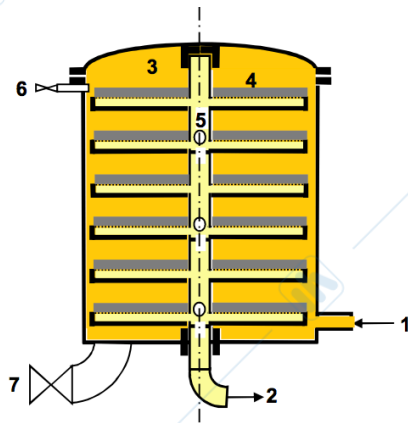
38. Descrivere , anche con l'aiuto di un semplice schema, un filtro pressa indicandone poi i vantaggi e gli svantaggi.

Un esempio di filtro-pressa è quello a piastre e telai. Formato da due piastroni, uno fisso e uno mobile collegati attraverso due longheroni che permettono il movimento del piastrone mobile. All'interno vengono posizionate le piastre in plastica o acciaio inox che presentano gli appoggi per i telai i quali vengono posizionati alternativamente alle piastre. Interposti fra i telai e le piastre vi sono i teli di fibra sintetica che supportano il prepanello e il deposito di feccia e farina fossile alluvionata. Piastre, telai e teli presentano delle orecchiette per l'appoggio sui longheroni. Prima di procedere con la filtrazione viene fatto avanzare il piastrone mobile, tramite una vite o un martinetto idraulico, il quale ha il compito mantenere il tutto pressato e garantirne la tenuta. Una volta fatto questo, viene inserito il liquido alluvionato il quale entrerà attraverso i telai e grazie alla pressione (4-5 Bar) passerà il pannello entrando nelle piastre e successivamente uscirà filtrato. Questi filtri hanno il pregio di avere una semplicità costruttiva, una buona affidabilità e versatilità e costi di acquisto bassi. Per contro hanno rischi di perdite, assente meccanizzazione della pulizia e pannello instabile per la posizione verticale.



39. Descrivere , anche con l'aiuto di un semplice schema, un filtro a camera di pressione a piatti indicandone poi i vantaggi e gli svantaggi.

Questo filtro presenta una camera cilindrica verticale chiusa entro il quale viene inviata la torbida tramite una pompa centrifuga. All'interno della camera sono presenti dei piatti i quali presentano un telo per il supporto del prepanello e del deposito. Questi piatti sono fissati ad un collettore centrale di raccolta del filtrato che passa attraverso il pannello e finisce nello spazio interno del piatto. All'interno del collettore centrale sono presenti delle valvole a galleggiate che durante la fase di filtrazione della torbida residua nella camera impediscono l'uscita dell'aria compressa inviata all'interno per sostituire la pressione precedentemente generata dalla pompa. Una volta svuotata la camera di filtrazione è necessario eliminare il deposito sui piatti, questo viene fatto mettendo in rotazione il tubo centrale e i piatti facendo sì che il deposito si stacchi e cada verso il



basso dove è presente una valvola di scarico. Per facilitare ulteriormente l'operazione viene inviata dell'acqua di lavaggio in controcorrente che elimina tutte le eventuali particelle depositate.

La pressione di esercizio è compresa fra 5 e 8 Bar con superfici filtranti che variano da pochi m^2 fino anche a superare i $100 m^2$.

Questi filtri sono abbastanza affidabili, hanno una buona tenuta, pannello stabile e pulizia meccanizzata ma presentano un costo iniziale abbastanza alto dovuto anche alla complessità costruttiva.

40. Descrivere le caratteristiche dei principali coadiuvanti di filtrazione.

I coadiuvanti di filtrazione utilizzati in enologia devono avere delle caratteristiche quali: essere delle polveri rigide, avere una porosità più alta possibile, ed avere un'ampia gamma di granulometrie per fronteggiare i vari livelli di filtrazione. Inoltre devono avere una capacità di attrazione elettrostatica per l'attrazione delle particelle della torbida e devono essere delle sostanze chimicamente inerti. I principali coadiuvanti di filtrazione sono:

Farina fossile: sono rocce sedimentarie costituite da scheletri di alghe unicellulari a forma di semigusci. Il minerale estratto subisce una macinazione e viene diviso in diverse granulometrie di colore grigio. Questo può subire anche una calcinatura assumendo un colore rosato e aumentandone le dimensioni. La calcinatura può essere eseguita anche in presenza di sali di sodio ottenendo un'ulteriore agglomerazione e un colore bianco. Questi tipi di trattamento determinano una diversa granulometria. La superficie specifica varia da 2 a $40 m^2/g$ con una porosità che supera l'80% e una densità di $250-350 kg/m^3$.

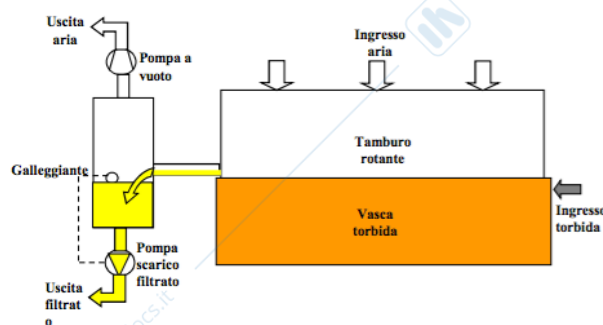
Perlite: minerale di origine vulcanica costituito per il 75% da silice e il resto da ossido di alluminio e acqua. Viene riscaldato a $900 ^\circ C$ per permetterne un'espansione con forma porosa molto leggera. Questa viene macinata dando origine alla perlite. È meno costosa e viene utilizzata principalmente nei filtri a tamburo rotativo in depressione perché il consumo di coadiuvante è molto elevato. Presenta una densità compresa fra 30 e $150 kg/m^3$.

Cellulosa: prodotto polverulento a forma di fibre lunghe e spesse ottenuto dal legno. Ha una superficie specifica di circa $10 m^2/g$ ed è carica positivamente consentendo una buona filtrazione in profondità per attrazione elettrostatica. Questo coadiuvante viene utilizzato in miscela con le farine o le perlitite perché aumenta la coesione dei pannelli riducendone lo sgretolamento e agevola l'ancoraggio ai teli di supporto nella preparazione dei prepanelli. Sempre in miscela con altri coadiuvanti, è utilizzata per la preparazione dei cartoni filtranti

41. Descrivere, anche con l'aiuto di un semplice schema, il filtro a tamburo in depressione.

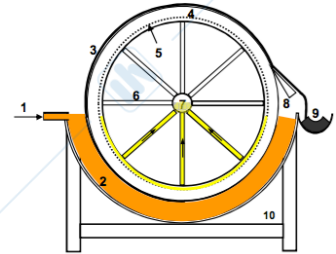
Indicare pregi e difetti dello stesso.

È costituito da un tamburo cilindrico posto in lenta rotazione durante la filtrazione. All'interno è



presente un albero cavo che supporta dei tubi sottili disposti a raggiera che servono per l'aspirazione e il trasporto del filtrato. Queste raggere si dispongono ad una distanza di circa $1 m$ e all'apice dei tubi presentano degli anelli di irrigidimento sui quali poggia una rete finissima metallica che farà da supporto per il prepanello. L'albero cavo è collegato ad una pompa del vuoto che crea una depressione all'interno del

tamburo che permette l'aspirazione della torbida la quale si trova a pressione atmosferica in un recipiente dove il tamburo ne è immerso per circa metà della sua superficie. Il filtro presenta inoltre una lama raschiante che serve per asportare la parte di prepanello ricca di fanghi trattenuti. Come prima operazione viene preparato il prepanello creando una sospensione di farina fossile e acqua, questo a differenza degli altri filtri è molto più spesso, 80-100 mm, e impiega più tempo a formarsi. In fase di filtrazione il prepanello formato non rimane sempre a contatto con la torbida perché il tamburo ruota, per questo motivo ogni cm^2 di superficie del filtro è sottoposto al passaggio del filtrato per un tempo assai contenuto e dopo essere emerso verrà sottoposto al passaggio dell'aria che viene aspirata all'interno del tamburo e consente l'essiccazione del deposito trattenuto dal prepanello in modo che sia compatto e asciutto per favorire il taglio.

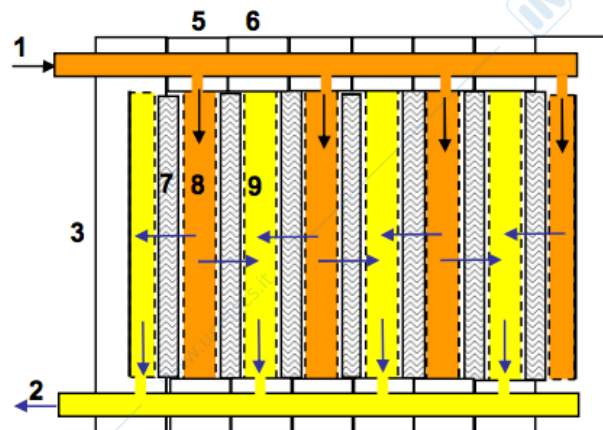


Il tempo di filtrazione prima dell'esaurimento del prepanello è di circa 25-30 ore in base a quanta farina viene raschiata e per questo motivo può essere definito filtro in continuo. Lavora con differenze di pressioni variabili da 0,8 a 0,2 Bar, i giri del tamburo vanno da 0,1 a 2 giri/min e possono filtrare torbide con concentrazioni di solidi da 0,1% fino a 40%.

La versatilità in riferimento alla concentrazione dei solidi è uno dei vantaggi, ma anche la meccanizzazione nella pulizia, la possibilità di filtrare la torbida residua, la stabilità del pannello e l'autonomia di funzionamento. Ha per contro la complessità costruttiva, gli alti costi di investimento e l'elevato consumo di coadiuvante.

42. Descrivere, anche con l'aiuto di un semplice schema, il filtro pressa per la microfiltrazione su cartoni.

Formato da due piastroni, uno fisso e uno mobile collegati attraverso due longheroni che permettono il movimento del piastrone mobile. All'interno vengono posizionate le piastre in plastica o acciaio inox che formano la camera della torbida e quella per la raccolta del filtrato, inoltre servono da supporto ai cartoni filtranti. Questi cartoni filtrano liquido con concentrazioni di solidi sospesi compresa fra 0,01 e 0,2% effettuando una filtrazione chiarificante, brillantante o sterilizzante. Un liquido più torbido dovrà essere prima filtrato con il prepanello e alluvionaggio. Il piastrone mobile spinto dalle vite o dal martinetto idraulico va a chiudere il tutto intrappolando i cartoni filtranti tra le piastre, a questo punto viene inviato il liquido il quale entra nella camera della torbida, attraversa i cartoni e viene accumulato nelle piastre di raccolta del filtrato e successivamente inviato all'uscita. La pressione di lavoro di questo filtro non può superare i 2-2,5 Bar per questioni di resistenza meccanica dei cartoni.



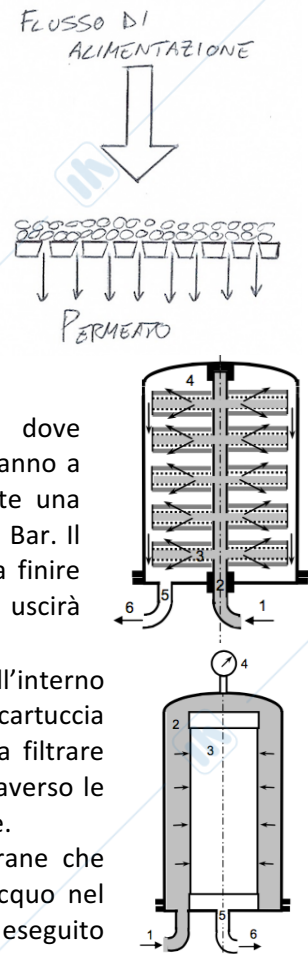
Questi filtri hanno il pregio di avere una semplicità costruttiva, una buona affidabilità e versatilità e costi di acquisto bassi. Per contro hanno rischi di perdite, assente meccanizzazione della pulizia e pannello instabile per la posizione verticale.

43. Spiegare le caratteristiche della microfiltrazione frontale su membrana, indicando il principio di funzionamento anche con l'aiuto di un semplice schema, gli assemblaggi delle membrane e le modalità di lavaggio.

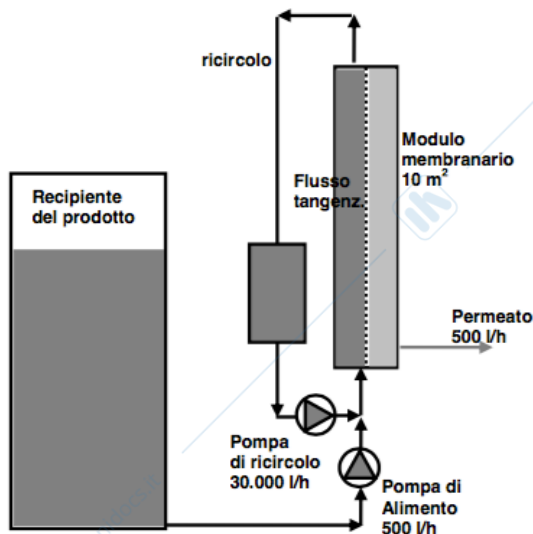
Il prodotto da microfiltrare viene inviato frontalmente alla superficie della membrana e le particelle vengono trattenute sulla superficie di essa perché più grandi dei pori. Lo spessore della membrana è di circa 0,2-0,3 mm e i pori presentano un diametro crescente verso l'uscita del permeato in modo da impedire l'intasamento e facilitare il lavaggio. La membrana necessita di poggiare su una struttura solida dato lo spessore ridotto, altrimenti si romperebbe. Il prodotto che viene inviato a questo tipo di filtro deve essere preventivamente filtrato in modo almeno chiarificante, ovvero non deve contenere più dello 0,1% di solidi sospesi. Esistono due tipi di microfiltrazione frontale su membrana:

- Configurazione a piatti: formata da una camera cilindrica dove all'interno sono disposte le membrane con il rivestimento che vanno a formare dei piatti. Il flusso entra dal collettore centrale tramite una pompa che fornisce una pressione intramembranaria di circa 1-2 Bar. Il liquido entra nei piatti, passa frontalmente le membrane e va a finire nella camera cilindrica (a pressione atmosferica) dalla quale poi uscirà tramite una valvola presente nel fondo;
- Configurazione a cartucce: costituito da una camera cilindrica all'interno della quale sono presenti delle membrane cilindriche disposte a cartuccia (candela) fissate nella parte inferiore della camera. Il liquido da filtrare viene inserito nella camera che è quindi in pressione, passa attraverso le candele ed esce come microfiltrato dal basso tramite un collettore.

