

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI AGRARIA E MEDICINA VETERINARIA
CORSO DI LAUREA IN VITICOLTURA ED ENOLOGIA

CONFRONTO TRA FILTRAZIONE TANGENZIALE E FILTRAZIONE
TRADIZIONALE DI FONDI DI CHIARIFICA DEL VINO

Relazione finale in
Meccanizzazione viticola e impianti enologici

Relatore

Fabio Pezzi

Presentata da

Marco Curci

Correlatore

Ettore Sangiorgi

Sessione unica

Anno Accademico 2019 – 2020

Indice:

Capitolo 1 – Introduzione	» 4
Capitolo 2 – La filtrazione	» 6
2.1. Tipologia di filtrazione	» 8
2.2. Metodi di filtrazione	» 9
2.2.1. Filtrazione con prepannello ad alluvionaggio continuo	» 10
2.2.2. Filtro pressa con strati filtranti	» 11
2.2.3. Filtro Housing tradizionale a membrana	» 12
2.3. Parametri tecnici che caratterizzano i mezzi filtranti	» 13
2.4. Coadiuvanti di filtrazione	» 15
2.4.1. Perlite	» 15
2.4.2. Farina fossile	» 16
2.4.3. Cellulosa	» 17
Capitolo 3 – Filtrazione sottovuoto tradizionale	» 18
3.1. . Impianto del filtro sottovuoto rotativo	» 19
Capitolo 4 - Filtrazione tangenziale	» 21
4.1. Impianto di filtrazione tangenziale	» 23
4.2. Le membrane	» 25
4.2.1. Materiali polimerici	» 25
4.2.2. Materiali ceramici e minerali	» 26
4.3. Configurazioni geometriche delle membrane	» 27
4.4. La produttività	» 28
Capitolo 5 – La ricerca	» 30
Capitolo 6 – Materiale e metodi	» 31
6.1. Fondi di chiarifica per flottazione	» 32

6.2. Tecniche utilizzate	» 33
6.2.1. La flottazione	» 33
6.2.2. Filtro tangenziale “OMNIA”	» 38
6.2.3 Filtrazione di superficie con rotativo “TAYLO”	» 42
6.3. Modalità di lavorazione della cantina.....	» 45
Capitolo 7 – Discussione dei risultati	» 47
7.1. Operatività degli impianti	» 47
7.2. Valutazioni analitiche	» 48
7.3. Valutazioni operative ed economiche	» 51
Capitolo 8 – Conclusioni	» 58
Bibliografia	» 59
Sitografia	» 60

1. Introduzione

L'innovazione tecnologica che ha coinvolto il settore alimentare negli ultimi trent'anni è sempre stata mirata al produrre più quantità e qualità con una maggiore semplicità e minor spesa possibile. È un andamento sempre più in crescita che porta questo settore a sviluppare innovazioni che adoperano fenomeni fisici e/o chimici presenti in natura, spesso rivisitando e prendendo spunto dalle tecniche tradizionali. La realizzazione di questo fine tecnologico si è attuata grazie a università e aziende costruttrici in collaborazione con le aziende vitivinicole, che, conoscendo la linea di produzione e i bisogni sempre in evoluzione, formano un triangolo produttivo efficiente sempre più legato all'aumento della dimensione delle aziende vitivinicole (Istat, 2015). La ricerca si è applicata molto nell'ambito della "Filtrazione" in quanto è sempre più fondamentale produrre un prodotto che sia gradevole alla vista e al gusto del consumatore, il vino torbido o con un evidente deposito sul fondo del calice può essere percepito come un segno sgradevole da parte del cliente come segno di deterioramento del prodotto. Questa limpidezza del prodotto deve mantenersi soprattutto nella parte finale della produzione di un vino, ma è anche fondamentale nelle parti preliminari della filiera di produzione. Infatti il mosto delle uve quando non è ancora fermentato deve subire una separazione dalle sostanze presenti sulle uve che arrivano in cantina, in quanto si possono avere fermentazioni indesiderate o attacchi di batteri che portano alla formazione di molecole non idonee con il prodotto finale. Una delle tecniche preliminari sempre più usate è quella della Flottazione che è in grado di concentrare tutte le sostanze che creano torbidità, separandole dal mosto e abbassando così la sua torbidità (>100 NTU). Il prodotto così separato è ricco di solidi sospesi ed ha un'elevata quantità di liquido, che estratto porta all'azienda un guadagno quantitativo di vino. In questo punto è importante estrarre più liquido possibile da questo concentrato mantenendo la qualità dell'estratto alta, per il soddisfacimento del consumatore.

Il primo requisito del consumatore che si deve rispettare solitamente è quello visivo, perché è il primo senso che viene utilizzato nel giudicare un vino piuttosto che un altro, qui la filtrazione trova il suo principale impiego, quello di fornire vini puliti limitando il più possibile perdite di struttura del vino. Dagli anni '80, il settore enologico fu colpito da una nuova tecnica di filtrazione, applicata già in altri settori alimentari, la microfiltrazione tangenziale, che sembrò il metodo di filtrazione in grado di sostituire quella tradizionale, e quindi di compensare i suoi limiti per la

qualità del vino. Si presentarono sul mercato i primi impianti pilota di filtrazione tangenziale; le prime applicazioni sperimentali in campo enologico vennero effettuate con membrane inadatte al prodotto da trattare. Ciò comportò delle modifiche alla qualità organolettica dei vini trattati, oltre che un aumento sostanziale della temperatura durante il processo che prevedeva numerosi ricircoli che generano energia e quindi calore denaturando il prodotto e avviando fermentazioni non desiderate. Grazie alle successive migliorie ed allo sviluppo di membrane costruite con materiali adatti, studiati ed elaborati dopo una migliore comprensione dei composti coinvolti nel fenomeno di deposito sulla superficie delle membrane, la tecnica di microfiltrazione tangenziale è divenuta ben accettata nel settore enologico ed ampiamente usata nelle cantine (El Rayess et al; 2011). Essa ha permesso il raggiungimento degli obiettivi, come assicurare ottimi livelli di chiarifica (inferiore a 2 NTU), ed abbassare nettamente la carica microbica, senza tuttavia modificare importanti parametri analitici come polifenoli, densità ottica, SO₂ libera e acidità volatile. La microfiltrazione tangenziale ha inoltre eliminato del tutto i coadiuvanti di filtrazione e i relativi costi legati alla loro fornitura, con maggiore tutela dell'ambiente e della salute degli operatori.

2. La Filtrazione

La filtrazione è un'operazione unitaria di separazione meccanica in cui una fase solida insolubile, di una sospensione solido-liquida, è separata dalla fase utilizzando una membrana o un setto poroso.

Il flusso del filtrato può essere dovuto solo all'azione della gravità; all'applicazione di una pressione maggiore della pressione atmosferica al di sopra del mezzo filtrante (cioè al fluido da filtrare, Fig. 1) o all'applicazione del sottovuoto al di sotto del mezzo filtrante (cioè al filtrato). Il fluido si muoverà sempre verso una pressione inferiore rispetto la propria.

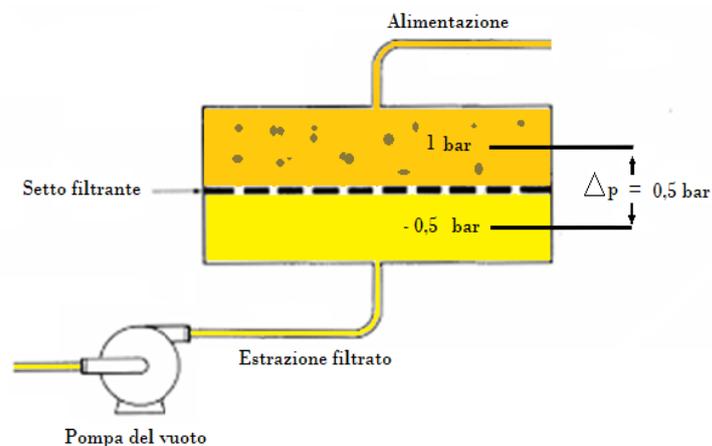


Figura 1 – Filtrazione per depressione in uscita

In base alla continuità di filtrazione esistono filtri:

- Discontinui, nei quali l'allontanamento del deposito e del filtrato, o la rigenerazione del mezzo filtrante richiedono la sospensione della filtrazione.
- Continui, in cui non solo la sospensione torbida e il filtrato sono alimentati e scaricati in continuo, ma anche il setto filtrante viene continuamente rigenerato per evitare che i pori non si occludano bloccando la filtrazione.

Nel settore enologico, le particelle solide da eliminare, possiedono caratteristiche, dimensioni e proprietà fisiche diverse tra loro, si classificano in: “Particelle solide in dispersione colloidale” formate da macromolecole o aggregati di molecole presenti allo stato di sol o di gel, molto comprimibili e ad elevata azione impaccante (gomme, mucillagini, pectine, fosfato di Fe, solfuro di Cu, sostanze tanniche, coloranti, proteine, residui di chiarificanti ecc.); “particelle solide in sospensione” costituite da colloidali flocculati, piuttosto comprimibili e ad elevato potere impaccante, da microrganismi (batteri, lieviti, muffe) mediamente comprimibili e di

medio potere impaccante, da precipitati salini (sali di acidi organici e/o minerali) poco impaccanti e indeformabili, nonché da residui di trattamenti precedenti (farina fossile, carboni decoloranti e/o deodoranti, fibre provenienti da precedenti filtrazioni ecc.) non comprimibili e poco impaccanti.

Di seguito si riportano le dimensioni caratteristiche delle diverse particelle presenti nel vino:

- solidi sospesi → 1÷100 micrometri;
- lieviti → 1÷8 micrometri;
- batteri → 0,5÷1 micrometri;
- polisaccaridi → 50.000÷200.000 dalton;
- proteine, tannini, antociani polimerizzati → 10.000÷100.000 dalton;
- polifenoli ed antociani → 500÷2.000 dalton;
- sostanze volatili → 20÷60 dalton.

I tipi di mezzi filtranti da impiegare nel processo di filtrazione possono essere di tre tipi, che si differenziano in base alla loro struttura e ai materiali di cui sono formati:

- Un “telo” di materiale sintetico o di rete metallica, che fa da supporto ad un coadiuvante di filtrazione polverulento, per la creazione prima del prepannello e poi di un deposito “pannello di filtrazione”;
- Una “membrana” di materiale polimerico o ceramico di spessore dell’ordine di 2÷3 decimi di millimetro.
- Un “cartone” di cellulosa e di altri materiali polverulenti, quali ad esempio la farina fossile opportunamente compattati e con spessore dell’ordine di 5mm;

I diversi processi di filtrazione si classificano in base al grado di separazione voluta ed ai mezzi di filtrazione impiegati:

- Filtrazione standard: è effettuata con flusso frontale tradizionale o tangenziale con mezzi filtranti diversi (teli di tessuti naturali o sintetici, prepannelli, strati filtranti piani o lenticolari, membrane), utilizzata per vari scopi in enologia (filtrazione per illimpidire i mosti e vini torbidi, i fondi di decantazione statica di mosti, di fondi di deposito dopo collaggio o travaso dei vini, nei processi di stabilizzazione tartarica, ecc.).
- Microfiltrazione (0,05–5 µm): agisce con pressioni di 0,5–2 bar, con membrane a flusso tangenziale o frontale oppure cartoni filtranti a flusso

frontale tradizionale (utilizzata in enologia nei processi di chiarifica e/o sterilizzazione).

- Ultrafiltrazione (0,1–0,01 μm): agisce con pressioni di 2–10 bar, con membrane a flusso tangenziale.
- Nanofiltrazione (0,01–0,001 μm): agisce con pressione di 10–30 bar, con membrane a flusso tangenziale.
- Osmosi inversa (< 100 dalton): elevate pressioni che si aggirano tra i 30–100 bar, con membrane a flusso tangenziale, utilizzata per l'eliminazione dell'acqua in diversi processi di concentrazione e/o separazione di sostanze, in una soluzione a basso peso molecolare. In enologia è autorizzata soltanto nell'operazione di concentrazione degli zuccheri nei mosti, quindi del titolo alcolometrico volumico.

2.1. Tipologia di filtrazione:

Ci sono due meccanismi di filtraggio del vino:

- Filtrazione di superficie (o detta per setacciamento), cioè il filtraggio del vino così fatto ferma le particelle con l'uso di pori più piccoli delle particelle stesse, facendo passare il liquido che in base alla porosità del setto filtrante bloccherà particelle di una determinata dimensione. Man mano che il filtraggio procede, il vino diventa sempre più limpido, ma diminuisce la portata.