Alla fine di ogni ciclo di microfiltrazione bisogna rigenerare le membrane che sicuramente saranno colmate. Si procede quindi con un primo risciacquo nel senso della filtrazione con acqua a 20°C e 5 Bar, successivamente viene eseguito un secondo risciacquo con acqua calda a 55-80°C e 2 Bar ed infine un risciacquo conclusivo nel senso opposto alla filtrazione con acqua fredda a bassa pressione (0,5 Bar) per evitare la rottura della membrana.



44. Disegnare l'impianto (in batch) di microfiltrazione tangenziale, spiegarne il principio di funzionamento, i materiali delle membrane e i metodi di pulizia.



La microfiltrazione tangenziale viene effettuata realizzando un elevato flusso di ritenuto che scorre tangenzialmente alla membrana. Il filtro è costituito da una pompa di alimentazione centrifuga che genera una portata di 500 L/h ed una pressione di 2,5 Bar, di cui 1,5 serve per formare la pressione intramembranaria mentre l'altro Bar serve per vincere le perdite di carico. Questa pompa invia il prodotto da filtrare all'interno del modulo a membrana di 10 m²; percorrendo la membrana tangenzialmente, solo una parte di liquido attraversa la membrana (permeato), mentre il ritenuto esce dal modulo e viene ricircolato grazie ad una pompa di ricircolo che sviluppa una portata di 30.000 L/h e una pressione di 1 Bar. L'elevata portata della pompa di ricircolo è indispensabile per assicurare un elevato flusso tangenziale sulla membrana (1-3 m/s)

al fine di minimizzare il deposito di particelle sui pori (fouling). Con il passare del tempo, il fouling provoca un calo della portata e per questo motivo è previsto un metodo di pulizia della membrana chiamato back-flushing. Questo consiste nella chiusura in automatico, per 15-20 secondi, della valvola di alimentazione e di scarico in modo che ci sia un aumento della pressione nella camera del permeato determinandone il passaggio verso la camera del ritenuto che è sufficiente per eliminare lo strato di deposito che si è formato. Questo processo può essere favorito anche dalla presenza di una pompa che preleva il permeato dalla vasca e lo invia verso la membrana in modo da aumentare la pressione, oppure dalla presenza di una valvola che permette l'inserimento di azoto che tende a spingere il permeato verso la camera del ritenuto.



Alla fine di ogni ciclo di microfiltrazione bisogna rigenerare le membrane che sicuramente saranno colmate. Si procede quindi con un primo risciacquo nel senso della filtrazione con acqua a 20°C e 5 Bar, successivamente viene eseguito un secondo risciacquo con acqua calda a 55-80°C e 2 Bar ed infine un risciacquo conclusivo nel senso opposto alla filtrazione con acqua fredda a bassa pressione (0,5 Bar) per evitare la rottura della membrana. In alternativa le membrane possono essere lavate con una soluzione di NaOH al 3% per 20-30 minuti e successivamente inviando una soluzione di acido citrico per neutralizzare la soda ed infine un risciacquo.

I materiali che costituiscono le membrane sono polimerici, principalmente i polisolfoni, per questo vengono chiamate membrane organiche. Più recentemente sono apparse le membrane minerali, dette anche ceramiche che presentano pori meno uniformi e quindi sono meno selettive ma hanno il vantaggio di resistere meglio agli agenti disinfettanti e alle alte temperature.

45. Sviluppare l'equazione della portata di permeato nella MFT, indicando le pressioni intramembranaria, le permeabilità tipiche e i metodi per minimizzare il fouling.

Anche per la microfiltrazione tangenziale può essere adottata la legge di Darcy:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu R_t}$$

Dove R_t è la resistenza totale (m^{-1}), $Q = \frac{dV}{dt}$ è la portata istantanea di permeato (m^3/s), A è la superficie della membrana, ΔP è la differenza di pressione intramembranaria (Pa) e μ è la viscosità del permeato (Pa s).

La resistenza R_t è la somma di due contributi: La resistenza della membrana R_m e la resistenza del deposito R_f chiamata anche resistenza di fouling. L'equazione di Darcy viene quindi riscritta in questo modo:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{A \Delta P}{\mu (R_m + R_f)}$$

R_m può essere considerato costante, ma R_f varia nel tempo aumentando con l'aumentare del deposito. L'aumento è comunque contenuto grazie al flusso tangenziale e al processo di back-flushing, per questo motivo l'equazione della portata viene ridotta a:

$$Q = k A \Delta P$$

Dove $k = \frac{1}{\mu (R_m + R_f)}$ ovvero: $\left(\frac{m^3}{s Pa m^2}\right) = \left(\frac{m}{Pa s}\right)$. k prende il nome di permeabilità e non va confuso con la permeabilità specifica K misurata in Darcy.

La pressione intermembranaria che si instaura in un microfiltro tangenziale è dell'ordine di 1,5 Bar con (permeabilità calcolata rovesciando la formula precedente) di $33 \frac{L}{h m^2 Bar}$

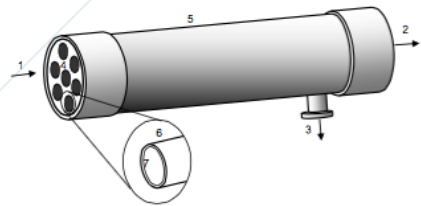
Con l'andare del tempo di microfiltrazione, il fouling, anche se contenuto dal flusso tangenziale, tuttavia si presenta, provocando un calo della portata di permeato. È previsto allora la pulizia cadenzata della membrana con un metodo molto semplice chiamato back-flushing: si chiudono per pochi istanti in automatico la valvola sul tubo della pompa di alimentazione e la valvola di scarico del permeato di modo che vi sia un aumento della contro-pressione dal lato del permeato. Questo comporta un piccolo riflusso del permeato verso la camera del torbido sufficiente a staccare lo

straterello di deposito formatosi. Questo processo può essere favorito anche dalla presenza di una pompa che preleva il permeato dalla vasca e lo invia verso la membrana in modo da aumentare la pressione, oppure dalla presenza di una valvola che permette l'inserimento di azoto che tende a spingere il permeato verso la camera del ritenuto.

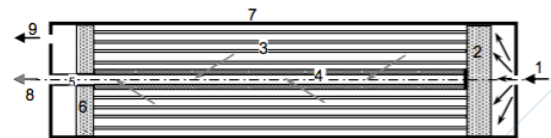
46. Descrivere i vari tipi di assemblaggio delle membrane da MFT concludendo con la tabella di confronto degli ingombri e dei flussi specifici.

Sono state proposte varie configurazioni geometriche delle membrane, tutte sottoforma di moduli membranari:

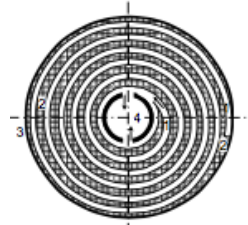
- Membrane piane: sono moduli che vengono montati su filtri simili a filtri-prensa o come piatti su camera di pressione ma non vengono più utilizzate;
- Membrane tubolari: all'interno del modulo sono presenti più membrane tubolari di diametro da 5 a 25 mm racchiuse assieme da un tubo esterno di contenimento del permeato. Queste trovano utilizzo soprattutto nel trattamento di sospensioni di solidi molto cariche, come ad esempio i fondi di feccia formati da sedimentazione o flottazione del mosto;



- Membrane a fibre cave: all'interno del modulo sono presenti le membrane a fibre cave dove viene fatto correre il prodotto da trattare. Queste hanno un diametro compreso fra 0,5 e 2 mm, generalmente di 1mm. Il liquido entra nel modulo, corre all'interno delle fibre e permea raccogliendosi all'esterno mentre il ritenuto continua la corsa ed esce dalle fibre venendo ricircolato. Questo tipo di membrane hanno il pregio di essere economiche e per questo motivo vengono utilizzate molto frequentemente nella microfiltrazione tangenziale, anche perché consentono in back-flushing dato il diametro contenuto;



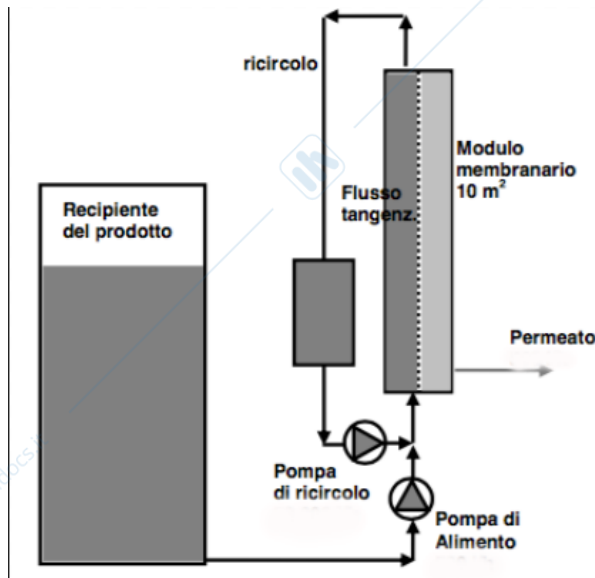
- Membrane a spirale: costituita da due membrane piane sovrapposte ed incollate tra loro su tre lati e dentro alla tasca che si forma drena il permeato che corre verso il lato aperto il quale comunica con un tubo perforato presente all'apice che raccoglie il permeato. Nel piano superiore della membrana viene appoggiata una rete plastica che serve da spaziatore e successivamente il tutto viene avvolto a spirale attorno al tubo centrale perforato. Grazie alla rete spaziatrice le superfici della membrana non vengono mai a contatto permettendo il passaggio del ritenuto. Questo tipo di membrane non vengono utilizzate per la microfiltrazione tangenziale ma trovano impiego nell'osmosi inversa.



Il confronto tra le membrane può essere fatto tramite dei valori, come il rapporto fra l'area della membrana e il volume che occupa determinando l'ingombro; il flusso di permeato J ovvero il rapporto fra la portata e l'area che da un'idea delle prestazioni della membrana ed infine il prodotto dei due valori precedenti ovvero il flusso per unità di volume J_v che da un'idea delle prestazioni rispetto all'ingombro. Il tutto viene concentrato in una tabella:

Configurazione		Membrane piane	Membrane tubolari	Membrane a fibre cave	Membrane a spirale
$\frac{A}{V}$	$\frac{m^2}{m^3}$	300	300	15.000	1.000
$J = \frac{Q}{A}$	$\frac{l}{h \cdot m^2}$	500	500	50	500
$J_v = \frac{Q}{V} = J \cdot \frac{A}{V}$	$\frac{l}{h \cdot m^3}$	150.000	150.000	750.000	500.000

47. Spiegare il principio di funzionamento anche con l'aiuto di un semplice schema, dell'ultrafiltrazione, i materiali delle membrane e i metodi di pulizia.



L'ultrafiltrazione viene effettuata realizzando un elevato flusso di ritenuto che scorre tangenzialmente alla membrana. Il filtro è costituito da una pompa di alimentazione centrifuga che genera una portata di 100 L/h ed una pressione di 5 Bar. Questa pompa invia il prodotto da filtrare all'interno del modulo a membrana di 10 m²; percorrendo la membrana tangenzialmente, solo una parte di liquido attraversa la membrana (permeato), mentre il ritenuto esce dal modulo e viene ricircolato grazie ad una pompa di ricircolo. L'elevata portata della pompa di ricircolo è indispensabile per assicurare un elevato flusso tangenziale sulla membrana (1-3 m/s) al fine di minimizzare il deposito di particelle sui pori (fouling). Con il passare del tempo, il fouling

provoca un calo della portata e per questo motivo è previsto un metodo di pulizia della membrana chiamato back-flushing. Questo consiste nella chiusura in automatico, per 15-20 secondi, della valvola di alimentazione e di scarico in modo che ci sia un aumento della pressione nella camera del permeato determinandone il passaggio verso la camera del ritenuto che è sufficiente per eliminare lo strato di deposito che si è formato. Questo processo può essere favorito anche dalla presenza di una pompa che preleva il permeato dalla vasca e lo invia verso la membrana in modo da aumentare la pressione, oppure dalla presenza di una valvola che permette l'inserimento di azoto che tende a spingere il permeato verso la camera del ritenuto.

Alla fine di ogni ciclo di microfiltrazione bisogna rigenerare le membrane che sicuramente saranno colmate. Si procede quindi con un primo risciacquo nel senso della filtrazione con acqua a 20°C e 5 Bar, successivamente viene eseguito un secondo risciacquo con acqua calda a 55-80°C e 2 Bar ed infine un risciacquo conclusivo nel senso opposto alla filtrazione con acqua fredda a bassa pressione (0,5 Bar) per evitare la rottura della membrana. In alternativa le membrane possono essere lavate con una soluzione di NaOH al 3% per 20-30 minuti e successivamente inviando una soluzione di acido citrico per neutralizzare la soda ed infine un risciacquo per un tempo totale di 1,5 ore.

I materiali che costituiscono le membrane sono polimerici, principalmente le poliammidi e i polisolfoni, per questo vengono chiamate membrane organiche. Più recentemente sono apparse le membrane minerali, dette anche ceramiche che presentano pori meno uniformi e quindi sono meno selettive ma hanno il vantaggio di resistere meglio agli agenti disinfettanti e alle alte temperature.

48. Sviluppare l'equazione della portata di permeato nella UF, indicando le pressioni intramembranarie, le permeabilità tipiche e il fenomeno della concentrazione per polarizzazione.

Come per la microfiltrazione, anche per l'ultrafiltrazione può essere utilizzata l'equazione della portata:

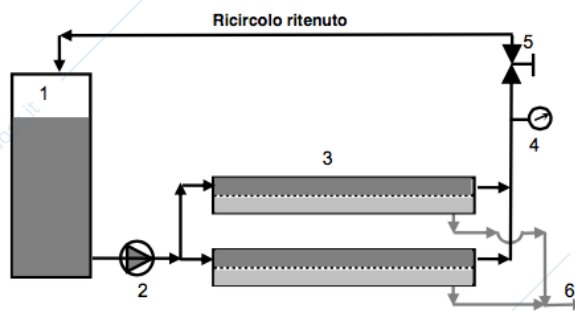
$$Q_p = Q = k A \Delta P$$

Dove: Q_p è la portata di permeato (m³/s), A è la superficie della membrana (m²), ΔP è la differenza di pressione intramembranaria (Pa) e k è la permeabilità misurata in $\frac{m}{Pa \cdot s}$ ma usualmente viene utilizzata l'unità pratica $\frac{L}{h \cdot m^2 \cdot Bar}$.

La permeabilità in questo caso non dipende solo dalla membrana e dal fouling ma anche da un fenomeno chiamato concentrazione per polarizzazione. Questo consiste nell'aumento di concentrazione di soluti macromolecolari lungo la superficie della membrana perché il liquido che scorre in prossimità della membrana tende ad impoverirsi di soluti leggeri (zuccheri sali, ecc) e quindi le macromolecole tendono a migrare verso la membrana andando a formare uno strato di gel che diminuisce la permeabilità.

La pressione intermembranaria che si instaura durante l'ultrafiltrazione è dell'ordine di 5 Bar con permeabilità (calcolata rovesciando la formula precedente) di $2 \frac{L}{h m^2 Bar}$

49. Disegnare un impianto discontinuo di UF, indicando gli elementi, le pressioni e la definizione di rapporto di concentrazione volumetrica.



Il prodotto da trattare è contenuto in un serbatoio di alimentazione dal quale viene prelevato dalla pompa, che ha sia il compito di alimentazione alle membrane che quello di ricircolazione. Il prodotto, dopo essere passato nei moduli a membrane ritorna nel serbatoio da cui è stato prelevato passando per una valvola di laminazione che produce una perdita di carico di 5 Bar affinché insista la pressione intermembranaria all'interno del modulo. Come

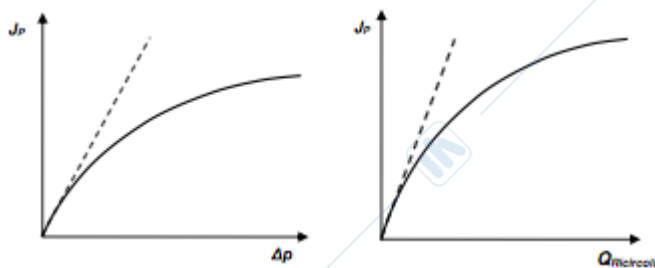
per la microfiltrazione tangenziale i moduli possono essere più di uno in parallelo in modo da aumentare la superficie complessiva. Man mano che il prodotto si concentra il suo volume si riduce nel serbatoio di alimentazione e, di conseguenza, aumenta la concentrazione in macromolecole. Quando si è raggiunta una certa concentrazione, l'impianto viene completamente scaricato e lavato. La quantità di ritenuto che rimane all'interno del serbatoio di alimentazione viene calcolata con un indice, il fattore di riduzione volumetrica:

$$FRV = \frac{V_i}{V_f}$$

Questo indica il rapporto fra il volume inizialmente presente nel serbatoio e quello finale di ritenuto rimasto. Il fattore FRV è generalmente compreso fra 5 e 10.

La differenza di pressione intermembranaria è di 5 Bar con portate di ricircolazione di 5000 L/h ed una portata uscente di permeato di 200 L/h.

50. Diagrammare e spiegare l'influenza della pressione intramembranaria e della portata di riciclo sulla portata di permeato.



Partendo dall'equazione $Q_p = k A \Delta P$ si potrebbe affermare che alzando al massimo la pressione intermembranaria si massimizza la portata di permeato Q e quindi il flusso J_p . questo però non è completamente vero perché l'aumento della pressione Δp comporta anche un compattamento dello strato di gel e

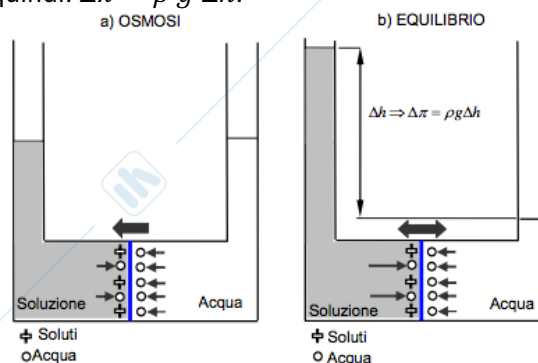
quindi una maggior resistenza al passaggio di permeato. In altre parole l'aumento di Δp da un certo punto in poi viene compensato da una diminuzione della permeabilità k . Ne consegue che la portata, e quindi il flusso J_p non crescono più. I valori corrispondenti di Δp oltre i quali il flusso si stabilizza sono dell'ordine di alcuni bar (1÷7) in relazione alla natura e alla concentrazione delle macromolecole nel ritenuto. Per motivi diversi, ma con lo stesso risultato, non ha neanche senso aumentare troppo la portata di ricircolo: ecco che la si mantiene circa 20-30 volte superiore a quella del permeato.

51. Spiegare le caratteristiche geometriche delle membrane (spessori, skin ecc.) da O.I., le modalità di trasferimento del solvente, i materiali delle membrane e gli aspetti della pulizia rispetto alla MFT e alla UF.

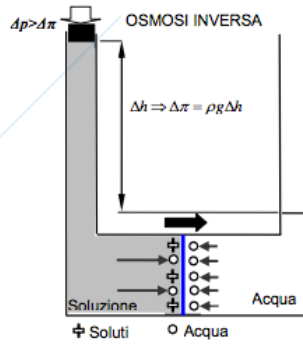
Rispetto alla MFT e alla UF, la membrana da osmosi inversa non presenta porosità perché l'acqua attraversa la membrana non attraverso i pori bensì tramite fenomeni di diffusione grazie all'affinità con la matrice polimerica della membrana. Essendo che il fenomeno di diffusione è molto lento c'è la necessità di minimizzare lo spessore della membrana a circa 0,2-0,3 mm. Questa presenta un primo strato chiamato pelle (skin) di qualche μm assolutamente senza porosità e per il resto dello spessore sono presenti dei pori che vanno via via ingrandendosi facilitando l'uscita dell'acqua. I materiali utilizzati per le membrane devono essere affini con l'acqua, in particolare vengono utilizzati i polisolfoni, le poliammidi aromatiche e più recentemente epamina e piperazina. La pulizia delle membrane nell'osmosi inversa viene effettuata per l'eliminazione del fouling ovvero per ripristinare la permeabilità. Viene eseguita analogamente a quella per la UF e la MFT, cioè l'invio di soluzioni alcaline alternate a quelle acide ed un risciacquo finale. Eventualmente prima del risciacquo può essere previsto un lavaggio con tensioattivi per eliminare le sostanze grasse. È importante anche prevedere una buona prefiltrazione del prodotto all'ingresso dell'impianto per limitare il problema del fouling, inoltre essendo assente la porosità dal lato del ritenuto, il fenomeno del colmataggio dei fori non avviene, pertanto i tempi di cadenza della pulizia sono più lunghi rispetto all'UF e alla MFT.

52. Spiegare il processo dell'osmosi inversa (O.I.) partendo da quello dell'osmosi anche con l'aiuto di un semplice schema. Indicare quindi la legge di Van't Hoff sulla pressione osmotica e i suoi limiti.

Per comprendere l'osmosi inversa occorre prima spiegare l'osmosi. Nell'esperimento viene utilizzata una membrana con le stesse caratteristiche di quelle usate nell'osmosi inversa, viene però posta come piano di separazione di due recipienti, con quello di sinistra riempito di soluzione enologica e quello di destra con acqua. Da destra verso sinistra diffondono molecole d'acqua in quantità proporzionale alla superficie, da sinistra avviene altrettanto, ma in misura minore dato che alla membrana non si affacciano solo molecole d'acqua ma anche soluti i quali non possono diffondere. Con il passare del tempo, la diffusione da sinistra a destra porta ad un aumento del volume della soluzione enologica ed una conseguente diluizione dei soluti. L'aumento di volume provocherà un dislivello Δh al quale corrisponde un aumento di pressione pari a $\rho g \Delta h$. Questa spinge le molecole d'acqua del recipiente di sinistra verso quello di destra fino ad un certo valore di pressione per il quale i due recipienti si trovano in equilibrio, quel valore di pressione è chiamato pressione osmotica $\Delta\pi$ e quindi: $\Delta\pi = \rho g \Delta h$.



Applicando ora una pressione, sulla soluzione enologica di sinistra, maggiore di quella osmotica ($\Delta P > \Delta\pi$) si ha l'inversione del flusso, ovvero le molecole d'acqua del recipiente di sinistra hanno una spinta tale da riuscire ad attraversare la membrana in misura maggiore di quelle di destra anche se queste sono nettamente di più.



A questo punto c'è la necessità di valutare la pressione osmotica $\Delta\pi$ di una determinata soluzione per individuare la pressione $\Delta P > \Delta\pi$ da applicare per ottenere l'osmosi inversa. Questa viene calcolata tramite la legge di Van't Hoff:

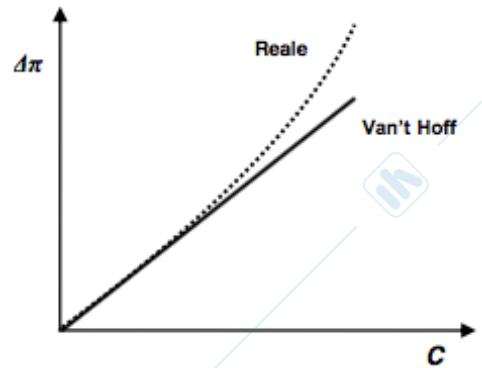
$$\Delta\pi = C R T$$

Dove: C è la concentrazione molare della soluzione (kmol/m^3);
 R è la costante universale dei gas pari a $8314 \text{ J}/\text{kmol K}$;
 T è la temperatura assoluta in gradi Kelvin.

La concentrazione C può essere calcolata conoscendo i gradi Brix della soluzione enologica tramite la formula: $C = \frac{C_{bx}\rho_{sol}}{100 m_m}$

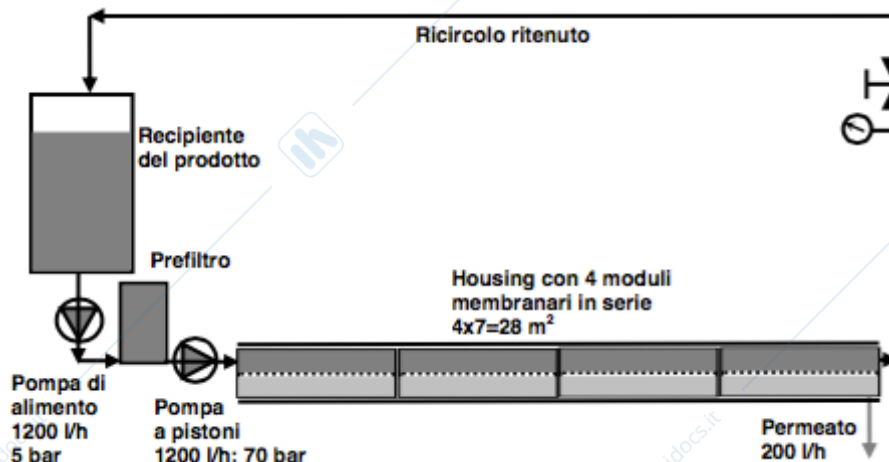
Dove: ρ_{sol} è la densità della soluzione (kg/m^3);
 C_{bx} sono i gradi Brix;
 m_m è la massa molecolare

Se viene fatto un grafico della pressione osmotica rispetto alla concentrazione, sulla base dell'equazione si ottiene una semiretta uscente dall'origine. Ma la curva sperimentale, ovvero quella reale, si presenta sovrapposta a quella di Van't Hoff per concentrazioni ridotte ma più elevata per concentrazioni maggiori.



Questo grafico evidenzia quanto la concentrazione possa limitare l'operazione di osmosi inversa. Quando la concentrazione diventa elevata, la pressione osmotica cresce rapidamente e quindi la portata diminuisce dato che la pressione ΔP non può essere aumentata altrimenti si romperebbe la membrana. Per i mosti, a concentrazioni superiori a 30°Bx l'osmosi inversa perde di convenienza ed è impossibile applicarla, se si dovesse ottenere un prodotto più concentrato bisognerebbe utilizzare un concentratore evaporativo.