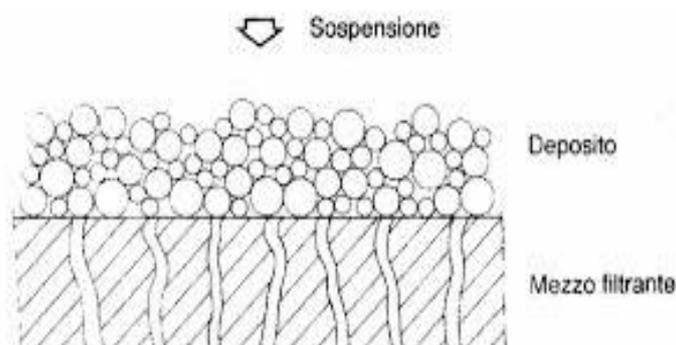


Figura 2 - Filtrazione di superficie

- Filtrazione di profondità (o detta per assorbimento), nella quale grazie a un'attrazione esercitata dalla massa filtrante vengono arrestate le particelle. Questa tecnica prevede un setto filtrante con capillari costituenti i pori, e le particelle vengono trattenute lungo il canale, il setacciamento intercorre

inevitabilmente nella filtrazione, indebolendola o annullandola in quanto i capillari vengono ostruiti dalle particelle. Nelle filtrazioni si usano diversi mezzi filtranti perché oltre all'azione di inerzia (sedimentazione fisica) nel passaggio del liquido attraverso il setto filtrante intercorrono anche altre due forze: la forza elettrostatica e la forza di adsorbimento che sono funzione delle particelle da separare e dalla costituzione del setto filtrante.

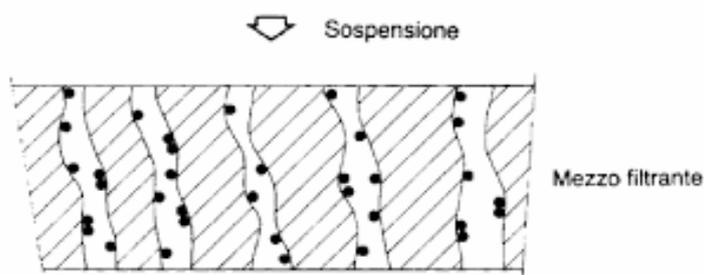


Figura 3 – Filtrazione di profondità

La differenza sostanziale delle due filtrazioni è la superficie di contatto con le impurità da filtrare del prodotto, in quanto nella filtrazione di superficie ho un limite determinato da un colmataggio più veloce rispetto alla filtrazione di profondità che nonostante preveda fenomeni di setacciamento come quella di superficie i canali filtranti determinano una minor ostruzione del setto filtrante consentendo maggiore capacità di filtrazione.

2.2. Metodi di filtrazione

La filtrazione del mosto e del vino avviene riducendo la torbidità del prodotto man mano che si raggiunge il vino finale, e quindi riducendo i setti filtranti per concentrare sostanze che hanno diametro sempre più piccolo per ottenere un vino limpido e sicuro microbiologicamente.

Si fanno diverse filtrazioni con diametro dei pori o canali sempre più stretti perché se si andasse a filtrare direttamente un prodotto che ha molte sostanze grossolane con canali molto stretti che consentirebbero un buon risultato in termini di limpidezza, la filtrazione non avverrebbe o almeno in parte, per via dell'ostruzione dei setti filtranti che causa il colmataggio dei filtri e la mancata estrazione di liquido dall'impianto. La torbidità è misurata in NTU (Nephelometric Turbidity Units) da uno strumento chiamato nefelometro che consente una misurazione oggettiva della luce diffusa in una data direzione. Il nefelometro effettua la misurazione nella

direzione perpendicolare a quella del fascio incidente (Ribéreau Gayon et al., 2010). In linea di massima si può affermare che il vino con $NTU < 2$ abbiamo un vino limpido, al di sopra può essere torbido, questo risultato di NTU lo raggiungiamo eseguendo più di una filtrazione nel corso del processo produttivo del vino, con diversi impianti :

- Filtrazione a prepannello ed alluvionaggio continuo;
- Filtrazione in profondità su cartoni o strati filtranti;
- Filtrazione tradizionale su membrana;
- Filtrazione tangenziale su membrana.

Queste diverse tecniche prevedono l'utilizzo di coadiuvanti o setti filtranti permanenti, ciò che le aziende scelgono come tecnica di filtrazione è mirata allo scopo di ridurre il numero di operazioni, i tempi di lavoro, l'utilizzo di coadiuvanti e soprattutto i costi di produzione, ma ottenendo alla fine del processo un prodotto di qualità sempre maggiore.

La tecnica del flusso tangenziale, applicato alla filtrazione su membrana; ha dato ottimi risultati puntati a dare un prodotto di qualità superiore alle altre filtrazioni e un costo di produzione relativamente più basso. Questa evoluzione ha aperto nuove frontiere su tutto il processo di vinificazione.

2.2.1. Filtrazione con prepannello ad alluvionaggio continuo

La filtrazione in questo caso si ottiene elaborando il prepannello con l'aggiunta di coadiuvante di filtrazione (farina fossile, perlite o cellulosa) che vengono immessi in continuo nella condotta di alimentazione del filtro (alluvionaggio continuo).

La realizzazione del prepannello avviene addizionando in una vasca di piccole dimensioni, mantenendo la massa mescolata con un agitatore, una determinata quantità di coadiuvante di filtrazione in acqua oppure mosto o vino già filtrati. La miscela ottenuta viene mandata in un ricircolo dalla camera di filtrazione, dove è posto il supporto di filtrazione sul quale depositerà il coadiuvante e impurità, nel recipiente dove si elaborava la miscela, si gestisce il tutto con il circuito chiuso.

Sulla maglia metallica del supporto di filtrazione si formerà il setto filtrante grazie ai coadiuvanti in sospensione nella miscela che si depositano progressivamente su di esso, fino a formare uno strato uniforme, detto per l'appunto "prepannello".

Successivamente alla formazione del prepannello, si provvede ad inviare nella camera di filtrazione il liquido di processo addizionato in continuo con una data

quantità di agente coadiuvante, in modo da aumentare lo spessore del filtro. Tale sistema di alimentazione del filtro (alluvionaggio) rinnova incessantemente il mezzo filtrante mantenendone la struttura rigida e permeabile ed impedendone il colmataggio. La differenza di pressione (Δp) all'inizio della filtrazione si mantiene bassa e cresce gradualmente col procedere della filtrazione in quanto il prepanello aumentando di dimensione e accumulando impurità si compatterà sempre di più. Il processo si interrompe quando si esaurisce lo spazio disponibile fra i vari supporti, che consegue al progressivo ispessimento del pannello, oppure per via del raggiungimento della depressione massima prefissata.

Finita la filtrazione, si svuota il filtro dal liquido che c'era in circolo e si procede con il lavaggio dell'impianto (Fig. 4).



Figura 4 – Prepanello ad alluvionaggio continuo (filtrazione terminata)

2.2.2. Filtro pressa con strati filtranti

Gli strati filtranti sono elementi permeabili prefabbricati (cartoni) costituiti essenzialmente da una miscela di fibre di cellulosa e/o cotone associate a composti granulosi (farina fossile o altri materiali ad alto potere adsorbente) ed eventuali resine cationiche. I filtri pressa a piastre sono studiati e realizzati per la filtrazione di fecce e, con l'aggiunta di una pompa centrifuga, di vini, mosti e sottoprodotti di lavorazione del vino, costituiscono da sempre una soluzione semplice ed efficace per tutte le lavorazioni che prevedono la separazione della parte liquida dai solidi in sospensione. I filtri pressa a piastre consentono il recupero della parte liquida

che le fecce ancora contengono, ottenendo contemporaneamente pannelli solidi ricchi di materie utilizzabili dalle industrie che lavorano i sottoprodotti di cantina. Costruiti impiegando i migliori materiali e componenti, sono estremamente affidabili e garantiscono una lunga durata nel tempo. Tutte le parti a contatto con il prodotto sono in acciaio inox AISI 304. Tutti i filtri sono dotati di pompa di alimentazione e sistema idraulico di chiusura manuale o automatizzato, pacco filtrante costituito da piastre a camera in materiale plastico con collettore centrale di distribuzione e collettori angolari per l'uscita del liquido (Fig. 5).



Figura 5 – Filtropressa a piastre

2.2.3. Filtro Housing tradizionale a membrana

I filtri housing di microfiltrazione sono filtri a camera di pressione nei quali sono installati elementi filtranti a cartuccia pronti per l'uso. La profondità di filtrazione è determinata dal tipo di cartuccia installata nell'housing e può andare dalla filtrazione media, utilizzando cartucce di prefiltrazione, fino alla filtrazione sterilizzante, utilizzando apposite cartucce con porosità assoluta pari a 0,45 micron, fondamentale per la riuscita della filtrazione che il prodotto da filtrare con porosità così piccole sia precedentemente filtrato, o che comunque presenti un basso livello di torbidità per non colmare il setto filtrante. I filtri sono costituiti da una campana in acciaio inox AISI 316 all'interno della quale si installano le cartucce filtranti (Fig. 6)



Figura 6 – Filtro Housing a membrana

2.3. Parametri tecnici che caratterizzano i mezzi filtranti

I setti filtranti rispondono alla filtrazione a seguito di diversi parametri tecnici che ne decretano la loro efficienza in termini qualitativi e quantitativi.

- Porosità: si intende come il rapporto tra il volume dei passaggi vuoti e quello totale di un mezzo filtrante, dipende da forma e disposizione del materiale che forma il mezzo; viene espresso in percentuale.
- Permeabilità: indica la proprietà del mezzo filtrante di lasciarsi attraversare da un liquido; viene espressa in Darcy.
- Ciclo di filtrazione: è la fase che intercorre tra l'inizio della filtrazione e il suo arresto, con successivo cambio o rigenerazione del mezzo filtrante in seguito al suo intasamento.
- Colmataggio: fenomeno dovuto alle particelle solide, che accumulandosi sulla superficie del mezzo filtrante, formano un deposito comprimibile che diminuisce la permeabilità del setto fino a determinare l'arresto della filtrazione.
- Capacità di ritenzione: indica la proprietà del mezzo filtrante di trattenere dal fluido torbido che lo attraversa, particelle con diametro maggiore di quello dei suoi pori; viene espressa in percentuale.
- Portata: indica il volume orario di filtrato (m^3/s) che passa attraverso l'unità di superficie filtrante (m^2), si calcola applicando l'equazione di Darcy che descrive il moto di un fluido in un mezzo poroso.

In idraulica la legge di Darcy è una legge costitutiva che descrive il moto di un fluido in un mezzo poroso. Questa importante legge viene utilizzata in tutte quelle applicazioni ingegneristiche che contemplano l'interazione puramente fisica tra un fluido in movimento laminare entro un mezzo poroso.

$$Q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta p}{\eta \cdot l}$$

Equazione di Henry Darcy (1856)

dove:

Q = portata del volume (m³/s);

K = coefficiente di permeabilità (Darcy)

A = superficie del mezzo filtrante (m²);

Δp = pressione differenziale (bar);

η = viscosità dinamica della sospensione (cP);

l = spessore dello strato filtrante (m).

La temperatura ha un effetto diretto sulla viscosità del fluido in quanto la sospensione posta a basse temperatura aumenta la sua viscosità migliorando la limpidezza e diminuisce la solubilità delle sostanze da filtrare diminuendo il colmataggio del filtro rendendo la filtrazione più efficiente, dalla formula possiamo enunciare che la portata è direttamente proporzionale alla superficie filtrante e al valore della pressione transmembranica, mentre è inversamente proporzionale alla viscosità del liquido.

L'equazione adattata alla filtrazione enologica di un setto filtrante prende in considerazione la resistenza che oppone la sospensione al setto:

$$Q = \frac{A \cdot \Delta p}{\eta \cdot (R + R_d)}$$

Il primo R (resistenza di membrana) dovuto al telo più il prepannello R (m⁻¹), il secondo R_d (resistenza del deposito) dovuto alla feccia più il coadiuvante alluvionato, quindi al deposito R_d (m⁻¹). La resistenza totale è la somma dei due contributi R e R_d, equivalente al rapporto (1/K) tra lo spessore del mezzo filtrante l e il coefficiente di permeabilità del mezzo K. La portata sarà inversamente proporzionale a queste due forze sommate in quanto ostacolano la filtrazione limitando sempre di più la filtrazione (considerando le pressioni costanti). La

resistenza totale non è mai costante nel tempo nonostante R può essere considerata costante, la resistenza del deposito R_d varia nel tempo, aumentando con l'aumentare dello spessore del deposito. Si può infatti considerare proporzionale alla quantità di materiale depositato (Friso, 2013).

2.4. Coadiuvanti di filtrazione

I coadiuvanti di filtrazione possono essere definiti come dei materiali ausiliari del processo di filtrazione, spesso essi costituiscono il mezzo filtrante mediante il quale avviene la ritenzione delle particelle contenute nel liquido di processo. La loro funzione fondamentale è quella di rendere poroso e incomprimibile il deposito di particelle solide che si accumula sul mezzo filtrante.

I coadiuvanti devono rispondere a determinate caratteristiche; la capacità di adsorbimento e/o attrazione elettrostatica che attiva l'importante meccanismo di ritenzione (è uno dei principali criteri di scelta dei coadiuvanti) poi troviamo; inerzia chimica, idonea porosità (rapporto tra volume dei pori e volume totale $>0,85$), rigidità, superficie specifica (m^2/g di sostanza), alta resistenza al gradiente di pressione (Δp), elevata resistenza all'usura meccanica ed essere disponibili in una vasta gamma di granulometrie diverse. La problematica principale di tali coadiuvanti è quella di essere pericolosi per la salute dell'operatore e per l'ambiente, secondo la IARC (International Agency on Research of Cancer, WHO) da giugno del 1997, il quarzo, la tridimite e la cristobalite appartengono al gruppo 1 delle sostanze cancerogene per gli umani (la struttura cristallina rende la polvere particolarmente aggressiva per gli organi interni e quindi potenzialmente tossica) e lo smaltimento della pasta della farina fossile esaurita che in passato poteva essere rimossa insieme alle acque di rifiuto nelle discariche pubbliche, insieme ai residui di coltivazione o essere utilizzata come fertilizzante nei terreni agricoli, oggi è considerata un rifiuto speciale e questo per le aziende che la utilizzano diventa un costo aggiuntivo.

I coadiuvanti di filtrazione tradizionale attualmente impiegati sono: perlite, farina fossile, cellulosa.

2.4.1. Perlite

Molto usata per la sua bassa densità (circa $0,16g/cm^3$), che consente minori dosi di impiego e costi inferiori. Si tratta di un minerale di origine vulcanica composto per

il 75% di silice (SiO_2), per il 13% di allumina (Al_2O_3) e per il resto da impurità varie. L'impiego della perlite è particolarmente indicato per la preparazione di prepanelli nei filtri rotativi sotto vuoto, in quanto il minerale originariamente non ha la porosità adeguata alla filtrazione per lo spazio intermolecolare che occupa l'acqua, quindi ponendolo a un riscaldamento (circa 1000°C) ottengo la perlite espansa (Fig. 7), la sua espansione dovuta all'evaporazione dell'acqua, gli attribuisce una forma porosa e molto leggera al minerale. L'espansione la fa aumentare di volume abbassando la densità originaria fino a circa $0,16\text{g}/\text{cm}^3$. Successivamente viene macinata e selezionata in base alla granulometria che si ottiene.

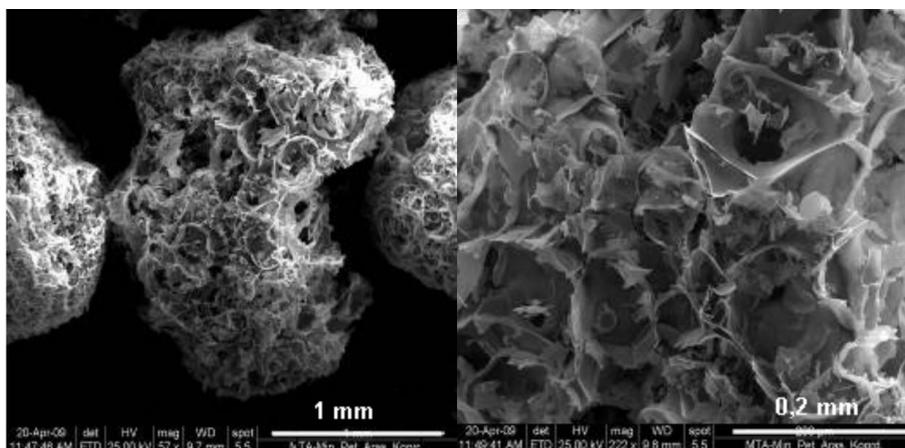


Figura 7 – Perlite espansa al microscopio

2.4.2. Farina fossile

La farina fossile è costituita da gusci silicei (SiO_2) di particolari alghe microscopiche unicellulari, dette diatomee (Fig. 8). Queste alghe una volta fossilizzate in silice con il passare del tempo vengono estratte, essiccate, macinate e purificate per l'utilizzo enologico. Si distingue per la sua grandissima porosità (rapporto tra il volume dei pori e il volume totale, fino al 93%), per l'enorme sviluppo della sua superficie ($12\text{--}42\text{m}^2/\text{g}$) nonché per la sua bassa densità ($0,3\text{g}/\text{cm}^3$).

Rappresenta il coadiuvante della filtrazione di uso più comune per le sue particolari capacità filtranti; essa viene impiegata sia nella preparazione di prepanelli sia nell'alluvionaggio continuo.

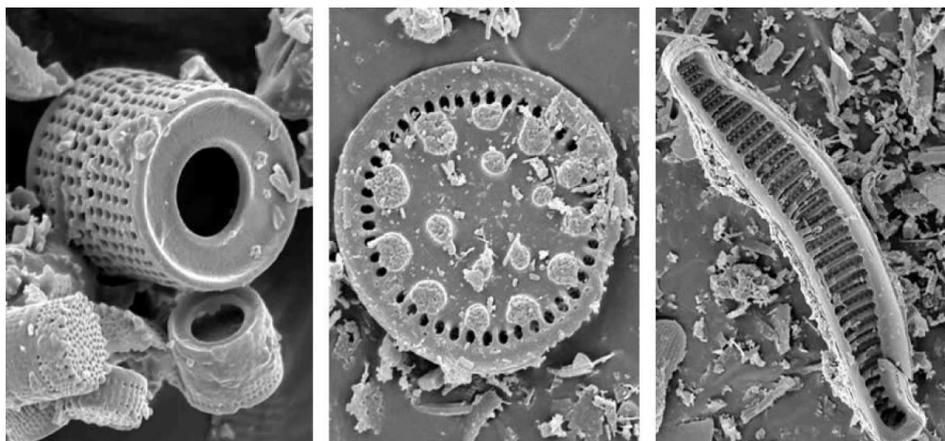


Figura 8 – Diverse forme di diatomee

2.4.3. Cellulosa

La cellulosa è un polisaccaride di origine vegetale ed è ottenuta dal legno grezzo mediante una serie di trattamenti fisico-chimici.

Si presenta sotto forma di un intreccio di fibre, delle dimensioni di 50-150 μ m di lunghezza e 15-20 μ m di diametro (Fig. 9), con un elevato potere di imbibizione grazie ad una porosità stimata di 10 μ m, la lavorazione prevede una serie di trattamenti di purificazione dal legno fino ad ottenere una polvere di una certa granulometria.

Viene impiegata principalmente per formare il primo strato del prepanello o per preparare dei prepanelli misti con i coadiuvanti minerali, migliorandone la coesione. Possiede una debole carica elettrica che esercita un'azione elettrostatica, che consente la ritenzione delle particelle di carica opposta.

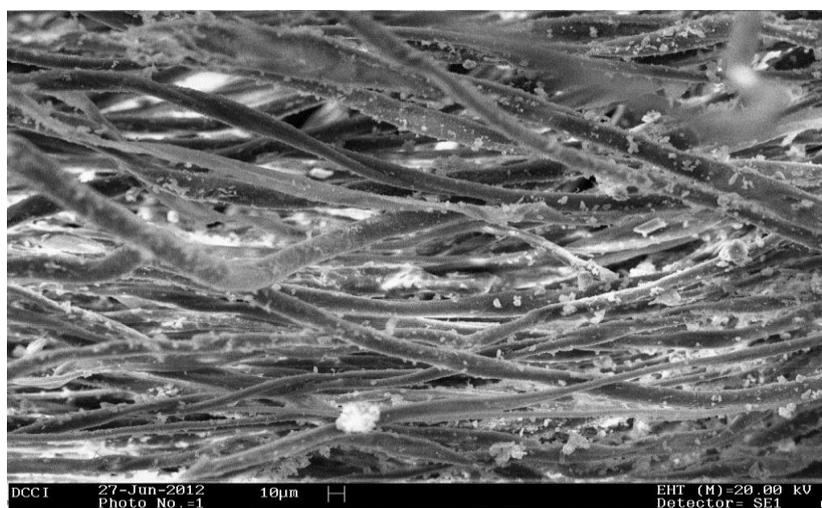


Figura 9 – Fibre di cellulosa al microscopio

3. Filtrazione sottovuoto tradizionale

Il filtro rotativo è stato inventato intorno al 1900 e trovava il suo principale utilizzo nella depurazione delle acqua reflue. È difficile imputargli una data di creazione esatta in quanto nel corso degli anni sono state numerose le modifiche fatte al fine di migliorarne il suo utilizzo, quindi è provvisto di numerosi brevetti mondiali. Il filtro per vino rotativo sottovuoto è costituito da un tamburo cilindrico orizzontale con la superficie forata in acciaio inox (Fig. 10) in grado di ruotare sul proprio asse sul quale si porrà il coadiuvante di filtrazione che sarà il vero setto filtrante, successivamente verrà parzialmente immerso in una vasca in cui è contenuto il liquido da filtrare. Un elemento necessario per la formazione del vuoto sarà costituito da una pompa che aumentando il Δ di pressione del sistema attirerà all'interno del cilindro il liquido e lascerà i solidi sospesi e composti che hanno un diametro maggiore, o una carica differente del setto filtrante, all'esterno del tamburo rotante, una lama raschiante servirà per pulire, e quindi rinnovare, la superficie filtrante. Il funzionamento di questi filtri a tamburo può essere definito in continuo, poiché si ha lo scarico continuo di filtrato con continua rimozione e allontanamento del deposito di filtrazione.



Figura 10 – Filtro sottovuoto rotativo “Taylo TMCI Padovan

Le applicazioni più interessanti di tali filtri riguardano: la filtrazione di mosti uscenti dalle linee di sgrondatura e pressatura, la sgrossatura dei vini molto fecciosi, la filtrazione dei depositi delle vasche di stoccaggio e di chiarifica del vino e per il recupero del mosto nei fondi di decantazione o di flottazione.

3.1. Impianto del filtro sottovuoto rotativo

La filtrazione avviene prima con la formazione del setto filtrante (prepannello) con l'ausilio dei coadiuvanti (farina fossile, perlite e/o cellulosa). Inizialmente il precoat deve avere un certo quantitativo di acqua di miscelazione, che serve a idratare la torba di formazione del prepannello, successivamente si inizia ad alimentare il precoat di coadiuvante, tenendo tutto in miscelazione (consentendo la corretta miscelazione). Solo quando la miscela ottenuta nel precoat è idonea (non troppo densa e non troppo fluida) per i parametri di : dimensioni del tamburo, granulometria del coadiuvante, spessore che si vuole ottenere di prepannello, si manda la soluzione nel recipiente del filtro tramite una pompa oppure per caduta aprendo una valvola, alimentando in continuo il precoat di coadiuvante e acqua, si azionano le pompe del vuoto quando il tamburo che gira al massimo dei giri sfiora appena il livello della miscela, i giri al massimo consentono di avere un innalzamento abbastanza veloce della depressione necessaria al supporto del prepannello di trattenerlo al di sopra, l'acqua che si estrarrà dalla miscela viene rimandata nel precoat tramite una pompa centrifuga, creando un sistema chiuso da cui, si rallentano i giri del tamburo gradualmente (questa pratica consente una maggiore uniformità di distribuzione del coadiuvante su tutta la superficie del supporto) quando la depressione tende ad aumentare mantenendo un livello costante intorno a 0,4-0,6bar (assoluti). Importante in questa fase non abbassare bruscamente i giri del tamburo in quanto il calo di depressione consegue nella caduta del prepannello. Il coadiuvante che si depositerà sul supporto raggiungerà la misura prestabilita in funzione della quantità di coadiuvante e dalla distanza che esso ha dalla lama raschiante.

Quando il prepannello ha raggiunto la lama ed esaurito il coadiuvante nella miscela del precoat si può impostare il filtro alla soluzione da filtrare, svuotando il recipiente dove è posto il tamburo dall'acqua, per non diluire troppo la sostanza da filtrare, azionando la pompa di alimentazione che chiamerà il prodotto (Fig. 11). Il filtro spesso è provvisto di una specula tra il tamburo e la campana del vuoto affinché si possa vedere il passaggio tra acqua della miscela precedente che è ancora impregnata nel prepannello e dentro al filtro stesso, al liquido estratto dalla soluzione da filtrare, fase non immediata, e che prevede una certa diluizione del liquido estratto.