53. Disegnare un impianto discontinuo di OI, indicando gli elementi, le pressioni e le portate in gioco.



Come si vede in figura è presente una pompa di alimentazione che invia il prodotto ad un prefiltro dal quale viene prelevato tramite una pompa a pistoni (che genera una pressione di 70 Bar e una

portata di 1200 L/h) che invia il liquido all'interno di 4 moduli membranari a spirale disposti in serie all'interno di un tubo di contenimento. Il vino passa poi per una valvola di laminazione che garantisce la pressione intramembranaria e ritorna nel serbatoio di partenza per essere ricircolato. Ogni modulo presenta un'area di 7 m^2 e una portata di permeato pari a 50 L/h, per un totale di 28 m^2 e 200 L/h. Facendo il rapporto fra la portata di ritenuto e quella di permeato di ogni modulo, risulta pari a 24 e quindi corretta. I moduli non sono stati posti in parallelo perché la portata di ricircolo sarebbe dovuta essere 4 volte maggiore, ovvero 4800 L/h.

54. Descrivere l'equazione della permeabilità in O.I., indicando le pressioni intramembranarie e le permeabilità tipiche e definire compiutamente il coefficiente di ritenzione.

Anche per l'osmosi inversa si può scrivere l'equazione della portata, soltanto che in questo caso occorre considerare la pressione intramembranaria ΔP al netto di quella osmotica $\Delta \pi$. Infatti la portata di permeato si annulla non quando si annulla ΔP ma quando $\Delta P = \Delta \pi$.

$$Q = k A (\Delta P - \Delta \pi)$$

Dove: Q è la portata di permeato (m^3/s), A è la superficie della membrana (m^2), $\Delta P - \Delta \pi$ è la differenza tra la pressione applicata e quella osmotica (Pa) e k è la permeabilità misurata in $\frac{\text{m}}{\text{Pa s}}$ ma usualmente viene utilizzata l'unità pratica $\frac{\text{L}}{\text{h m}^2 \text{ Bar}}$.

La portata di permeato non dipende solo dalla membrana e dal fouling, ma anche dal fenomeno della concentrazione per polarizzazione. Questa consiste in un aumento della concentrazione di molecole a livello della membrana le quali vanno a formare uno strato di polarizzazione che si oppone al passaggio delle molecole d'acqua.

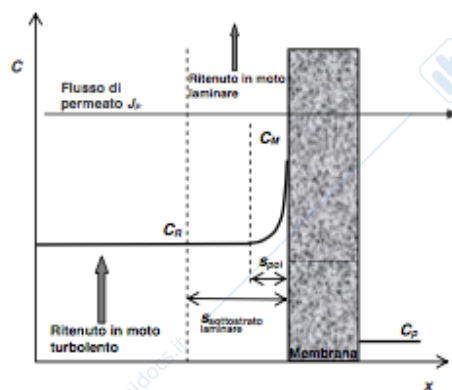
In teoria, ciò che passa attraverso la membrana per osmosi inversa è solo acqua, ma in pratica non è così poiché nel vino sono presenti delle molecole anch'esse affini alla membrana ed una piccola quantità riesce ad attraversarla. Questo è un fenomeno indesiderato che deve essere massimizzato e per quantificarlo è stato introdotto il coefficiente di ritenzione R :

$$R = \left(1 - \frac{C_P}{C_R}\right) 100$$

Dove C_P è la concentrazione del permeato e C_R è la concentrazione del ritenuto.

Una membrana da osmosi inversa che opera su un mosto a temperatura ambiente presenta un coefficiente di ritenzione compreso tra 99,2 e 99,5%. Questo significa che solo lo 0,5-0,8% dei soluti non viene trattenuto e passa attraverso la membrana. Il coefficiente può abbassarsi con l'aumento della concentrazione e della temperatura, mentre viene aumentato con l'aumento di pressione. Questo è il motivo per il quale in osmosi inversa vengono utilizzate pressioni comprese fra 60 e 70 Bar le quali non devono essere superate altrimenti avverrebbe la rottura della membrana.

55. Partendo dalla descrizione del fenomeno della polarizzazione in O.I., spiegare la sua influenza negativa e con quale metodo lo si contrasta.



Come si nota in figura, la concentrazione per polarizzazione è l'aumento della concentrazione di soluti nello strato prossimo alla membrana dovuto al fatto che le molecole d'acqua migrano a destra della membrana. L'aumento della concentrazione di soluti è direttamente proporzionale all'aumento della pressione osmotica dal quale si evidenzia poi una conseguente riduzione della portata di permeato. Essendo difficile calcolare la concentrazione a livello di membrana (C_M) e quindi la pressione osmotica, nel calcolo della portata di permeato viene utilizzato il valore di pressione osmotica calcolata sulla concentrazione del ritenuto (C_R) introducendo un valore ridotto della

permeabilità k . Quindi si usa dire, anche se impropriamente, che la concentrazione per polarizzazione produce un calo della permeabilità.

Per contrastare questo fenomeno vengono realizzati degli impianti di osmosi inversa con il passaggio della soluzione tangenzialmente alla membrana e la velocità viene mantenuta elevata per permettere un moto turbolento e quindi maggiori turbolenze che rimescolano e ridistribuiscono le molecole in tutta la massa della soluzione.

56. Spiegare la nanofiltrazione evidenziando le differenze con la O.I. Descrivere l'equazione della permeabilità in NF, indicando le pressioni intramembranarie e le permeabilità tipiche.

La nanofiltrazione consente di permeare l'acqua e buona parte dei sali trattenendo tutto il resto. Viene effettuata inviando un flusso di liquido tangenzialmente ad una membrana simile a quella dell'osmosi inversa ma che presenta dei nanopori che permettono il passaggio delle molecole. Questa presenta un primo strato chiamato pelle (skin) di qualche μm che presenta dei nanopori che vanno via via ingrandendosi facilitando l'uscita del permeato. I materiali utilizzati sono i polisolfoni, le poliammidi aromatiche e più recentemente epamina e piperazina.

Anche per la nanofiltrazione si può descrivere l'equazione della portata che deve tenere conto anche della pressione osmotica ma con un fattore riduttivo σ , il coefficiente di Staverman, compreso fra 0,6 e 0,95 in base al liquido. L'equazione diventa quindi:

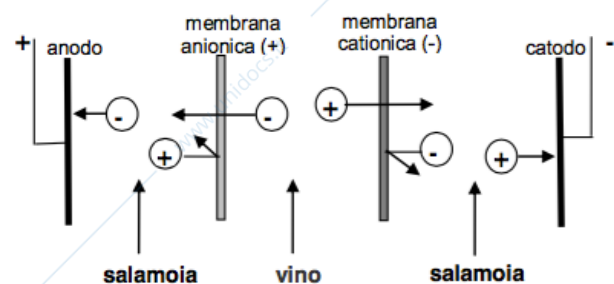
$$Q = k A (\Delta P - \sigma \Delta \pi)$$

Dove: Q è la portata di permeato (m^3/s), A è la superficie della membrana (m^2), $\Delta P - \sigma \Delta \pi$ è la differenza tra la pressione applicata e quella osmotica corretta con il fattore σ (Pa) e k è la permeabilità misurata in $\frac{\text{m}}{\text{Pa s}}$ ma usualmente viene utilizzata l'unità pratica $\frac{\text{L}}{\text{h m}^2 \text{ Bar}}$.

La pressione intermembranaria che viene applicata è di circa 35 Bar con una permeabilità $k = 0,55 \frac{\text{L}}{\text{h m}^2 \text{ Bar}}$

57. Spiegare il principio dell'elettrodialisi disegnando lo schema semplificato a 3 celle, indicare i materiali delle membrane, le DDP e il tasso di deionizzazione. Schematizzare l'impianto semplificato in batch.

Si tratta di un'operazione di separazione degli ioni di una soluzione attraverso delle membrane selettive con l'ausilio di un campo elettrico. Supponendo di avere tre celle separate da due membrane, una anionica (+) caricata positivamente che fa passare gli anioni e una cationica (-) caricata negativamente che fa passare i cationi.



Il vino viene fatto scorrere nella cella centrale mentre in quelle laterali scorre una salamoia con 5 g/L di cloruro di potassio. Gli anioni (-) presenti nel vino vengono attratti dall'anodo (+) e passano attraverso la membrana anionica mentre i cationi (+) vengono attratti dal catodo (-) e passano attraverso la membrana cationica. Il vino quindi perde di ioni mentre la salamoia se ne arricchisce. Le membrane non lasciano passare gli ioni di segno opposto perciò il passaggio può avvenire solamente dal vino alla salamoia e non viceversa.

Le membrane cationiche sono costituite da una matrice polimerica nella quale sono fissati numerosi ioni sulfonici (-), mentre quelle anioniche, pure di matrice polimerica, prevedono la presenza di ioni ammonio (+). In entrambi i casi le membrane sono di spessore pari a circa 0,2 mm e sono dense, cioè senza pori passanti. Le membrane vengono mantenute distanti l'una dall'altra di circa 2 mm tramite dei telai e l'impianto prevede l'alternarsi di celle dove scorre vino e dove scorre la salamoia per un totale di 100-200 celle. In ognuna di queste occorre predisporre una differenza di potenziale DDP non superiore a 2 V per evitare il surriscaldamento del prodotto e per limitare il rischio di elettrolisi dell'acqua. La DDT totale dell'impianto varia da 200 a 400 V in base al numero

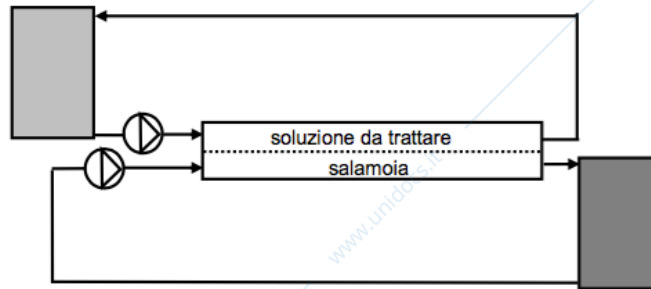
di celle presenti e la tensione deve essere continua. L'area di ogni membrana non supera i 2 m^2 , e la corrente che si instaura è compresa fra 100 e 200 A/m^2 .

Viene definito tasso di deionizzazione la quantità s :

$$s = \frac{\text{conducibilità iniziale} - \text{conducibilità finale}}{\text{conducibilità iniziale}} 100$$

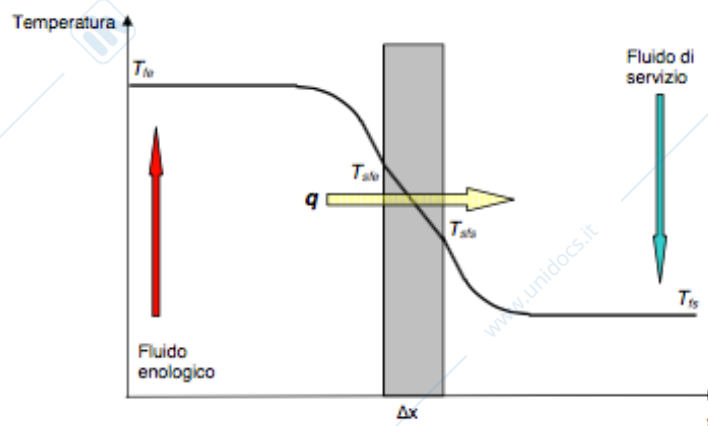
Dove la conducibilità iniziale e finale vengono determinate in laboratorio. Il tasso s può arrivare a valori massimi di 95% ma generalmente si attesta tra il 20 e 30%.

Il sistema discontinuo è caratterizzato da due circuiti chiusi, uno per il vino e uno per la salamoia, entrambi a temperatura ambiente. Il processo consiste nel far circolare più volte sia il vino che la salamoia nelle apposite celle fino al raggiungimento del valore di conduttività prefissato, il tempo di lavoro si aggira attorno alle 2 ore.



58. Scrivere l'equazione dello scambio termico globale descrivendo le varie grandezze e le unità di misura.

Considerando una piccola parte della parete di uno scambiatore che separa il fluido enologico dal fluido di servizio si nota la variazione di temperatura rappresentata nel seguente grafico:



Il flusso di calore (q) che si realizza tra il fluido enologico e quello di servizio dipenderà dalla differenza di temperatura dei due fluidi e dalla superficie di scambio. Inoltre è presente anche un coefficiente K chiamato trasmittanza che tiene conto di altri fattori che influenzano il flusso. Si può affermare quindi che:

$$q = K A (T_{fe} - T_{fs})$$

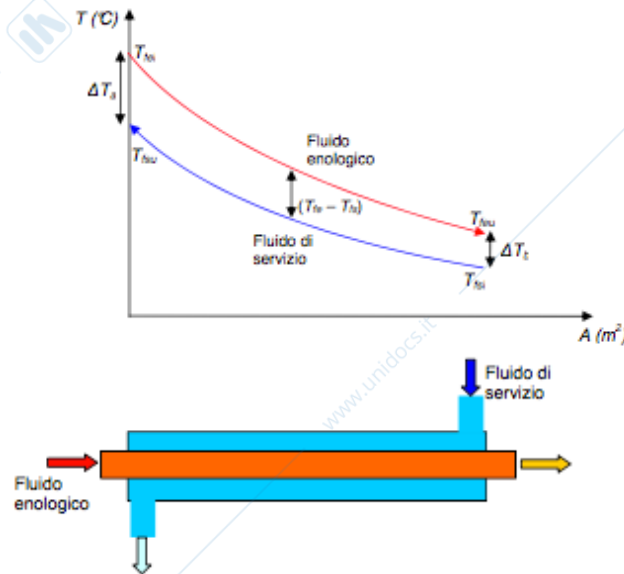
Il flusso di calore viene misurato in J/s ovvero W ma nel sistema tecnico viene indicato come kcal/h . $1\text{W} = 0,86 \text{ kcal/h}$. La trasmittanza viene invece misurata in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$ oppure in $\frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2\text{°C}}$ e il valore è tabellare in base ai diversi scambiatori.

Questa formula ci permette anche di calcolare l'area dello scambiatore ovvero di effettuare un dimensionamento:

$$A = \frac{q}{K (T_{fe} - T_{fs})}$$

59. Descrivere il salto termico medio logaritmico (differenza media di temperatura tra i due fluidi) che si utilizza nell'equazione dello scambio termico globale.