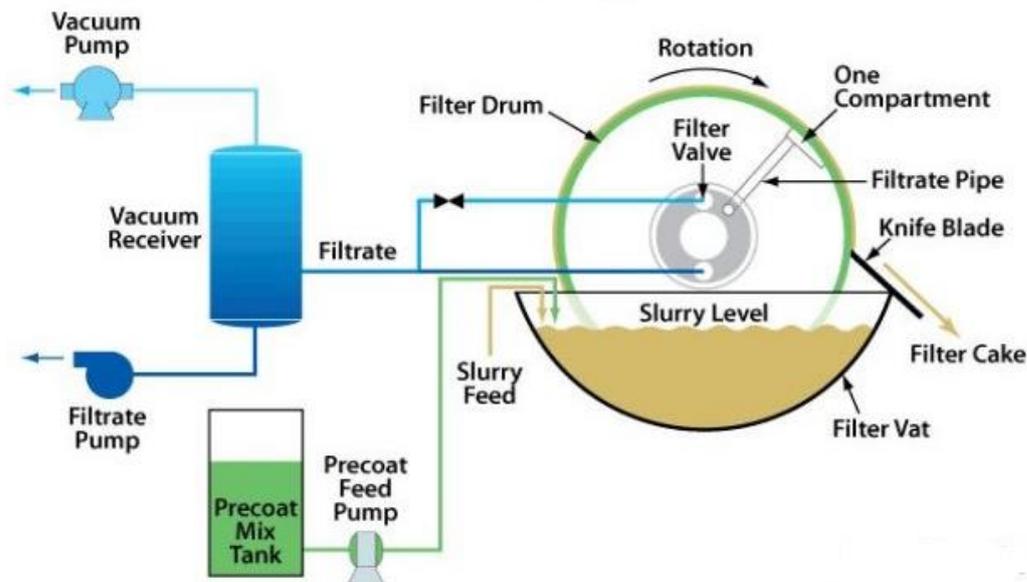


Figura 11 – Schema di un filtro rotativo sottovuoto a regime

Durante la rotazione il tamburo viene diviso in 3 zone:

- Zona di filtrazione (parte immersa);
- Zona di asciugamento (o zona di distacco);
- Zona con strato filtrante rinnovato (tra la zona al di sotto della lama e la parte immersa).

La separazione tra aria e filtrato avviene con il tamburo mantenuto in depressione. Il filtrato si deposita sulla parte inferiore cava del tamburo e l'aria viene aspirata nella parte superiore. I vantaggi di questo sistema sono: il minore assorbimento di ossigeno (la pompa di estrazione preleva il liquido sotto battente, in posizione distante dal pelo libero dell'aria), la minor potenza installata (la pompa di estrazione realizza la depressione necessaria fungendo da pompa del vuoto). Il livello di vuoto applicabile varia da 0,4 a 0,8bar (assoluti). L'immersione del tamburo può essere variata dal 20 al 45%. Aumentando il grado di immersione aumenta la superficie effettiva di filtrazione e si riduce la superficie di asciugamento, parametro che si può modificare diminuendo la velocità di rotazione del tamburo. La velocità di rotazione può variare da 0,1 a 2 giri/min è in funzione dal diametro del tamburo e della filtrabilità della torbida. Una velocità minore aumenta lo spessore del pannello e diminuisce la portata specifica del filtrato. Una velocità maggiore diminuisce lo spessore del deposito, minore resistenza al passaggio, ma ne aumenta la portata specifica con incremento dell'umidità residua. Il rendimento ottenibile è circa 100L/m²/h per filtrazione delle fecce, 200-300L/m²/h per filtrazione dei mosti. I giri sono solitamente 1-2 gir/min.

I filtri sottovuoto presentano i vantaggi di poter lavorare fecce consistenti, di programmare meglio il lavoro; grazie alla lunga autonomia e minor richiesta di manodopera, alta capacità estrattiva di liquido e possiede anche un'elevata portata. Gli svantaggi sono: maggior consumo energetico, maggior impiego di coadiuvanti (5 volte di più), non perfetto esaurimento del pannello scaricato (Fiori, L. 2014), problemi di smaltimento del coadiuvante utilizzato e rischi sanitari legati all'alta volatilità di esso (legati alla respirazione dell'operatore).

4. Filtrazione tangenziale

La filtrazione tangenziale su membrana (Fig. 12) è una tecnica che sta vedendo sorgere nuovi e interessanti strumenti, utilizzata nel settore caseario già negli anni Settanta del secolo scorso, in impianti di osmosi inversa e di ultrafiltrazione, ed estesa dopo un decennio anche alla micro e alla nanofiltrazione. L'attuale disponibilità di membrane utilizzabili nella filtrazione tangenziale differenti per porosità, per materiali utilizzati e per configurazione, può coprire un campo tecnologico molto ampio.

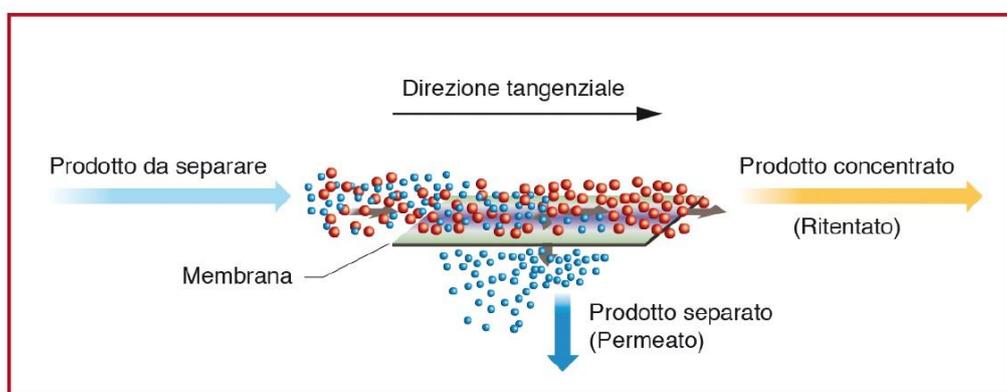


Figura 12 – Flusso tangenziale al setto filtrante

Nella trasformazione enologica il maggiore interesse riguarda la microfiltrazione che, utilizzando membrane con porosità variabile da 0,1 a 10 μ m di diametro, può essere applicata su quasi tutti i prodotti: dai mosti o dai vini appena fermentati sino ai vini chiarificati pronti all'imbottigliamento. Per quanto riguarda le altre tecniche di filtrazione tangenziale, come l'ultra e la nano filtrazione (Fig. 13), vi è interesse soprattutto per la concentrazione di sostanze polifenoliche e di zuccheri, anche se

non mancano applicazioni particolari come l'impiego dell'osmosi inversa per la separazione tartarica (Pezzi, F. 2017).

Differenti livelli di filtrazione

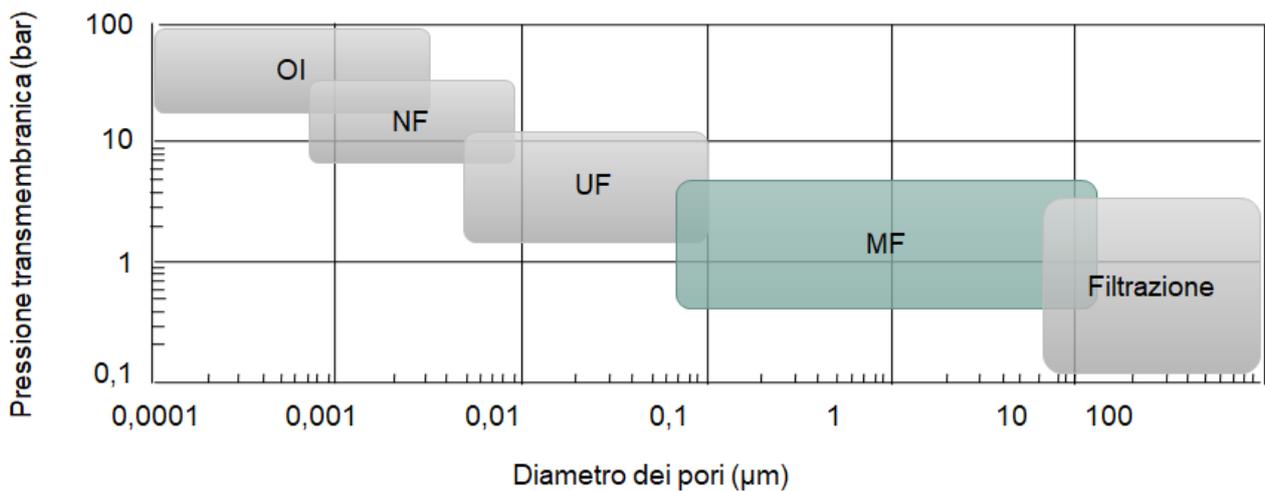
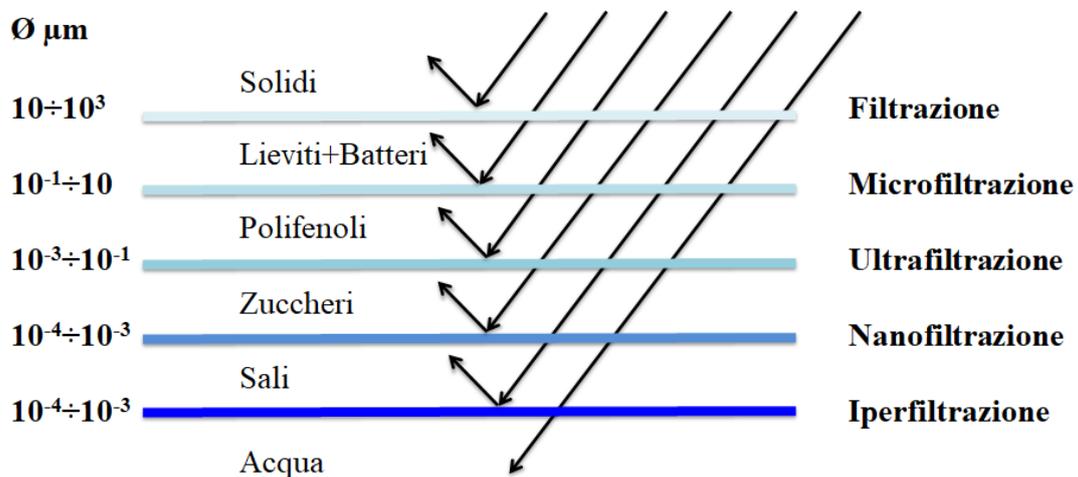


Figura 13 – Campo di applicazione di diverse tecniche di separazione in funzione delle dimensioni delle particelle da separare

La filtrazione tangenziale rappresenta in questo momento la tecnologia di filtrazione più avanzata a disposizione degli enologi, ed in continua evoluzione grazie alla possibilità di scegliere membrane di diverso materiale (polimeri o ceramiche) e di varia conformazione (piana, tubolare, a fibra cava e spiralata) permettendo di lavorare prodotti con caratteristiche molto differenti, dai fondi di sedimentazione ai vini destinati all'imbottigliamento. I miglioramenti tecnologici più evidenti sono stati raggiunti con le membrane spiralate che, diversamente da quelle a fibra cava, operano con bassa velocità di flusso, rispettando maggiormente la componente

colloidale e polifenolica dei vini. L'ambizioso traguardo della filtrazione tangenziale è quello di sostituire totalmente la filtrazione tradizionale anche nella filtrazione esclusiva dei fondi di chiarifica per decantazione statica (fecce). Nel corso dell'operazione di filtrazione tradizionale il liquido da filtrare attraverserà il setto perpendicolarmente, le particelle da allontanare si depositeranno sul mezzo filtrante, provocando una riduzione della portata fino all'intasamento (colmataggio) del setto filtrante, ed il successivo blocco della filtrazione. Al contrario, nella filtrazione tangenziale la direzione con cui il prodotto torbido lambisce il mezzo filtrante è parallela (tangenziale) alla sua superficie. Lo scorrimento tangenziale del prodotto minimizza la formazione del deposito di particelle chiamato "fouling" sulla membrana, e quindi il rischio di colmataggio della stessa. Un'altra innovazione tecnologica è rappresentata dalle caratteristiche costruttive delle membrane. Quest'ultime sono dotate di una superficie estremamente liscia e di una via capillare molto breve, oltre a presentare una limitata dimensione dei pori, con forma anisotropica (struttura asimmetrica), e dal profilo conico con diametro crescente.

4.1. Impianto di filtrazione tangenziale

L'operazione di filtrazione utilizzando un filtro tangenziale (Fig.14), è completamente automatizzata con cicli di lavoro a gestione computerizzata tramite PLC. Il prodotto da filtrare (torbido), viene mandato dal serbatoio di stoccaggio al serbatoio di servizio del filtro, utilizzato come polmone per il prodotto. Dal serbatoio di servizio, con una pompa centrifuga di alimentazione, il torbido viene inviato verso le membrane, contenute in un sistema chiuso di ricircolo, in cui entra in azione un'altra pompa centrifuga chiamata appunto "pompa di ricircolo", ad elevata portata e bassa prevalenza. Il flusso torbido lambisce parallelamente le membrane ed in parte permea finendo all'interno di un serbatoio predisposto precedentemente e collegato all'impianto. La restante parte del flusso non permeata (ritenuto) trascina con se il fouling formato sulla membrana. La parte non permeata del flusso viene fatta ricircolare all'interno del sistema, o alternativamente ritorna nel serbatoio polmone per diluirsi con altro prodotto non concentrato. La perdita di carico dovuta alla filtrazione con produzione di permeato è ripristinata dall'azione simultanea delle due pompe (alimentazione e ricircolo). La prima, ovvero quella di alimentazione (pressurizzazione), ripristina la quantità permeata con l'invio di una pari quantità di prodotto torbido al circuito di ricircolo. Contemporaneamente

all'invio di prodotto torbido all'interno del su detto circuito, calibra costantemente la differenza di pressione attraverso le membrane (pressione di transmembrana) Δp , responsabile della filtrazione, e mantenendola su valori costanti e ottimali al tipo di prodotto trattato. La seconda pompa, quella di ricircolo, permette di mantenere un elevato flusso tangenziale sulle membrane. Nel contempo la pompa di ricircolo, oltre a mantenere un elevato flusso sulle membrane, controlla la velocità del fluido torbido in ricircolo nel sistema, tenendola compresa tra 1 e 3m/s, al fine di agevolare l'asportazione del deposito di particelle sulle membrane (Zappulla, A. 2017).

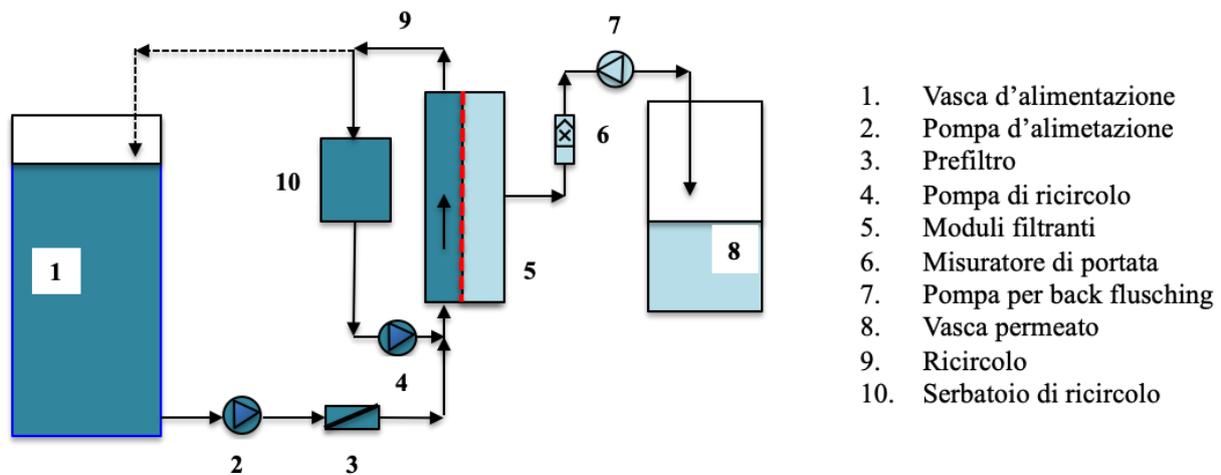


Figura 14 – Schema funzionale impianto di filtrazione tangenziale.

Parametri funzionali della MFT

Dimensione dei pori: $0,1 \div 10 \mu m$

Velocità del flusso: 1-3 m/s

Pressione del fluido: 1-3 bar

Ricircolo prodotto = $Q_R/Q_P \approx 30-60$

La filtrazione a regime può presentare cali di portata, dovuti all'accumulo di particelle (fouling) che si depositano sul setto filtrante, molto contenuto rispetto alle filtrazioni tradizionali, ma comunque ostacola la filtrazione. Ostacolo che è molto più presente quando il prodotto da filtrare sono i fondi di chiarifica, molti filtri tangenziali presentano un flussometro che arresta la filtrazione quando il sistema rileva un innalzamento della pressione, dovuto alla difficoltà di filtrazione, il quale l'impianto provvederà autonomamente alla rapida pulizia delle membrane, con un metodo molto semplice chiamato Back-wash (impulso di pressione controcorrente). Questo processo può essere realizzato tramite il riflusso del

permeato che provoca il distacco del piccolo strato depositato, con una specifica pompa o con altri sistemi più semplici, come la chiusura istantanea delle valvole di alimentazione (con arresto della relativa pompa) e di scarico o come la evacuazione del permeato con impulsi pneumatici controcorrente, dal lato della membrana che vede il permeato, contro il fluido da filtrare in modo da rigenerare le membrane e ristabilire la portata.

La filtrazione termina quando il prodotto da filtrare è finito, a questo punto il sistema ha concentrato tutti i solidi sospesi e le sostanze trattenute in un serbatoio di servizio che verrà svuotato pneumaticamente in una vasca.

4.2. Le membrane

La filtrazione tangenziale prevede l'utilizzo di membrane come setti filtranti per microfiltrazione, ultrafiltrazione, nano filtrazione e osmosi inversa, adattate e costruite a seconda delle esigenze. Le membrane più utilizzate in questo momento hanno struttura anisotropica, più funzionali rispetto le tradizionali membrane con struttura isotropica. Le membrane anisotropiche sono caratterizzate da una struttura asimmetrica composta da una sottile pellicola superficiale chiamata "Skin" di qualche μm di spessore, composta da una fitta rete di fori calibrati dal lato del ritenuto. Il resto della struttura risulta per tutto il suo spessore alveolato con porosità e diametro dei pori crescenti verso il lato del permeato, questo per minimizzare il colmataggio; ciò consente di aumentare le rese e diminuire le pressioni differenziali di esercizio. Ulteriore vantaggio è dato dalla possibilità di liberare parte della superficie filtrante colma, dai tanti solidi accumulati. Questo può essere fatto semplicemente invertendo la direzione di flusso (back-wash).

Per la fabbricazione delle membrane si possono utilizzare materiali di natura polimerica o ceramica (minerali), con proprietà fisiche e resistenza chimica diverse. La scelta di un materiale, piuttosto che di un altro, viene fatta in base al tipo di applicazione ed esigenze a cui è riservata la membrana.

4.2.1. Materiali polimerici

Le membrane organiche vengono definite polimeriche, poiché ottenute da reazioni di polimerizzazione di unità strutturali ripetitive (monomeri), in grado di combinarsi tra loro per formare un polimero. In alcuni casi tale reazione è preceduta da un'opportuna miscelazione con monomeri di natura diversa (co-monomeri), che

consentono di ottenere un materiale (co-polimero) con determinate caratteristiche desiderate. La maggior parte dei polimeri utilizzati dall'industria per la fabbricazione delle membrane polimeriche sono ottenuti da materie plastiche e fibre sintetiche.

Le proprietà fisiche del polimero sono influenzate da determinati fattori quali il peso molecolare, la polarità e la cristallinità. Un elevato peso molecolare determina un'elevata resistenza meccanica ed una buona resistenza ai solventi; la presenza di gruppi polari e di catene laterali influisce sulla compattezza e sulla rigidità della struttura, così come la presenza di carboni asimmetrici porta alla sintesi di polimeri cristallini, che per loro natura sono poco flessibili, aumentano il modulo di rottura della membrana stessa, abbassando la sua durata. I materiali più utilizzati in enologia per la costruzione delle membrane possono essere costituiti dai seguenti polimeri:

- Polieteresulfone “PES”: molto resistente a qualsiasi variazione di pH, a valori estremi di alcol ed elevata resistenza alle alte temperature (termo-stabilità); mal sopporta invece pressioni di esercizio elevate e l'utilizzo di solventi polari impiegati nella pulizia e sanitizzazione.
- Polivinildenfluoruro “PVDF”: materiale fisiologicamente inerte quindi adatto al contatto con alimenti, ottima resistenza alle alte temperature, con eccellenti proprietà meccaniche ed ampia compatibilità chimica.
- Teflon “PTFE”: si tratta di un materiale chimicamente e biologicamente inerte, molto resistente alle alte temperature e che permette di lavorare con ampi range di pH, in presenza di agenti chimici differenti. Un'altra caratteristica è l'elevata resistenza meccanica, che gli conferisce un'adeguata protezione nei confronti di componenti solide a forte azione abrasiva, presenti nei fluidi da filtrare.

4.2.2. Materiali ceramici e minerali

Per quanto riguarda le membrane inorganiche sviluppate in epoca più recente, vi sono le membrane minerali in ceramica, chiamate così poiché costruite per sovrapposizione di vari strati filtranti di diversi minerali, con granulometria decrescente. I diversi minerali vengono uniti insieme mediante sinterizzazione, processo nel quale le particelle di un materiale solido in forma di polvere, sottoposte a riscaldamento, si avvicinano e si saldano, originando un pezzo di materiale compatto. La sinterizzazione può essere svolta a pressione atmosferica o a pressione

elevata, nel primo caso è preceduta da un'operazione di compattazione delle polveri. I vari strati sovrapposti sono formati da ossido di zirconio o titanio negli strati attivi con granulometria minore, e da una parte interna in ossido di alluminio con granulometria maggiore che ha funzione di supporto strutturale. I pori che ne risultano sono meno uniformi nella calibrazione, quindi si ha meno selettività rispetto a quelle organiche. Tuttavia tali materiali ceramici donano alle membrane maggior resistenza meccanica, chimica, alle alte temperature, ed una life-time maggiore rispetto alle membrane organiche (Zappulla, A. 2017) Questo consente la possibilità di filtrare sospensioni molto viscosi e con un alto numero di solidi sospesi, infatti trovano largo impiego nelle filtrazioni di fondi di chiarifica dei mosti e dei vini. Nelle versioni di maggior diametro della loro configurazione tipica, quella tubolare, le membrane ceramiche ben si prestano al recupero delle fecce. Un recupero valido da un punto di vista qualitativo e particolarmente interessante anche da quello economico quando le fecce provengono da prodotti di elevato valore commerciale.

4.3. Configurazioni geometriche delle membrane

La possibilità di gestire la superficie del setto filtrante è fondamentale per compiere le diverse filtrazioni, e i diversi bisogni enologici, dividendo le principali membrane in questo modo:

- Membrane a fibre cave: sono dei sottili tubicini cavi, realizzati con un processo di estrusione con sezione trasversale di 1-2mm. Le fibre cave vengono comunemente raccolte in fasci di 200-1000 unità alloggiati in un contenitore tubolare (cartuccia) per costituire un modulo, fissate alla loro estremità da una resina che ha il compito di isolare il comparto del permeato da quello del ritenuto. Come vantaggi presenta una buona superficie di filtrazione in rapporto al volume del modulo e una buona capacità di controflusso, quando il back-wash si attua si rigenerano discretamente, come inconveniente hanno la fragilità dei singoli tubicini cavi.
- Membrane tubolari: costituite da una membrana cilindrica avvolta in un supporto rigido e macroporoso, a forma cilindrica. Ogni singola unità di sezione ha un diametro interno, del setto filtrante dell'ordine di 2-7mm, mentre quello esterno del supporto varia da 5 a 30mm. Questa candela in genere viene collocata in più unità in un involucro esterno di contenimento del permeato. Il

passaggio del permeato avviene verso l'esterno del cilindro mentre il concentrato viene raccolto all'uscita del tubo. Grazie al loro elevato diametro permettono di mantenere alte velocità di ricircolo con formazione di una buona turbolenza del prodotto con velocità dell'ordine di 5-6m/s, sono adatte a liquidi molto densi o con elevata concentrazione di solidi. Per contro richiedono molta energia e alti volumi di acqua e di prodotti chimici per i lavaggi.

- Membrane a spirale: sono membrane costituite da più unità, composte da coppie di membrane separate da uno strato poroso. Le unità, separate da spaziatori a rete, sono collegate e avvolte su di un cilindro centrale. Il liquido da filtrare si distribuisce negli spaziatori scorrendo con un moto turbolento sulle membrane, mentre il permeato si raccoglie nel tubo centrale per defluire poi all'esterno. La membrana spiralata risulta interessante per i bassi valori della velocità di flusso e della pressione necessaria, ma presenta limiti per i prodotti viscosi e richiede attenzione per la pulizia.
- Membrane piane: sono costituite da una coppia di membrane separate e distanziate da un apposito supporto che forma al loro interno tanti piccoli canali, per permettere il deflusso del permeato. Le placche filtranti sono piatte, ottenuti abbinando due membrane opportunamente distanziate in modo da permettere la circolazione del prodotto, e collocati in camera di pressione.

4.4. La produttività

La portata di questo impianto, quindi la sua produttività, la ricaviamo dalla formula che abbiamo visto in precedenza, prendere spunto dall'equazione di Darcy:

$$Q = \frac{A \cdot DP}{\eta \cdot (R_m + R_f)} \quad K = \frac{1}{\eta \cdot (R_m + R_f)}$$

La portata dunque è proporzionale alla superficie filtrante (m^2) e al valore della pressione transmembranica (bar), mentre è inversamente proporzionale alla viscosità del liquido (cP) e alla resistenza opposta durante l'attraversamento della membrana e del fouling depositato (m^{-1}).