Essendo che all'interno dello scambiatore un fluido si raffredda e uno si scalda c'è il problema che T_{fe} e T_{fs} non sono costanti nei vari punti dello scambiatore. Supponendo di avere uno scambiatore a tubi concentrici, che i due fluidi procedano in controcorrente e che il fluido enologico si debba raffreddare, allora possiamo disegnare il seguente grafico:

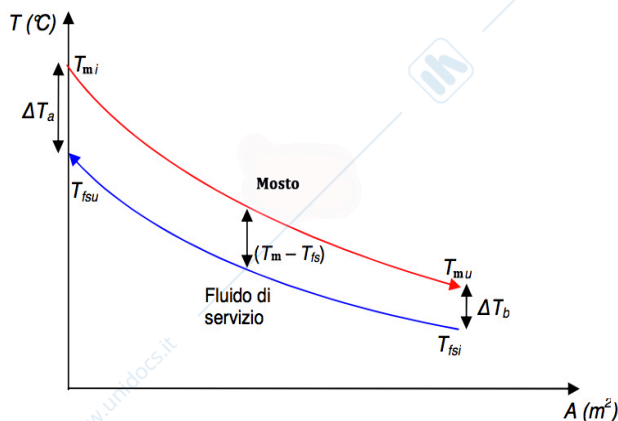


si nota che la differenza di temperatura non è costante lungo l'area dello scambiatore, per questo motivo bisogna individuare un valore medio rappresentativo calcolato tramite la formula del salto termico medio logaritmico:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b} \right)}$$

Dove $\Delta T_a = T_{fei} - T_{fsu}$ mentre $\Delta T_b = T_{feu} - T_{fsi}$.

60. Supposto di avere una certa portata di massa di mosto (Gm) alla temperatura Tmi e di doverlo raffreddare alla temperatura Tmu, impostare le equazioni: per un calcolo del flusso di calore q che deve scambiare il mosto; per il calcolo della temperatura Tfsu del fluido di servizio uscente (acqua fredda), di cui si conosca la temperatura entrante Tfsi e la portata (Gfs); per il calcolo del salto termico medio logaritmico; e per il calcolo dell'area dello scambiatore (A), Per aiutarsi conviene disegnare l'andamento delle temperature dei due fluidi nello scambiatore lungo il percorso dello stesso. NB: le equazioni vanno descritte e commentate.



Come prima operazione deve essere calcolato il flusso di calore tramite la formula:

$$q = G_m C_m (T_{mi} - T_{mu})$$

Dove: G_m è la portata di massa di mosto misurata in $\frac{kg}{h}$; C_m è il calore specifico ovvero la quantità di calore che deve essere fornita ad un kg di mosto per aumentarne la temperatura di 1°C misurato in $\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$ e $(T_{mi} - T_{mu})$ è la differenza di temperatura in ingresso ed uscita del mosto dallo scambiatore misurata in °C.

Successivamente c'è la necessità di determinare $T_{f_{su}}$ applicando la stessa formula ma riferita al fluido di servizio. Questo può essere fatto perché il flusso di calore è lo stesso di quello calcolato per il mosto perché tutto il calore che viene ceduto dal mosto lo acquisisce il fluido di servizio. Partendo quindi dalla formula del flusso di calore:

$$q = G_{fs} C_{fs} (T_{f_{su}} - T_{f_{si}})$$

Ci si ricava il valore di $T_{f_{su}}$:

$$T_{f_{su}} = \frac{q}{G_{fs} C_{fs}} + T_{f_{si}}$$

Grazie a questo calcolo ora abbiamo note tutte 4 le temperature per cui si può calcolare ΔT_a e ΔT_b con il quale poi ricaviamo la temperatura media logaritmica tramite la formula:

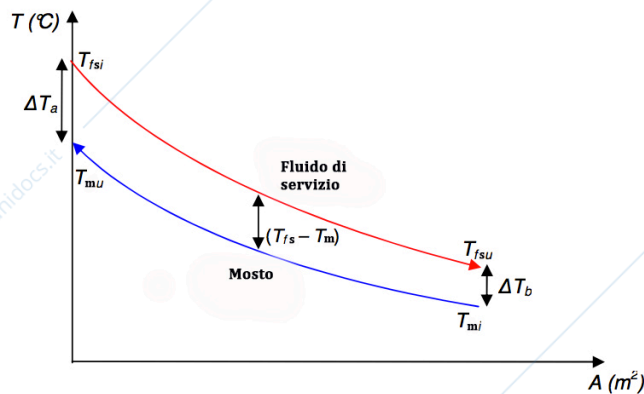
$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)}$$

Viene effettuata la media logaritmica piuttosto che quella aritmetica perché da un valore più accurato, soprattutto quando ΔT_a e ΔT_b sono molto differenti.

A questo punto andiamo a scegliere dalle tabelle un valore di K per poi applicare la formula del dimensionamento dello scambiatore:

$$A = \frac{q}{K (T_m - T_{fs})}$$

- 61. Supposto di avere una certa portata di massa di mosto (G_m) alla temperatura T_{mi} e di doverlo riscaldare alla temperatura T_{mu} , impostare le equazioni: per un calcolo del flusso di calore q che deve scambiare il mosto; per il calcolo della temperatura $T_{f_{su}}$ del fluido di servizio uscente (acqua fredda), di cui si conosca la temperatura entrante $T_{f_{si}}$ e la portata (G_{fs}); per il calcolo del salto termico medio logaritmico; e per il calcolo dell'area dello scambiatore (A). Per aiutarsi conviene disegnare l'andamento delle temperature dei due fluidi nello scambiatore lungo il percorso dello stesso. NB: le equazioni vanno descritte e commentate.**



Come prima operazione deve essere calcolato il flusso di calore tramite la formula:

$$q = G_m C_m (T_{mu} - T_{mi})$$

Dove: G_m è la portata di massa di mosto misurata in $\frac{kg}{h}$; C_m è il calore specifico ovvero la quantità di calore che deve essere fornita ad un kg di mosto per aumentarne la temperatura di $1^\circ C$ misurato in $\frac{kcal}{kg^\circ C}$ e $(T_{mu} - T_{mi})$ è la differenza di temperatura in ingresso ed

uscita del mosto dallo scambiatore misurata in $^\circ C$.

Successivamente c'è la necessità di determinare $T_{f_{su}}$ applicando la stessa formula ma riferita al fluido di servizio. Questo può essere fatto perché il flusso di calore è lo stesso di quello calcolato per il mosto perché tutto il calore che viene ceduto dal fluido di servizio lo acquisisce il mosto.

Partendo quindi dalla formula del flusso di calore:

$$q = G_{fs} C_{fs} (T_{f_{si}} - T_{f_{su}})$$

Ci si ricava il valore di $T_{f_{su}}$:

$$T_{f_{su}} = T_{f_{si}} - \frac{q}{G_{fs} C_{fs}}$$

Grazie a questo calcolo ora abbiamo note tutte 4 le temperature per cui si può calcolare ΔT_a e ΔT_b con il quale poi ricaviamo la temperatura media logaritmica tramite la formula:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)}$$

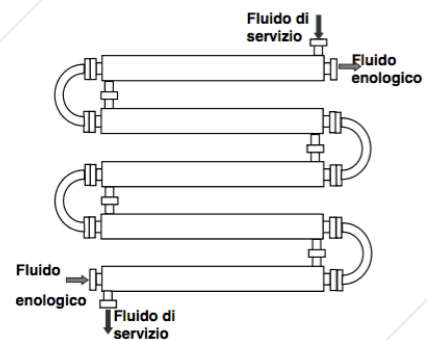
Viene effettuata la media logaritmica piuttosto che quella aritmetica perché da un valore più accurato, soprattutto quando ΔT_a e ΔT_b sono molto differenti.

A questo punto andiamo a scegliere dalle tabelle un valore di K per poi applicare la formula del dimensionamento dello scambiatore:

$$A = \frac{q}{K(T_{fs} - T_m)}$$

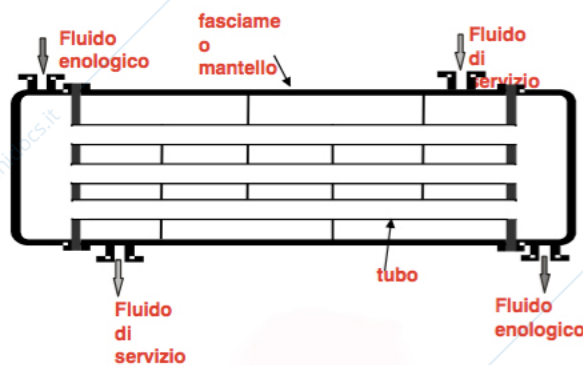
62. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, il funzionamento di uno scambiatore a tubi concentrici, sottolineandone poi i pregi e i difetti.

Questo tipo di scambiatore è formato da un tubo all'interno del quale viene inserito un altro tubo di diametro inferiore. Il fluido enologico scorre nel tubo interno mentre il fluido di servizio viene inviato in controcorrente nella camera formata fra i due tubi, ovvero all'interno del tubo grande. La struttura del tubo interno può presentare delle corrugazioni che permettono di ottenere più facilmente un moto turbolento che facilita il passaggio di calore. Ogni modulo viene collegato ad un altro tramite una curva fino all'ottenimento della giusta superficie di scambio. Questi possono essere flangiati che permettono l'apertura per la pulizia oppure saldati assieme



con la perdita della possibilità di ispezione. I valori di K si aggirano fra 800 e 1500 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ per fluidi come vino e mosto. Sono di semplice realizzazione e quindi basso costo e possono operare anche ad alte pressioni presentando però un ingombro di spazio in cantina.

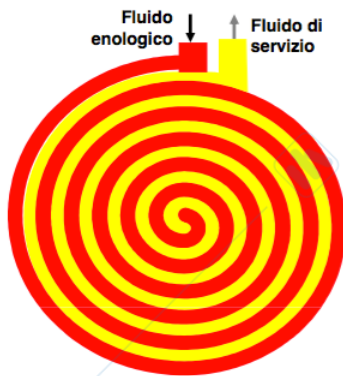
63. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, il funzionamento di uno scambiatore a fascio tubiero, sottolineandone poi i pregi e i difetti.



È formato da un fascio di tubi paralleli che vengono saldati alle teste su due rispettive piastre tubiere. Il tutto è racchiuso da un mantello che ha il compito di contenere il passaggio del fluido di servizio. Alle due estremità del mantello vengono poste due testate che consentono il deflusso del fluido enologico all'interno del fascio di tubi. All'interno del mantello sono presenti dei diaframmi che servono per far circolare il fluido di servizio in tutta la superficie di

scambio per evitare il formarsi di punti morti. Questo comporta un non completo flusso in controcorrente ma in parte incrociato. Questi scambiatori possono raggiungere superfici di scambio elevate con poco ingombro, hanno costi medi e limitate dispersioni, resistono ad elevate pressioni ed effettuano uno scambio termico con un valore di trasmittanza riferito al vino e mosto di circa 500-1500 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

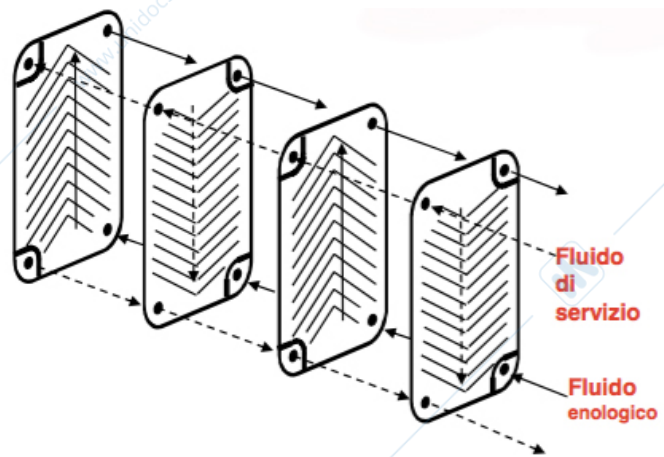
64. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, il funzionamento di uno scambiatore a spirale, sottolineandone poi i pregi e i difetti.



Sono realizzati da due lamine avvolte a spirale spaziate tra loro con dei distanziatori. I due canali che si formano saranno destinati l'uno al fluido enologico e l'altro al fluido di servizio i quali percorreranno la spirale in controcorrente perfetta. Per realizzare questa controcorrente un fluido deve essere fatto entrare dalla periferia mentre l'altro dal centro. Hanno costi di investimento medi con minime dispersioni, ingombri ridotti ed una trasmittanza K riferita al vino o mosto che si aggira fra 900 e $1200 \frac{W}{m^2 \cdot C}$. Resistono a pressioni non superiori a 15 Bar e vengono utilizzate in enologia soprattutto per il recupero di calore o frigorifere.

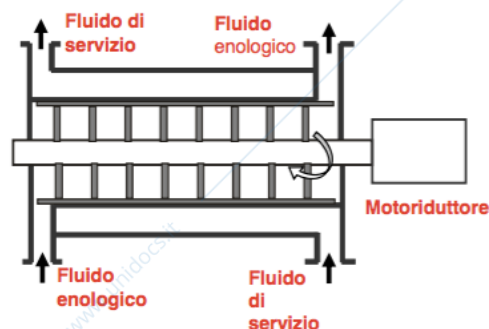
65. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, il funzionamento di uno scambiatore a piastre, sottolineandone poi i pregi e i difetti.

Sono realizzati assemblando un certo numero di piastre in acciaio inox di forma rettangolare le quali presentano delle guarnizioni e venendo serrate all'interno di un telaio formano delle camere tra una piastra e l'altra. In queste camere sarà presente alternativamente il fluido enologico che si sposta dal basso verso l'alto e il fluido di servizio in controcorrente. Le piastre presentano 2 fori con guarnizioni e due fori senza: i fori senza guarnizioni permettono l'entrata di uno dei due fluidi nella camera formata dalle piastre mentre quelli con le guarnizioni fanno passare il liquido nella camera successiva. La superficie delle piastre presenta inoltre dei corrugamenti alternati in base alla direzione del fluido per aumentarne la turbolenza. Il telaio è formato da due piastroni esterni, uno fisso e uno mobile il quale scorre tramite due longheroni che servono anche da supporto per le piastre. Gli scambiatori a piastre possono funzionare in parallelo dove i due fluidi si alternano nei canali realizzando una controcorrente perfetta oppure in serie quando i canali risultano metà in controcorrente e metà in equicorrente.



Sono scambiatori a medio-basso costo con dispersioni nulle e valori di trasmittanza tra 1500 e $200 \frac{W}{m^2 \cdot C}$. Hanno come svantaggio la presenza delle guarnizioni che necessitano di manutenzione e la possibilità di incrostazioni nelle corrugazioni.

66. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, il funzionamento di uno scambiatore a corpo raschiato, sottolineandone poi i pregi e i difetti.

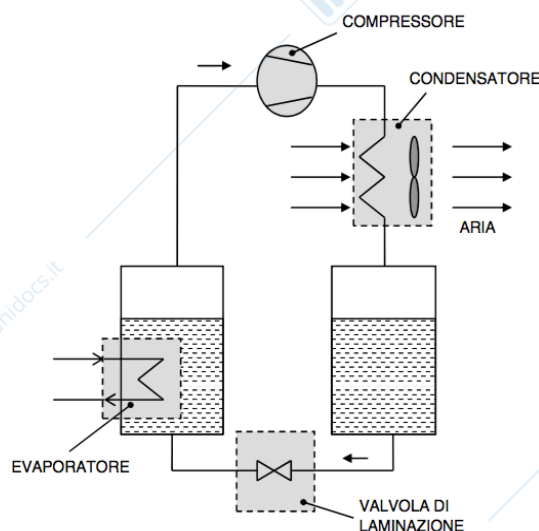


È costituito da due cilindri uno dentro l'altro. Il più interno è sede del passaggio del fluido enologico ed in esso è inserito un albero rotante nel quale sono montate delle palette a contatto con la parete interna del cilindro che ruotando, raschiano la superficie impedendo che si formino depositi o congelamento dell'acqua. Il fluido di servizio scorre nell'intercapedine formata tra i due cilindri in controcorrente perfetta. Questi scambiatori sono complessi e per questo motivo

costosi, sono ingombranti ed hanno elevate dispersioni. Hanno come vantaggio però di realizzare la controcorrente perfetta, di resistere ad alte pressioni e possono trattare fluidi con elevata viscosità. Si raggiungono valori di trasmittanza K fino a $500-900 \frac{W}{m^2 \cdot C}$.

67. Schematizzare una macchina frigorifera con i suoi 4 componenti, specificandone la funzione. Indicare quindi le zone di alta e bassa pressione e quelle del liquido e del vapore.

Una macchina frigorifera è composta da un evaporatore all'interno del quale è presente dell'acqua mantenuta ad una pressione di 0,009 Bar che evapora a 5°C. Nell'evaporatore è presente anche una serpentina dove viene fatto correre del vino affinché si raffreddi (ad esempio da 20°C a 10°C). Il vapore che viene liberato viene compresso da un compressore che lo porta da 0,009 Bar a 0,123 Bar. Il vapore compresso entra in uno scambiatore, chiamato anche condensatore, il quale viene investito da aria a 30°C che permette la condensazione del vapore dato che a 0,123 Bar la saturazione del vapore avviene a 50°C. A questo punto l'acqua condensata può ritornare nell'evaporatore per differenza di pressione (da 0,123 a 0,009 Bar) passando attraverso una valvola di laminazione e grazie a questo circuito chiuso l'acqua non deve essere ripristinata. Generalmente in queste macchine non viene utilizzata l'acqua perché c'è la necessità di raffreddare anche sotto i 5°C e perché si lavora a pressioni troppo basse. Per questo motivo vengono utilizzate altre sostanze chiamati fluidi frigoriferi i quali arrivano a temperature ben più basse lavorando con pressioni maggiori.



All'interno della macchina frigorifera entra una certa potenza termica q ceduta dal fluido enologico che si raffredda e una potenza meccanica P che serve per far funzionare il compressore. Essendo che, per principio di conservazione dell'energia, ciò che entra è uguale a ciò che esce, la quantità $q + P$ viene ceduta come energia termica dal condensatore all'aria a 30°C.

68. Indicare la peculiarità di una macchina frigorifera ideale di Carnot e scrivere l'espressione della sua efficienza. Dopo aver calcolato quest'ultima si può determinare approssimativamente quella della macchina reale operante tra le stesse temperature di evaporazione e condensazione?

La macchina frigorifera ideale di Carnot presenta delle particolari caratteristiche, ad esempio che la temperatura T_E della sorgente a bassa temperatura rimanga costante (processo isoterma), altrettanto costante deve rimanere anche la temperatura della sorgente ad alta temperatura T_C . Inoltre i processi che avvengono devono essere reversibili, ovvero devono essere senza attriti e devono avvenire molto lentamente (in modo quasi-statico). Si tratta di una macchina ideale per la quale è possibile calcolare il COP, ovvero l'efficienza, anche in funzione delle temperature:

$$COP = \frac{T_E}{T_C - T_E}$$

Utilizzando i valori di $T_E = 278 \text{ K}$ (5°C) e di $T_C = 323 \text{ K}$ (50°C) si può calcolare la COP_c di Carnot:

$$COP_c = \frac{278}{323 - 278} = 6,18$$

Ma nelle macchine frigorifere reali l'efficienza sarà sempre minore perché:

- L'attrito nella valvola di laminazione comporta ad una diminuzione della temperatura del liquido frigorifero determinando una parziale evaporazione di esso e quindi una riduzione

della produzione di freddo. È stato calcolato che circa il 20% del liquido evapora quindi il COP risulta diminuito di un fattore 0,8;

- La mancata quasi-staticità, l'attrito interno del fluido frigorifero, quello dei vari organi meccanici ed altri fattori determinano una riduzione del COP di circa 0,75;
- Nel processo di evaporazione manca l'isotermità perché il vapore formato viene leggermente surriscaldato affinché non trasporti eventuali gocce di liquido verso il compressore che potrebbero recare danni;
- Nel processo di condensazione manca l'isotermità perché il vapore appena compresso avrà una temperatura superiore rispetto a quella di condensazione, questa verrà abbattuta nei primi centimetri del condensatore.

Tutti questi elementi determinano un fattore riduttivo complessivo approssimato a circa 0,5 perciò:

$$COP = \frac{1}{2} COP_c = \frac{1}{2} \frac{T_E}{T_C - T_E}$$

Il valore di COP di una macchina reale vale circa 3,1

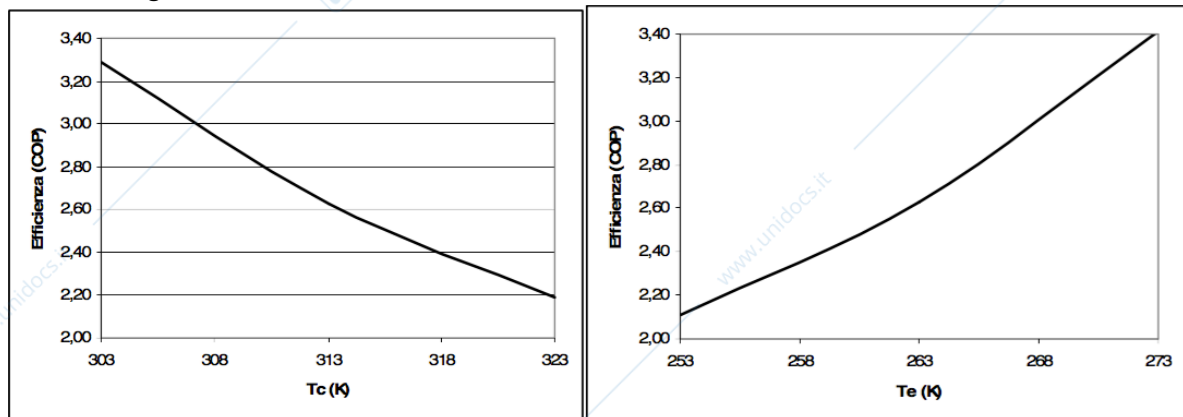
69. Come influisce la temperatura di condensazione e quella di evaporazione sull'efficienza di una macchina frigorifera reale?

Osservando la formula del calcolo dell'efficienza:

$$COP = \frac{T_E}{T_C - T_E}$$

Si nota che COP è direttamente proporzionale alla temperatura di evaporazione, per questo motivo, all'aumentare della T_E aumenta anche l'efficienza, ma non linearmente perché il fattore T_E si riscontra anche sotto frazione.

D'altra parte, all'aumentare della temperatura di condensazione, il compressore chiederà maggiore energia per aumentare la pressione e quindi l'efficienza diminuirà. Questo può essere spiegato tramite dei grafici:



70. Il compressore della macchina frigorifera: quali tipi si usano e quali sono i relativi limiti.

I compressori utilizzati nelle macchine frigorifere si dividono in volumetrici e centrifughi.

I compressori volumetrici si dividono in tre tipi:

- Compressore a pistoni: presenta un pistone inserito in un cilindro il quale muovendosi verso il basso genera un vuoto che aspira il gas e il successivo avanzamento verso l'alto ne provoca la compressione. Sia l'entrata che l'uscita del gas presentano delle valvole che impediscono al gas di ritornare indietro. I compressori a pistoni possono essere:
 - Ermetici: per basse potenze frigorifere e sicuri contro le perdite di gas;
 - Aperti: per alte potenze frigorifere, adatti ad essere smontati ma a rischio di fughe di gas;
 - Semiermetici: per medie potenze, i più utilizzati perché non presentano fughe per il gas ma sono smontabili.

Questo tipo di compressore ha lo svantaggio che il pistone deve fermarsi prima di toccare la testa per evitare di compromettere le valvole e quindi rimane una piccola quantità di gas all'interno che potrebbe essere nocivo. Ha come pregio il fatto di essere prodotto su larga scala e quindi è molto sviluppato;

- Compressore a vite doppia: le due viti creano una camera che grazie alla rotazione permette la compressione del gas e il suo avanzamento. Ha il vantaggio che non rimane gas nella camera di compressione ed ha un rendimento maggiore rispetto a quelli a pistoni. Ha per contro però che necessita di una grande quantità di olio e quindi è necessaria una stazione di pulizia del gas dall'olio. Viene utilizzato per alte potenze frigorifere;
- Compressori scroll: sono formati da due spirali accoppiate fra loro, una delle due rimane fissa mentre l'altra è dotata di movimento orbitale. Questo particolare movimento permette di creare delle tasche dove il gas viene compresso per poi essere mandato all'esterno. Hanno elevati rendimenti con bassi ingombri ma possono essere utilizzati su unità di piccole dimensioni, per quelle grandi basterà accoppiare più di un compressore.

I compressori centrifughi funzionano come una pompa centrifuga tranne che la velocità di rotazione della girante è di circa 30.000 giri al minuto. Le pale della girante trasferiscono l'energia al gas aumentandone la pressione.

71. Il condensatore della macchina frigorifera: quali tipi si usano e quali sono i relativi limiti.

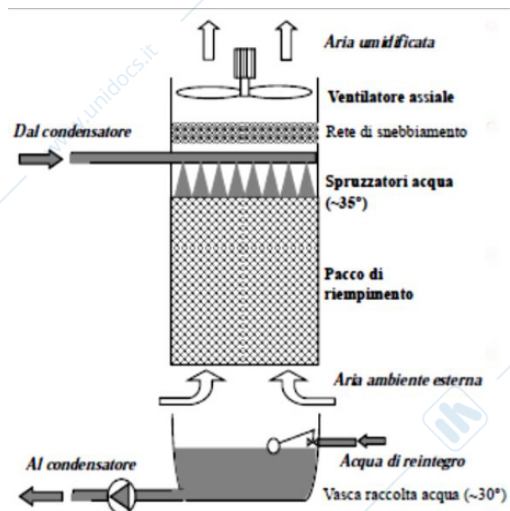
Il condensatore ha lo scopo di raffreddare il liquido frigorifero fino a portarlo alla temperatura di evaporazione per quella determinata pressione. Esistono condensatori ad aria e ad acqua.

Nei condensatori ad aria viene fatto scorrere il liquido frigorifero all'interno di una serie di tubi alettati mentre l'aria scorre all'esterno grazie ad un ventilatore lambendo le alette e riscaldandosi.

Nei condensatori ad acqua vengono utilizzati degli scambiatori, a fascio tubiero o a piastre saldate, nel quale l'acqua è il liquido di raffreddamento mentre il liquido frigorifero è ciò che deve essere raffreddato.

72. Schematizzare una torre evaporativa, indicandone il principio di funzionamento e i vari elementi costituenti.

La torre evaporativa, o torre di raffreddamento, è composta da una struttura di contenimento con alla base una vasca di raccolta dell'acqua e delle aperture per la circolazione dell'aria indotta da un ventilatore posto superiormente. All'interno è presente un sistema di distribuzione dell'acqua e degli elementi plastici posti alla rinfusa che impongono all'acqua un percorso tortuoso. L'entrata dell'aria all'interno della torre permette il passaggio di calore dall'acqua all'aria per effetto dell'evaporazione dell'acqua data la ridotta umidità atmosferica. Questo processo viene effettuato per portare l'acqua utilizzata nel condensatore da una temperatura di 35°C a 30°C in modo da poterla riutilizzare con una perdita di liquido dell'1% che verrà poi reintegrata attraverso un'apposita valvola.