L'inverso della resistenza totale e della viscosità della sospensione ci definisce la permeabilità di membrana che, nel caso della filtrazione tangenziale se abbiamo un setto a punta cava nella microfiltrazione sappiamo che abbiamo una permeabilità di membrana di 33L/h per ogni m² di setto, e per ogni bar di pressione, quindi definendo che la permeabilità di membrana sia l'inverso dei 3 denominatori dell'equazione precedente, la formula sarà:

$$Q = K \cdot A \cdot DP$$

$$Q = 33,5 \times 20 \times 1,5 = 1.000 \frac{L}{h}$$

Le quattro configurazioni di membrane possono essere comparate utilizzando valori medi della loro superficie filtrante, del loro ingombro e della loro portata di permeato. Rapportando la superficie di filtrazione con l'ingombro volumetrico dell'impianto il valore nettamente più elevato si raggiunge con le membrane a fibra cava, con 15.000 m² di superficie filtrante per m³ di spazio occupato. Il flusso di permeato di queste membrane risulta però molto basso, circa 50 L/h per m² di superficie, e ciò determina una portata riferita all'ingombro di poco superiore a quella delle membrane spiralate. Questo parametro risulta meno vantaggioso per le membrane piane e quelle tubolari (Pezzi,F. 2017).

5. La ricerca

Lo studio condotto è rivolto alla comparazione tecnica ed economica di due diverse tecnologie di filtrazione ed esaurimento delle fecce ottenute nella chiarifica prefermentativa di mosti di uve bianche. Un intervento che è sempre stato oggetto di grande interesse per gli aspetti tecnologici ed economici che coinvolge, soprattutto nelle grandi cantine dove riguarda grandi quantità di sottoprodotti che devono essere trattate celermente per non compromettere la qualità dei prodotti ottenuti, evitando attacchi di batteri, lieviti e altri microrganismi presenti nel mosto. Nel caso esaminato sono state prese in considerazione le due tecnologie che attualmente sembrano offrire le migliori prestazioni: la filtrazione con tamburo rotante sottovuoto, più tradizionale e diffusa, e la filtrazione tangenziale a membrana, più recente e innovativa. In particolare sono stati utilizzati il filtro a tamburo "Taylo" della TMCI Padovan S.p.A e il filtro tangenziale "Omnia" con membrane statiche di ceramica prodotto da Della Toffola S.p.A.. Le fecce di flottazione utilizzate provenivano dalla flottazione di mosti prevalentemente di Trebbiano.

Oltre ad esaminare singolarmente le prestazioni dei due impianti si è provveduto a valutare una terza ipotesi operativa basata sulla combinazione dei due filtri che operano in sequenza sulla stessa feccia. In pratica il ritenuto del filtro tangenziale, ancora ricco di mosto, è stato lavorato dal filtro sottovuoto per migliorare il livello di esaurimento.

Nella filtrazione tangenziale si è notato che il concentrato, la parte che viene trattenuta dal setto di filtrazione, è abbastanza liquido. Ciò accade perché una parte di mosto, che non è riuscita a passare attraverso i pori, può essere trattenuta dal fouling, andando nel serbatoio di stoccaggio insieme a tutto lo scarto. Questo ritenuto viene ceduto, di solito, alle distillerie, come accade per il coadiuvante saturo dalla filtrazione tradizionale rotativa, perdendo del potenziale prodotto.

L'obiettivo ricade su questa porzione di liquido presente nel ritenuto e la sua effettiva estraibilità con un filtro a tamburo sottovuoto, al fine di produrre più vino e limitare la produzione di sottoprodotti dalla filiera enologica.

Occorrono diversi aspetti per poter decretare se la filtrazione di questo sottoprodotto può essere uno sbaglio o meno, prima di tutto la qualità del prodotto estratto non deve discostarsi molto dai parametri enologici, la valutazione di ciò è stata fatta elaborando analisi chimico-fisiche dei diversi elementi della filtrazione:

- Feccia di flottazione in entrata al filtro tangenziale Omnia,
- Il mosto limpido estratto dalla feccia di flottazione (con metodo tradizionale e tangenziale),
- Il concentrato che il filtro tangenziale Omnia ha trattenuto,
- Il vino limpido estratto dal concentrato, mediante filtrazione tradizionale rotativa.

Oltre alle analisi qualitative dei prodotti, è stato preso in osservazione anche l'aspetto operativo ed economico scaturito dall'utilizzo di tale pratica comparando i due filtri con la medesima mansione, e con la pratica sinergica.

L'esperienza è stata condotta presso la Cantina di Faenza Società Agricola Cooperativa, durante la vendemmia 2020 nella quale sono stati conferiti 329000 quintali di uva. La Cantina Sociale di Faenza nasce nel 1932 per iniziativa di alcuni dei maggiori esponenti dell'agricoltura faentina, che videro nell'associazionismo lo strumento migliore per la valorizzazione della propria produzione viticola. La Cantina Sociale di Faenza risulta essere la prima Cooperativa sorta nella provincia di Ravenna. Dopo sessant'anni di proficua attività nella vecchia sede, ubicata in pieno centro cittadino, nel 1992 la Cantina ha trasferito lavorazioni e uffici nel nuovo stabilimento di via Soldata, dove il continuo aggiornamento tecnologico e il costante miglioramento varietale ed agronomico nella conduzione dei vigneti dei soci, arrivati a quota 1550, sempre più concentrati in zona collinare, hanno consentito di produrre vini di sempre maggiore qualità ottenendo, da parte dei consumatori un consenso crescente.

6. Materiale e metodi

Da un punto di vista operativo il confronto tra le due tecnologie di filtrazione è stato realizzato il più possibile una uniformità di prodotto utilizzato e una celerità adeguata nei tempi di lavorazione per garantire la massima qualità dei prodotti estratti, evitando qualsiasi avvio fermentativo che avrebbe falsato i parametri analitici controllati.

L'operatività e la funzionalità degli impianti sono state seguite per cicli giornalieri di lavoro, durante i quali sono stati controllati ad intervalli regolari i parametri analitici sui seguenti campioni:

1. Fondi di chiarifica (fecce) ottenuti per flottazione
2. Mosto limpido in uscita dal tangenziale alimentato con la feccia di flottazione
3. Mosto limpido in uscita dal sottovuoto alimentato con la feccia di flottazione

4. Concentrato trattenuto dalla filtrazione tangenziale
5. Mosto limpido parzialmente fermentato in uscita dal sottovuoto alimentato con il concentrato del tangenziale

I campioni sono stati posti nelle medesime condizioni di analisi chimico-fisiche, che sono state eseguite nel laboratorio della stessa cantina, filtrandoli precedentemente all'analisi con un doppio filtro carta, in quanto per i campioni fecciosi si possono riscontrare dei limiti e misurazioni falsate, mentre sui campioni limpidi si possono eseguire tutte le misurazioni anche senza la precedente filtrazione, di seguito sono elencati i parametri su cui è stata posta l'attenzione:

- ❖ Titolo alcolometrico volumico effettivo;
- ❖ Titolo alcolometrico volumico totale;
- ❖ Azoto prontamente assimilabile;
- ❖ Zuccheri riducenti;
- ❖ Acidità totale;
- ❖ Acidità volatile;
- ❖ pH;
- ❖ Polifenoli totali;
- ❖ Intensità colorante;
- ❖ Estratto secco.

Inoltre è stata controllata l'umidità del materiale filtrante del filtro rotativo prodotto, sia per la lavorazione delle fecce, sia per la lavorazione dello scarto prodotto dal filtro tangenziale.

Infine è stata applicata la metodologia di calcolo del costo di esercizio proposta dall'American Society of Agricultural Biological Engineers (A.S.A.B.E., 2011) per ricavare dei confronti economici fra le soluzioni tecniche considerate.

6.1. Fondi di chiarifica per flottazione

La chiarifica dei mosti ottenuta per flottazione è in grado di separare con l'ausilio di Gelatina, Bentonite e Azoto, parti solide degli acini, cellule e spore microbiche, nonché tutte quelle sostanze "inquinanti" che dalla vigna accompagnano le uve, e quindi il mosto, in cantina. Il prodotto di scarto della flottazione viene comunemente denominato "Feccia di flottazione", leggermente diversa dalla Feccia di decantazione statica prodotta dal vino, a seguito di fermentazioni e travasi, la quale è composta da sedimento più o meno abbondante di microrganismi, molecole

colloidal, oltre che da cristalli di tartrati e da sostanze utilizzate come chiarificanti (es. bentonite). Le fecce dopo essere state allontanate dal mosto, durante la flottazione, vengono accumulate in serbatoi di stoccaggio per essere successivamente filtrate, in modo da poterne estrarre la frazione liquida.

6.2. Tecniche utilizzate

6.2.1. La flottazione

Le fecce filtrate con i due impianti sono state ottenute con la flottazione del mosto. La flottazione è un processo fisico di chiarifica dei mosti, nato circa trent'anni fa per il settore enologico. Si tratta di una separazione per galleggiamento che sfrutta la forza di adesione gas/particella solida, la densità dell'aggregato deve essere inferiore a quella del liquido per poter affiorare grazie alla spinta dell'azoto che verrà precedentemente insufflato.

Per poter parlare di flottazione bisogna trattare precedentemente il concetto della separazione attraverso la legge di Stokes che è in grado di affermare che la velocità di sedimentazione delle particelle è correlata alla risultante delle forze che agiscono su di esse:

$$v_s = \frac{D^2(\rho_2 - \rho_1)}{18 \cdot \eta} \cdot g$$

Dove:

“D” è il diametro della particella in caduta;

“g” è l'accelerazione di gravità;

“ ρ_2 ” è la densità delle particelle;

“ ρ_1 ” la densità del fluido in cui sono immerse le particelle;

“ η ” è il coefficiente di viscosità che determina il grado di resistenza del fluido.

Tranne che per l'accelerazione di gravità (g) tutti gli altri fattori sono gestibili al fine di ottimizzare la velocità (v_s) della particella. Nella flottazione la differenza di densità ($\rho_2 - \rho_1$) risulta essere negativa, grazie a questo ho l'affioramento verso l'alto.

Nella Flottazione i solidi dovranno essere idrofobi o resi idrofobi (Fig. 15) attraverso opportuni interventi, tramite agenti flocculanti che sono in grado di combinarsi selettivamente con alcuni componenti (gel di silice, bentonite, gelatina, caseinato di K, proteine vegetali), oltre a questi tipi di coadiuvanti, di può agevolare

la chiarifica con l'ausilio di enzimi pectolitici che diminuendo la grandezza delle particelle da asportare, le rendono più facili da affiorare. I solidi sospesi presenti nel mosto dovranno essere in quantità inferiore al 10%, mentre i prodotti uscenti dovranno avere meno dell'1% di solidi sospesi per il limpido e meno del 40-50% per la feccia.

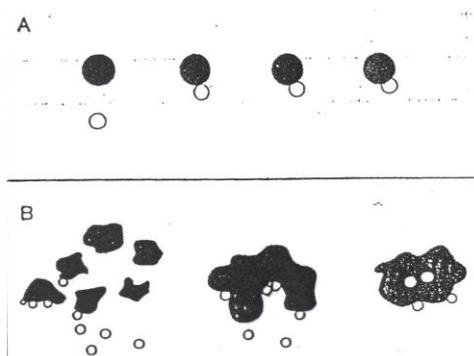


Figura 15
A: Adesione superficiale
B: Particelle inglobate nel flocculo
(Ferrarini et al., 1992)

Il fine è quello di diminuire la densità delle particelle da rimuovere, per poterle far affiorare tramite le bolle di gas, che dovranno essere di dimensione estremamente ridotta ($< 120\mu\text{m}$), per favorire il moto laminare. Per questo riguardo, si utilizza l'azoto anziché l'anidride carbonica che presenta un diametro delle bolle maggiore. Altro aspetto importante che riguarda la dimensione delle bolle è dovuto alla pressurizzazione intorno ai 4-5 bar, pressioni inferiori causerebbero bolle di gas più grandi, non idonee all'affioramento. Anche la temperatura a cui viene compiuta questa azione ha un ruolo importante, essa modifica la viscosità del mosto, temperature più alte (mosti non refrigerati) diminuiscono la viscosità del mezzo, aumentando la risalita delle particelle che avranno meno resistenza, a tal punto è opportuno compiere la flottazione in vasche basse e larghe, non in vasche alte e strette.

La flottazione viene eseguita da impianti che possono essere elaborati per lavorare in modo continuo o in modo discontinuo, a seconda del modello (Fig. 16). I modi discontinui prevedono l'utilizzo di un impianto di piccole dimensioni, solitamente trasportabile, che consente di produrre la flottazione direttamente in vasca, circa in 2 ore finiscono il ciclo, successivamente si preleva il mosto limpido dal basso della vasca con l'ausilio di una specula per vedere il passaggio tra limpido e cappello di feccia.



Figura 16
In alto: Flottatore continuo con pettine aspirante
In basso: Flottatore discontinuo trasportabile

Quelle continue invece operano su una vasca di flottazione bassa e larga dal quale entra il prodotto da flottare con i coadiuvanti passando per un dissolutore di gas (N_2 per 2 ore circa). superficialmente al liquido che riempirà la vasca ci sarà un pettine che rimuove i flocculi in sospensione che con la forza del gas vengono trascinati verso l'alto.

Il flottatore utilizzato nella prova era di tipo continuo della TMC Padovan Spa (Fig. 18), trattava mosti bianchi preventivamente enzimati, con enzimi pectolitici, e trattati con carbone, la massa veniva tenuta in rimontaggio e flottata almeno dopo 2 ore dal trattamento con enzima e carbone per fare in modo che agisse il più possibile. Il sistema prevedeva un flussometro in linea in grado di somministrare i coadiuvanti

in linea prima che raggiungesse la camera di pressurizzazione, all'interno della camera di pressurizzazione si aggiungono piccole quantità di azoto costanti, quando raggiungeva valori di 5-6 bar si apriva lentamente la valvola di mandata dalla camera alla vasca di flottazione.

Nella fase di caricamento della vasca la portata deve essere bassa (50hL/ora) per evitare turbolenza con il flusso, che causerebbe rimescolamento del cappello di feccia affiorato e il limpido sottostante. Quando il livello raggiunge l'altezza dei pettini aspiratori della feccia ruotanti, il limpido sarà prelevato lateralmente dalla vasca attraverso una pompa centrifuga e mandato nel serbatoio scelto, i pettini verranno azionati e procederanno all'aspirazione della feccia che verrà mandata con una pompa (preferibilmente a pistoni) nella vasca scelta. Da qui possiamo definire la flottazione a regime (Fig. 17) e aumentiamo la portata fino a valori massimi (250hL/ora) stando sempre attenti che la camera di pressurizzazione sia costante ai 5-6 bar.

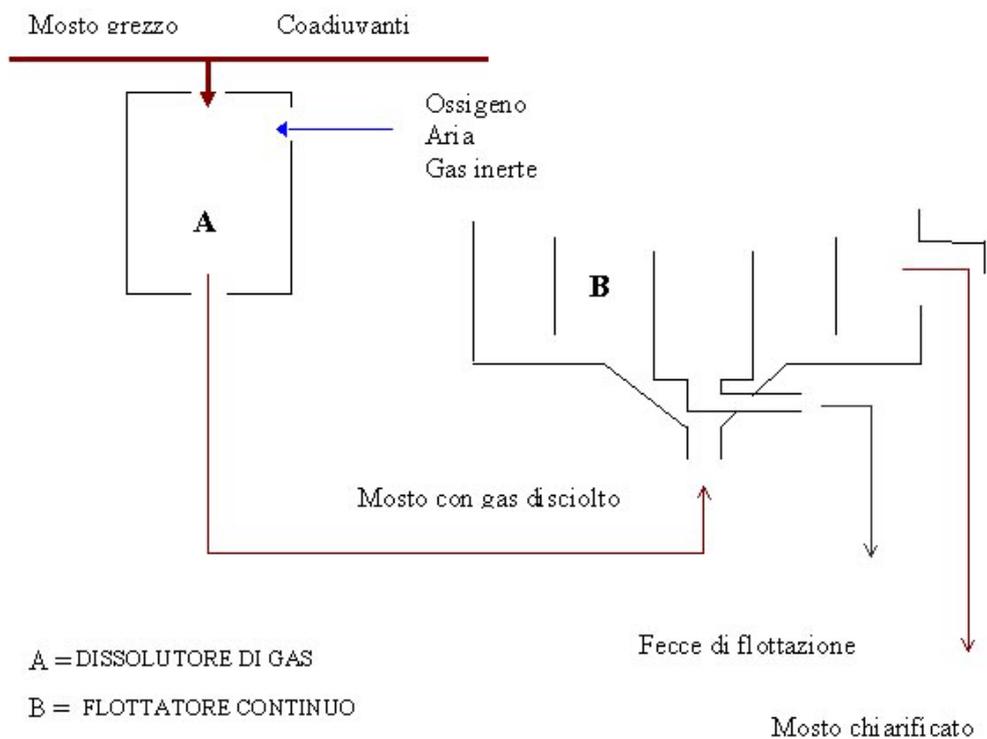


Figura 17 – Schema funzionale della flottazione continua

Terminato il prodotto si spegne la pompa di alimentazione chiudendo la valvola, e si preleva il limpido dal punto più basso la vasca, solitamente dal punto in cui essa veniva alimentato aprendo una valvola provvista di specula, quando si comincerà a

vedere il prodotto uscente torbido tutto ciò che è rimasto nel sistema viene mandato nella vasca della feccia.



Figura 18 - Flottaflux della TMCi Padovan Spa utilizzato nella prova

6.2.2 Filtro tangenziale “OMNIA”

Il modulo filtrante del filtro tangenziale utilizzato “Omnia” (Fig. 19) è formato da membrane minerali in ceramica, di forma tubolare multicanale con diametro di 25mm, lunghezza di 1178mm e porosità di 0,2 μ (Fig. 20). Le membrane sono composte da uno strato microporoso attivo in ossido di titanio, e da un supporto macroporoso di ossido di alluminio, alloggiato all'interno di un contenitore chiuso (modulo filtrante).



Figura 19 - Filtro tangenziale Omnia (Della Toffola S.p.A.).

I 3 filtri tangenziali prevedono un sistema di collegamento con un serbatoio polmone “Cluster”, che è in grado di raffreddare e tenere in agitazione la massa, oltre che controllare i tre moduli filtranti attraverso un PLC; con un monitor touchscreen posto sul cluster, il sistema può essere anche gestito da remoto con un tablet, telefono e/o computer con cui è possibile interagire, visualizzare e configurare il software per la gestione della macchina e delle fasi di lavoro.

L'impianto è composto da diversi elementi installati su di un unico profilato in acciaio sollevabile e trasportabile in blocco. Essenzialmente si tratta di un tipico impianto di filtrazione tangenziale; è formato da un serbatoio di servizio utilizzato per i lavaggi e come polmone durante il ciclo di filtrazione; munito di boccaporto di ispezione, sistema di lavaggio e sensore di livello, alimentato automaticamente di prodotto da filtrare con una pompa volumetrica centrifuga dotata di sensore presenza prodotto in tiro.

Dal Cluster polmone il prodotto è prelevato da una pompa volumetrica “mono” di pressurizzazione e inviato a uno sgrigliatore a costruzione verticale, con funzione di prefiltro del prodotto in ingresso. Tale sgrigliatore è di tipo autopulente, tramite l’azione continua di spazzole in acciaio che mantengono sempre pulita la superficie della griglia al suo interno. Il liquido e le particelle di diametro inferiore ai fori della griglia vengono inviati grazie alla spinta della pompa volumetrica di pressurizzazione nel circuito di ricircolo chiamato anche loop, costituito da tubazioni in acciaio di sezione adeguata che collegano la pompa di ricircolo di tipo centrifugo ad elevato rendimento, al modulo che contiene le membrane. L’elevata portata della pompa garantisce il moto tangenziale al prodotto all’interno dei canali delle membrane. Sulla parte superiore del modulo porta membrane, ovvero quella di alimentazione, è montato un sistema di pulizia delle membrane stesse che, tramite spazzole in materiale plastico alimentare, asporta tutte le fibre accumulate sulle estremità superiori delle membrane, che non sono state trattenute dallo sgrigliatore. Il sistema provvede anche all’aspirazione delle fibre rimosse ed alla loro evacuazione. La filtrazione avviene grazie alla differenza di pressione (Δp) esistente fra l’interno e l’esterno delle membrane, ed è regolata dalla pompa di pressurizzazione. Il permeato prodotto si raccoglie in un serbatoio cilindrici in acciaio posto nella parte posteriore del modulo e convogliato dalla stessa forza direttrice del processo (Δp) direttamente in vasca. La particolarità di questi due serbatoi sta proprio al loro interno, poiché il permeato non è a contatto con l’acciaio ma è separato da esso da una membrana in elastomero. Quest’ultima, comprimendosi tramite un sistema pneumatico collegato a un compressore esterno, innesca il sistema Back-Wash, effettuando dei lavaggi delle membrane in contro flusso con prodotto pulito (permeato) ad intervalli di tempo programmabili dall’operatore in base alla difficoltà di filtrazione.

Durante la fase di Back-Wash, il prodotto verrà mandato nel serbatoio di servizio o nel serbatoio del concentrato. Il retentato (miscela di impurità e di liquido ancora da filtrare) durante la filtrazione ricircola all’interno del modulo, concentrandosi. In questa fase una porzione di prodotto da filtrare contenuta all’interno del circuito di ricircolo, viene prelevata e inviata all’interno del serbatoio di servizio per diluirsi con del prodotto ancora non trattato, in modo da mantenere all’interno del modulo la concentrazione dei solidi sotto controllo. Terminato il lotto da filtrare o raggiunta

la massima concentrazione consentita, è necessario svuotare completamente l'impianto che contiene sia prodotto filtrato (permeato) che concentrato.

Le due diverse porzioni vengono estratte dal filtro separatamente per mezzo di gas inerte che li spinge e li manda nei rispettivi serbatoi, di prodotto filtrato e prodotto concentrato (Zappulla, A. 2017).



Figura 20 - Membrane tubolari multicanale.

Quando il prodotto da filtrare è terminato o si vuole interrompere la filtrazione, l'operatore può avviare manualmente l'aborto del ciclo e avviare il ciclo di lavaggio che meglio si adatta allo stato di intasamento del filtro, a prodotto terminato l'impianto può iniziare il lavaggio anche automaticamente. Il lavaggio interessa tutti i componenti, dal serbatoio di servizio, lo sgrigliatore, ed infine anche il modulo filtrante, i tempi sono più o meno lunghi in base al lavaggio selezionato, al termine di questi l'impianto esegue un test di membrana per rilevare l'efficienza di pulizia, attraverso sovrappressioni sui setti filtranti, se l'impianto non supera il test ricomincia autonomamente con il lavaggio selezionato in precedenza. I tipi di lavaggio che si possono combinare e scegliere sono di 3 tipi:

- 1) Lavaggio freddo, eseguito con acqua a temperatura di circa 15°C. Il lavaggio con acqua fredda serve solamente per un semplice risciacquo del filtro.
- 2) Lavaggio caldo, suddiviso in tre fasi in modo da evitare sbalzi termici.

- a) lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15°C serve come risciacquo del filtro.
 - b) lavaggio con acqua calda ad una temperatura di circa 70°C per una pulizia più efficace.
 - c) lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15°C per un risciacquo preliminare e raffreddamento delle membrane.
- 3) Lavaggio chimico, suddiviso in varie fasi ed eseguito con soluzioni basiche, acide e neutralizzanti sempre preceduti da un lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15°C, per evitare sbalzi termici dannosi per le membrane in ceramica, e risciacquare l'impianto.
- a) lavaggio con acqua fredda per 30 minuti, ad una temperatura di circa 15°C serve come risciacquo del filtro,
 - b) lavaggio di 20 minuti con acqua calda, ad una temperatura di circa 45°C,
 - c) lavaggio per 90 minuti con 15 litri di soluzione basica (soda caustica), con concentrazione di 1,5% ad una temperatura di circa 30°C,
 - d) lavaggio "booster" con 3,5 litri di acqua ossigenata per 180 minuti, alla concentrazione di 0,20%, il contributo delle microbolle del detergente agevola la pulizia,
 - e) lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15°C serve per un risciacquo preliminare dei residui basici,
 - f) lavaggio con soluzione acida (acido fosforico) con concentrazione minima dello 0,5% e massima del 3% ad una temperatura di circa 15°C,
 - g) lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15°C serve per un risciacquo finale per garantire la completa rimozione degli eventuali residui acidi.

Le concentrazioni dei detergenti sono preimpostate dalla macchina, come i tempi di durata di lavaggio. Per il lavaggio chimico però si attestano tempi di pulizia di circa 10 ore al termine di ogni ciclo di filtrazione.

Il processo di filtrazione è totalmente automatizzato (Fig. 21), eccetto per il fatto che il cluster viene collegato alla vasca del prodotto da filtrare e i 3 impianti vengono manualmente collegati al cluster polmone, alla vasca di raccolta del permeato, ed infine ad una vasca per la raccolta del concentrato.