73. Specificare le caratteristiche che deve possedere un buon fluido frigorifero.

Un buon liquido frigorifero non deve essere esplosivo, tossico, corrosivo e non inquinare. Inoltre non deve miscelarsi con il liquido lubrificante del compressore, deve avere un costo basso ed essere facilmente rilevabile in caso di perdite. Deve infine evaporare a basse temperature (con pressione atmosferica) ed essere dotato di alta densità e alto calore latente permettendo la

costruzione di impianti contenuti. I fluidi che meglio rappresentano queste caratteristiche sono l'ammoniaca e il freon.

74. Indicare le caratteristiche dei freon.

I freon sono degli idrocarburi ai quali vengono sostituiti tutti o parte degli idrogeni con alogenuri quali fluoro e cloro. Il primo ad essere sviluppato fu l'R12 con formula bruta CF_2Cl_2 che bolle a $-29,8^\circ C$. questo è stato bandito perché ritenuto responsabile del buco nello strato dell'ozono per colpa degli atomi di cloro.

Per questo motivo è stato introdotto un altro liquido, l'R22, con formula bruta CHF_2Cl con temperatura di ebollizione di $-40,8^\circ C$. In questo sono stati ridotti gli atomi di cloro ma è stato comunque bandito per danni ambientali.

I fluidi che sono stati creati successivamente non presentavano più atomi di cloro, di questi il principale è l'R134 che bolle a $-26,1^\circ C$. In seguito furono create delle miscele di gas di due o più fluidi con temperature di ebollizione diverse: R404, R407 e R410.

Questi fluidi hanno il vantaggio di essere poco tossici, non infiammabili, di evaporare a basse temperature e di avere un'elevata densità e calore latente. Hanno per contro però di essere inodori, dunque non identificabili, di essere miscibili con gli oli del compressore e di costare 8 volte di più rispetto all'ammoniaca.

75. Indicare le caratteristiche dell'ammoniaca quale fluido frigorifero.

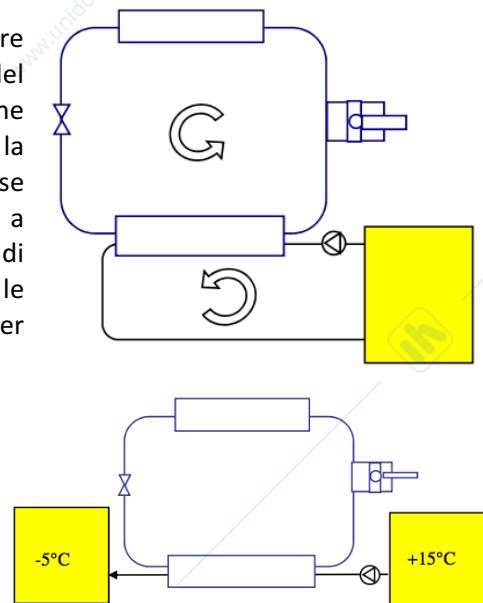
L'ammoniaca è nota con la sigla R717. Ha il vantaggio di avere un'elevata densità e calore latente, di evaporare a basse temperature, di non miscelarsi con gli oli lubrificanti, di essere facilmente rilevabile grazie al suo odore pungente e di avere un basso costo non creando problemi all'ozono. Ha per contro però il fatto di essere corrosiva verso il rame, esplosiva se miscelata con aria e tossica a basse concentrazioni. Per questi motivi l'ammoniaca viene utilizzata solamente nei grandi magazzini di conservazione mentre nelle cantine è stata sostituita dal freon.

76. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, cos'è la refrigerazione diretta in ciclo chiuso e in ciclo aperto. Qual è poi il suo principale impiego in cantina.

La refrigerazione diretta consiste nel raffreddare il fluido enologico tramite il fluido frigorifero all'interno di uno scambiatore che funge anche da evaporatore. Questo tipo di refrigerazione può essere effettuata in ciclo chiuso o aperto.

In ciclo chiuso il fluido enologico viene fatto ricircolare nell'evaporatore finché la temperatura del vino in vasca non scende al valore desiderato. Essendo che questo metodo viene utilizzato principalmente per la stabilizzazione tartarica e quindi il vino viene portato a basse temperature ($-5^\circ C$), lo scambiatore nell'evaporatore è a corpo raschiato per evitare la formazione di cristalli di ghiaccio. Viene utilizzato nelle piccole cantine dove le macchine frigorifere non hanno sufficiente potenza per abbassare la temperatura in un solo passaggio.

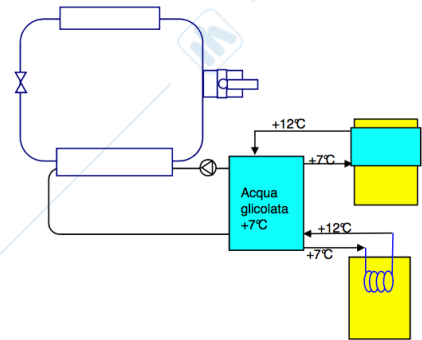
In ciclo aperto il liquido enologico viene prelevato dalla vasca, fatto passare per l'evaporatore una sola volta e mandato in una seconda vasca di raccolta. Qui il vino passa dalla temperatura di $15^\circ C$ a $-5^\circ C$ perciò la potenza frigorifera deve essere alta. Inoltre l'evaporatore è formato da due scambiatori: prima uno a fascio tubiero dove il vino passa da $+15^\circ C$ a $0^\circ C$ e poi in uno a corpo raschiato dove passa da $0^\circ C$ a $-5^\circ C$. Questo viene fatto per contenere i costi dato l'elevato costo dello scambiatore a corpo raschiato. Anche questo metodo di refrigerazione viene utilizzata principalmente per la stabilizzazione tartarica.



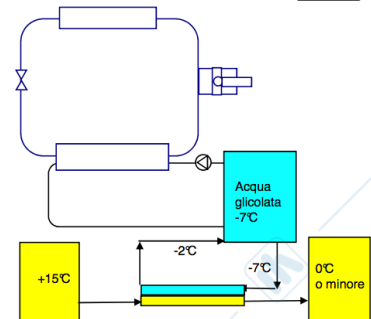
77. Spiegare, anche con l'aiuto di uno schema, cos'è la refrigerazione indiretta con sistema chiuso e con sistema aperto. Quali sono poi i principali impieghi in cantina.

La refrigerazione indiretta consiste nel raffreddare il liquido enologico tramite l'ausilio di un fluido di servizio precedentemente raffreddato nell'evaporatore tramite il fluido frigorifero. Il fluido di servizio viene stoccato in un recipiente isolato e può essere prelevato nel momento del bisogno. Questo tipo di refrigerazione può essere effettuata in ciclo chiuso o aperto.

In ciclo chiuso il liquido enologico rimane all'interno del proprio serbatoio il quale è provvisto di una camicia esterna o di una serpentina immersa nel serbatoio. Il fluido di servizio viene inviato nella rispettiva camera dove raffredderà il vino. Questo sistema viene utilizzato per controllare la temperatura durante la fermentazione, per la criomacerazione o per la defecazione del mosto. In questo caso l'acqua glicolata non deve essere particolarmente fredda, basta infatti $+7^{\circ}\text{C}$.



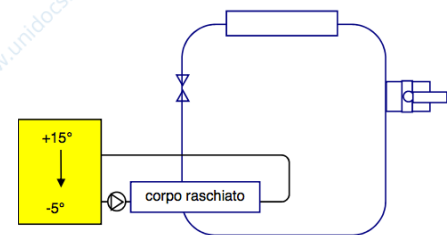
In ciclo aperto il fluido enologico viene raffreddato dall'acqua glicolata tramite uno scambiatore che può essere a fascio tubiero, tubo in tubo, spirale o piastre. Il liquido enologico viene quindi prelevato da una pompa, inviato nello scambiatore ed inviato ad un secondo serbatoio. Questo tipo di refrigerazione viene utilizzata per effettuare la stabilizzazione tartarica per contatto a 0°C con l'acqua glicolata a -7°C oppure per raffreddare i mosti per la criomacerazione o la defecazione e in questo caso viene utilizzata acqua glicolata a $+7^{\circ}\text{C}$.



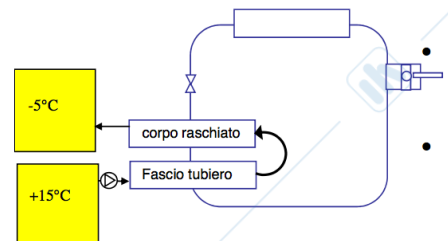
78. Disegnare lo schema dell'impianto di stabilizzazione tartarica tradizionale senza recupero delle frigorifere. Indicare compiutamente i vari elementi, le temperature in gioco e il principio di funzionamento.

L'impianto di stabilizzazione tartarica tradizionale senza recupero delle frigorifere può essere a ciclo chiuso o aperto.

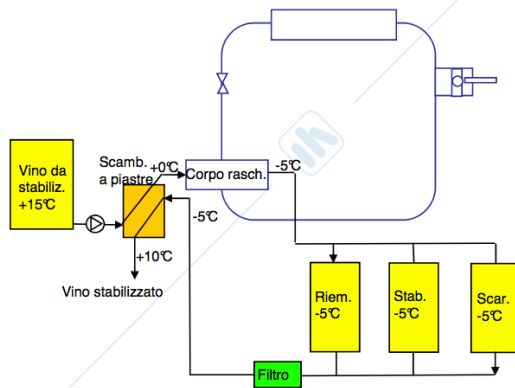
Nell'impianto a ciclo chiuso il vino a $+15^{\circ}\text{C}$ viene fatto riciclare continuamente all'interno di uno scambiatore a corpo raschiato, che funge anche da evaporatore, per essere raffreddato a -5°C . A questo punto viene lasciato a quella temperatura per circa 5-10 giorni. Questo metodo viene utilizzato nelle piccole cantine dove le macchine frigorifere non hanno sufficiente potenza per abbassare la temperatura in un solo passaggio.



Nell'impianto a ciclo aperto il vino fa un solo passaggio attraverso l'evaporatore per poi essere mandato in una seconda vasca passando da $+15^{\circ}\text{C}$ a -5°C . L'evaporatore è formato da due scambiatori: prima uno a fascio tubiero (perché meno costoso) dove il vino passa da $+15^{\circ}\text{C}$ a 0°C e poi in uno a corpo raschiato dove passa da 0°C a -5°C . Una volta raffreddato, il vino rimane in vasca per circa 5-10 giorni.



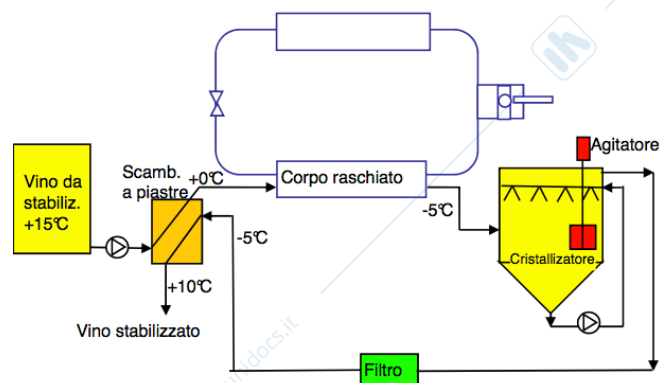
79. Disegnare lo schema dell'impianto di stabilizzazione tartarica tradizionale con recupero delle frigorifere. Indicare compiutamente i vari elementi, le temperature in gioco e il principio di funzionamento.



Questo sistema viene applicato per ridurre i consumi dell'impianto di stabilizzazione tartarica diretta a ciclo aperto applicando un sistema di recupero delle frigorifere. Questo consiste nel far passare il vino da stabilizzare a $+15^{\circ}\text{C}$ in un primo scambiatore a piastre dove il liquido di raffreddamento è il vino stabilizzato a -5°C che porta il vino da stabilizzare a 0°C e successivamente questo entrerà all'interno dell'evaporatore (scambiatore a corpo raschiato) per arrivare a -5°C . Essendo che per la stabilizzazione ci vogliono 5-10 giorni, è necessario porre tre serbatoi per far diventare il processo in continuo. Il serbatoio che viene scaricato passa per un filtro che elimina i cristalli e successivamente viene inviato allo scambiatore a piastre che lo porterà a $+10^{\circ}\text{C}$ raffreddando il vino da stabilizzare.

80. Disegnare lo schema dell'impianto di stabilizzazione tartarica rapida in continuo. Indicare compiutamente i vari elementi, le temperature in gioco e il principio di funzionamento. Specificare i vantaggi e gli svantaggi rispetto a quella tradizionale.

Questo processo consiste nel far passare il vino da stabilizzare a $+15^{\circ}\text{C}$ in un primo scambiatore a piastre dove il liquido di raffreddamento è il vino stabilizzato a -5°C che porta il vino da stabilizzare a 0°C e successivamente questo entrerà all'interno dell'evaporatore (scambiatore a corpo raschiato) per arrivare a -5°C . Una volta fatto questo il vino viene inviato in un recipiente a fondo tronco-conico chiamato cristallizzatore. Questo è dotato di agitatore e ricircolazione del vino freddo che lo inietta superiormente tramite degli spruzzatori per aumentare il contatto fra i cristalli generati nella massa e il vino freddo instabile permettendo una stabilizzazione in sole 5 ore. Il vino stabilizzato viene prelevato dall'alto e filtrato, successivamente viene inviato allo scambiatore a piastre che lo porterà a $+10^{\circ}\text{C}$ raffreddando il vino da stabilizzare.

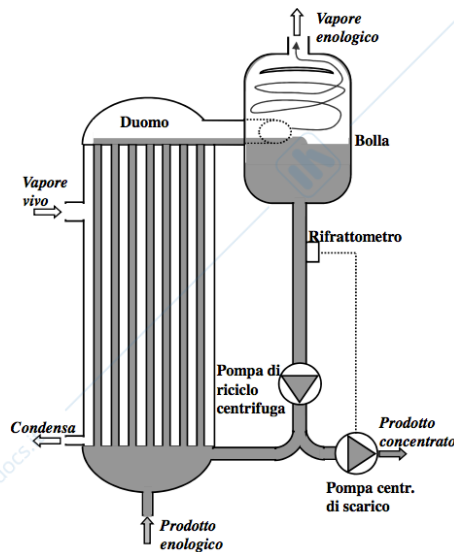


Questo sistema ha il vantaggio di effettuare la stabilizzazione in breve tempo ma è adatto alle grandi realtà produttive perché le fasi di avvio sono molto laboriose data la necessità di immettere un'adeguata dose iniziale di cristalli.

81. Disegnare lo schema dell'impianto di stabilizzazione tartarica rapida per contatto. Indicare compiutamente i vari elementi, le temperature in gioco e il principio di funzionamento. Specificare i vantaggi rispetto a quella in continuo.

Questo sistema di stabilizzazione può essere attuato anche tramite la refrigerazione indiretta non essendo necessarie temperature molto basse. Il vino da stabilizzare viene inviato in un primo scambiatore a piastre dove passa da $+15^{\circ}\text{C}$ a $+5^{\circ}\text{C}$ grazie al passaggio in controcorrente del vino precedentemente stabilizzato. Successivamente entra in un ulteriore scambiatore a piastre dove, grazie all'acqua glicolata a -7°C , il vino viene raffreddato a 0°C . Per rendere il processo continuo, e quindi sfruttare il freddo del vino stabilizzato, è necessario utilizzare la tecnica dei tre serbatoi. Il vino stabilizzato viene prelevato dal serbatoio di scarico ed inviato ad una centrifuga che separa il limpido dai cristalli. Il limpido viene inviato allo scambiatore a piastre che lo porterà a $+10^{\circ}\text{C}$

83. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice schema, un concentratore a flusso ascendente (a grimpaggio) a circolazione forzata indicandone i pregi e difetti.



È composto da uno scambiatore a fascio tubiero verticale nel quale il liquido enologico corre all'interno dei tubi e riceve calore dal vapore vivo inviato all'interno così da raggiungere la temperatura di ebollizione eliminando parte dell'acqua presente. Il liquido e il vapore formati vengono convogliati in una bolla dove il vapore, entrando ad alta velocità, assume un moto rotatorio permettendo alle goccioline di liquido di attaccarsi alle pareti e scivolare verso il basso mentre il vapore tende ad uscire dall'alto. La bolla è collegata all'evaporatore anche tramite un tubo di ricircolo del prodotto dal quale una pompa lo preleva e lo invia di nuovo all'evaporatore. Qui è presente una biforcazione dove da una parte è collegata una pompa di scarico per la fuoriuscita del prodotto concentrato la quale viene attivata da un rifrattometro messo appena sotto la bolla che rileva la concentrazione e decide se azionare o no la pompa di scarico.

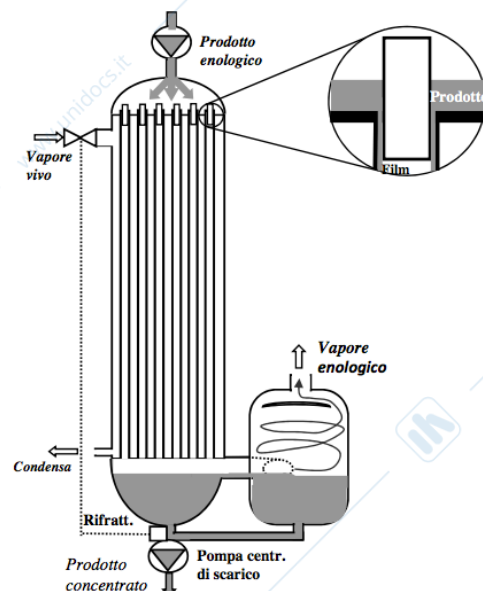
La differenza di temperatura tra il vapore vivo e il vino è di circa 10°C e grazie anche all'elevata velocità del ricircolo i tubi si trovano pieni di liquido fino alla cima, l'evaporazione quindi avviene quando il liquido affiora nel duomo superiore e anche nella bolla.

Questo concentratore ha il pregio di avere un salto termico basso e può raggiungere gradi di concentrazione elevati; inoltre può essere posizionato anche in orizzontale così da avere un minor ingombro verticale. Ha per contro però l'elevata complessità costruttiva che determina un alto costo di investimento e tempi di permanenza del mosto elevati.

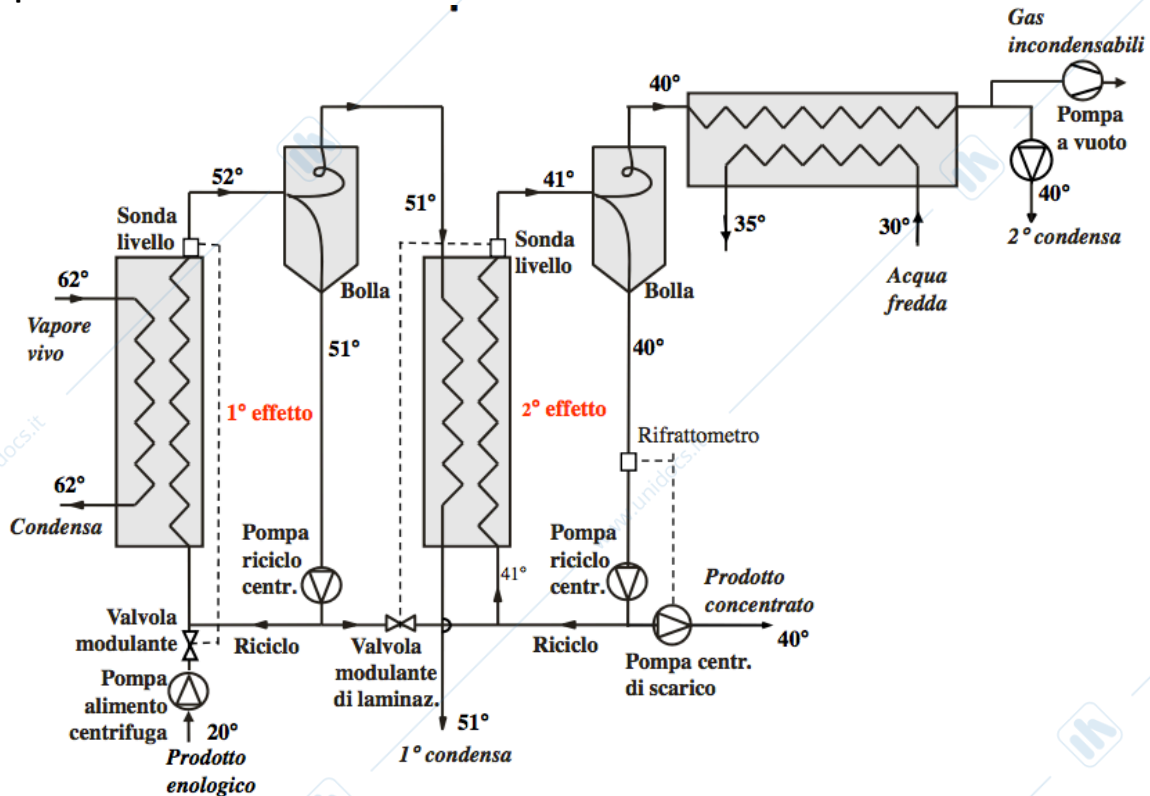
84. Spiegare, anche con l'aiuto di un semplice, un concentratore a flusso discendente (film cadente) indicandone i pregi e difetti.

Il fluido enologico viene distribuito dalla sommità del duomo da una pompa. In ogni tubo dello scambiatore è presente un tronchetto di tubo con diametro leggermente più piccolo in modo da permettere il passaggio del fluido enologico solamente lungo le pareti dei tubi formando un sottile strato chiamato film. Questo tipo di evaporatore prevede un unico passaggio del mosto nello scambiatore a patto che l'altezza sia elevata (8-12 m) e lo strato di liquido sia sottile e uniforme. Il liquido e il vapore che scendono vengono convogliati in una bolla dove il vapore, entrando ad alta velocità, assume un moto rotatorio permettendo alle goccioline di liquido di attaccarsi alle pareti e scivolare verso il basso mentre il vapore tende ad uscire dall'alto.

Questo concentratore ha il pregio di avere una piccola differenza di temperatura fra il vapore vivo e il mosto ($8-10^{\circ}\text{C}$) e di avere tempi di permanenza ridotti. Ha per contro però la complessità costruttiva e quindi il costo di investimento e anche l'elevato ingombro verticale.



85. Disegnare lo schema di un concentratore a due effetti e indicare il risparmio di energia rispetto a un monoeffetto. NB: bisogna indicare i vari elementi dell'impianto specificando la loro funzione.

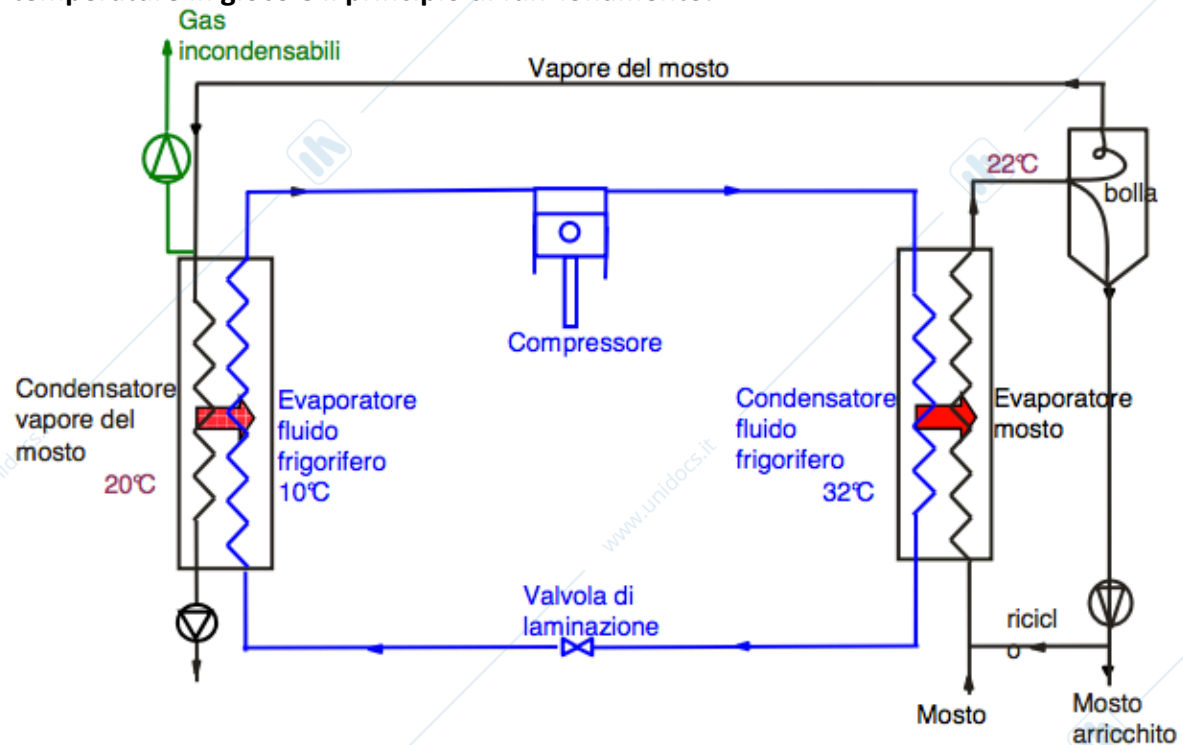


Un evaporatore a due effetti è composto da due evaporatori con al termine un condensatore che condensa il vapore formato dal mosto per permettere il mantenimento della depressione desiderata lungo tutta la macchina.

Nel primo evaporatore viene inviato del vapore vivo a 62°C in modo da far evaporare il vino a 52°C (perché si trova alla pressione per cui a 52°C bolle), il vapore formato passa attraverso la bolla (per colpa delle perdite di carico perde 1°C) e viene inviato in un secondo evaporatore mentre il mosto viene fatto passare attraverso una valvola di laminazione che ne diminuisce la pressione portando la temperatura di ebollizione a 41°C. Anche il mosto viene inviato nel secondo evaporatore nel quale subisce una seconda ebollizione grazie alla presenza del vapore a 51°C prelevato in precedenza. A questo punto il liquido verrà raccolto nella bolla dove viene fatto ricircolare o viene espulso mentre il vapore entra in un condensatore dove grazie a dell'acqua a 30°C viene fatto condensare in modo da creare la depressione necessaria nella macchina per lavorare a così basse temperature.

Rispetto a quello a singolo effetto, questo concentratore necessita di metà del vapore vivo per concentrare la stessa quantità di mosto e quindi si risparmia metà energia. Si può affermare che per ogni kg di vapore vivo si producono 2kg di vapore enologico.

86. Disegnare lo schema di un arricchitore di mosto per evaporazione che utilizza la macchina frigorifera-pompa di calore. Indicare compiutamente i vari elementi, le temperature in gioco e il principio di funzionamento.



Oltre che con l'osmosi inversa, è possibile aumentare il grado zuccherino anche tramite evaporazione a temperatura ambiente grazie alla presenza di un condensatore che condensa il vapore enologico a 20°C e quindi determina una diminuzione della pressione tale che il mosto possa evaporare a 22°C (leggermente di più perché sono presenti le perdite di carico). L'arricchitore viene fatto funzionare grazie alla presenza di una macchina frigorifera. Nell'evaporatore il mosto riceve calore dalla condensazione del fluido frigorifero che avviene a 32°C e quindi scalda il mosto a 22°C, questo entra nella bolla dove viene separato il vapore che entra nel condensatore e viene raffreddato grazie all'evaporazione del liquido frigorifero.