Figura 21 – Gestione operativa della filtrazione dal display Cluster

6.2.3. Filtrazione di superficie con rotativo “TAYLO”

Il filtro a tamburo utilizzato in cantina è il Taylo della TMCI Padovan (Fig. 22), prevedeva la filtrazione; della feccia di flottazione, ritenuto prodotto dalla filtrazione tangenziale e delle fecce di decantazione presenti nei travasi del vino.



Figura 22 - Filtro sottovuoto rotativo nella fase di preparazione del setto filtrante

Il setto filtrante era costituito da perlite espansa, tale coadiuvante in polvere veniva sciolto in acqua all'interno della vasca precoat, di circa 6 hL, e tenuta in agitazione con l'ausilio di un agitatore. Tutto l'impianto della preparazione del pannello

iniziava dal trasporto dei sacchi di perlite, del peso di 600-700kg, dalla postazione di stoccaggio al carro ponte, mediante un carrello elevatore elettrico. Il carro ponte agganciava il sacco di perlite dalle quattro fascette del sacco, solitamente poste negli angoli superiori e lo posizionava al di sopra di una meccanismo di trasporto a coclea inclinata di 45°. A causa dell'elevata compattazione del sacco di perlite per agevolare la caduta del coadiuvante sulla coclea, il sistema necessita la presenza di pistoni pneumatici alterni contrapposti intorno al sacco che sollecitano lo svuotamento. La coclea aveva il compito di portare lentamente la perlite all'interno del precoat, come è stato già detto in precedenza, il momento in cui si scioglie la perlite in acqua è importante per ottenere la giusta concentrazione della pasta che costituirà il setto filtrante del Taylo, nella prova sono stati osservati i tempi di tutte le preparazioni preliminari alla filtrazione; il tempo che intercorre dall'inizio della miscelazione a quando si ottiene la giusta concentrazione di coadiuvante è di circa 30 minuti, in questo lasso di tempo si possono controllare le tubazioni dell'alimentazione del filtro, mediante una pompa a pistoni, (la pompa deve estrarre dalla vasca contenente il prodotto da filtrare e mandare nel recipiente del filtro Taylo) e quelle dell'estrazione (dalla camera di depressione la pompa a girante manda il prodotto nella vasca del permeato, dall'alto, questo perché se la pompa spingesse il liquido dalle solite valvole presenti in basso alla vasca di 650hL, la pompa andrà in sforzo spingendo contro una colonna di liquido di 8 metri).

Ottenuta la pasta idonea si inizia a riempire il recipiente del filtro e a depositare il prodotto sopra il supporto del pannello, mediante l'attivazione delle pompe del vuoto (come visto a pagina 19) fino a quando la miscela nel precoat non è esausta, costituendo solo acqua. Il tempo che intercorre alla formazione del pannello finito è di circa 45 minuti, per non avere sprechi di perlite è preferibile allungare il tempo del ricircolo, assicurandosi che sia tutta costituente il setto filtrante. La gestione del taglio di rinnovo del pannello, con la lama raschiante, spesso viene eseguita in base alle tempistiche della cantina e dal tipo di prodotto da filtrare, se il prodotto è molto viscoso il giro del tamburo dovrà essere lento, aumentando il tempo di asciugatura del pannello per diminuire le perdite, quindi la lama che è complementare al giro del tamburo per quando riguarda la cinetica, dovrà avanzare lentamente.

Il prodotto tagliato a ogni giro del tamburo scivola sulla lama cadendo su un nastro trasportatore, dirigendo lo scarto del Taylo su un secondo nastro trasportatore che

essendo inclinato verso l'alto lo porterà in un cassone, dove viene accumulata e spostata dagli enti che collaborano con le rispettive distillerie

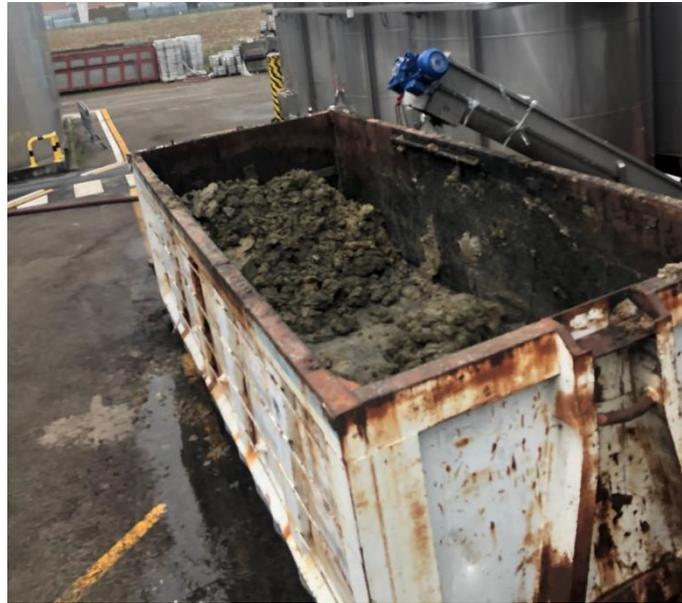


Figura 23 – Deposito dello scarto prodotto dal filtro Taylo

In media, il pannello è di circa 8cm di spessore e la lama avanza a una velocità di 1cm/h, dunque il ciclo di filtrazione dura 8 ore. Al termine della filtrazione la lama arriva a un blocco che è posizionato a 1 cm dalla griglia metallica del supporto di filtrazione, per non causare la possibile rottura o eventuali danni del tamburo, questo residuo di pannello per non creare inquinamento delle reti fognarie, viene mandato nella vasca del prodotto da filtrare la volta successiva, consentendo il riciclo per la filtrazione successiva.



Figura 24 – Filtro rotativo durante la filtrazione del ritenuto dall’Omnia

La pulizia del Taylo si può definire semi autopulente, gli ugelli, posizionati al lato opposto del tamburo che vede la lama, una volta azionati lavano il tamburo che sarà tenuto in rotazione e con le pompe del vuoto spente (consentendo la caduta totale del pannello e la giusta pulizia), l’operatore però dovrà lavare le componenti che non raggiungono gli ugelli; la lama, l’interno del recipiente e il nastro di trasporto. Una volta lavato l’esterno del filtro, si accendono le pompe del vuoto con gli ugelli attivi, per poter lavare tutta la componente interna del tamburo, l’acqua di lavaggio che entrerà nella camera di depressione verrà indirizzata cambiando la tubazione dell’estrazione dalla vasca alle fogne, per non mandare acqua di lavaggio nella vasca del permeato. La pratica di pulizia in totale è di circa 1 ora, attribuendo così un ciclo complessivo di 10 ore di utilizzazione, di cui 8 di filtrazione.

6.3. Modalità di lavorazione della cantina

Il modo operativo della cantina nella filtrazione delle fecce di flottazione prevedeva di ridurre, il più possibile, l’utilizzo del filtro sottovuoto Taylo. Spesso si è stati costretti a farne ricorso e a diluire in vasca il concentrato prodotto dal filtro tangenziale, con la feccia di flottazione per i seguenti problemi operativi;

1. I filtri tangenziali non lavorano in modalità isobarica (come può accadere nelle filtrazioni tangenziali degli spumanti), questo comportava arresti da parte della macchina che segnava l’errore di sovrappressione in entrata, data

dalla anidride carbonica prodotta dalle fecce di flottazione. L'elevata presenza di microrganismi e la parte zuccherina del mosto causa una fermentazione spinta, dal momento che fisicamente non si poteva intervenire, si è agito chimicamente con l'ausilio di una piccola aggiunta di metabisolfito di potassio nel cluster, il ciclo di filtrazione è stato prolungato, producendo 100hL/die di limpido in più,

2. Il filtro tangenziale OMNIA non prevedeva un sistema di raffreddamento interno al ricircolo, solo il cluster polmone era un serbatoio refrigerato ($\approx 10^{\circ}\text{C}$), ma il sistema di filtrazione causa un aumento di energia cinetica data dal moto turbolento del ricircolo del prodotto causa un aumento di temperatura. Nella prova si sono attestati aumenti di temperatura del prodotto entrante da 12°C a 25°C del prodotto uscente,
3. L'elevata presenza di solidi sospesi nel prodotto entrante alla filtrazione tangenziale poteva causare problemi di colmataggio e, soprattutto verso la fine della filtrazione, l'Omnia non riusciva a liberare le membrane dal fouling, il sistema bloccava la filtrazione a causa dell'errore dato in risposta all'aumento di pressione del getto d'aria necessario a liberare le membrane,
4. Il filtro sottovuoto è in grado di filtrare il concentrato dell'Omnia, ma non con una massima efficienza, questo è dovuto al colmataggio abbastanza rapido del pannello, estraendo relativamente poco liquido, la soluzione era quella di accumulare il concentrato del tangenziale nella vasca di stoccaggio e aggiungere la feccia di flottazione quando i filtri tangenziali si bloccavano.

7. Discussione dei risultati

La scelta di filtrare il ritenuto del filtro tangenziale non è una tecnica che applicano in molte cantine, come nel caso della cantina Sociale di Faenza che ha iniziato a filtrare il ritenuto solo un anno fa, quindi occorre inquadrare se questa tecnica è positiva da un punto di vista qualitativo ed economico, rilevandone eventuali limiti.

7.1. Operatività degli impianti

I seguenti elementi operativi sono stati misurati sugli impianti di filtrazione durante l'annata 2020;

PARAMETRI OPERATIVI	Taylo con fecce	Omnia con fecce	Taylo con scarto
Giorni di lavoro (gg/anno)	60	90	60
Ore giornaliere (h/giorno)	24	24	24
Ore di effettiva filtrazione (h/giorno)	19	14	19
Ore di lavaggio e preparazione (h/giorno)	5	10	5
Produttività effettiva (hL/h)	25	16	12
Produttività media (hL/h)	16	9,3	8
Utilizzazione annua (h/anno) U	1440	2160	1440
Numero operatori (h/giorno)	12	1	12
Consumo orario medio el. (kWh)	32,2	26	32,2
Pannelli giorno (n./giorno)	2,5	-	2,5
Consumo Perlite (kg /pannello)	600	-	600
Media gradi (% Vol)	10,5	10,5	10,5
Perdita stimata di prodotto (%)	3,9	9,8	38,0

Tabella 1 – Parametri operativi degli impianti

La voce riguardante le ore di utilizzazione annuale dell'Omnia è maggiore rispetto alle ore del Taylo perché la produzione oraria e le ore di effettiva filtrazione sono inferiori, nonostante la sostanza da filtrare sia la stessa, suggerendo che il Taylo è più prestante nella filtrazione e richiede minor tempo nella pulizia consentendo di poter essere operativo alla filtrazione più ore dell'Omnia nel corso della giornata. Il forte vantaggio dell'Omnia sta nell'automatizzazione, riducendo le spese per il

personale da 12 h/giorno del Taylo a 1 h/giorno dell'Omnia, anche nel poter filtrare senza l'ausilio di coadiuvanti si trova il forte vantaggio economico (riducendo di molto i costi variabili) e il vantaggio sanitario-ambientale nel produrre uno scarto non inquinante, come accade nel Taylo.

7.2. Valutazioni analitiche

Da un punto di vista qualitativo si sono ottenuti dei risultati nel laboratorio analisi interno della cantina, i campioni di limpido sono stati filtrati su un doppio filtro carta, mentre i campioni fecciosi sono stati centrifugati, ottenendo così una separazione di limpido e solidi, la porzione limpida è stata anche essa filtrata con doppio filtro carta. È stato scelto questo metodo operativo per poter porre tutte i campioni nelle medesime condizioni di analisi, altrimenti i risultati potevano essere falsati data l'elevata presenza di solidi sospesi.

I parametri delle analisi di acidità totale, Densità ottica, polifenoli totali e pH sono stati ottenuti con metodi diversi dagli altri parametri. La rilevazione dell'acidità totale si è ottenuta mediante titolazione con NaOH (0,1N) in presenza di blu di bromotimolo come indicatore che vira a valori di pH intorno al 7. Per l'intensità colorante si è ricorsi alla rilevazione della densità ottica sulla lunghezza d'onda di 420nm, tarato allo spettrofotometro e diluendo il campione 10 volte, anche i polifenoli totali si sono ottenuti con questa tecnica, ma tarando lo spettrofotometro a lunghezze d'onda di 280nm. Per il pH si è analizzato il campione con l'elettrodo immerso e tenuto in agitazione. Tutti gli altri parametri analitici sono stati ottenuti con WineScan™ della "FOSS".

Le analisi chimico-fisiche sono servite a verificare l'incidenza della filtrazione con l'Omnia e il Taylo sulle caratteristiche compositive dei prodotti presi in esame. Nelle tabelle mostrate di seguito, sono posti in relazione i dati analitici relativi ai prodotti in ingresso, con quelli ottenuti successivamente ai processi di filtrazione.

Impianto utilizzato	Flottatore	TAYLO	OMNIA	OMNIA + TAYLO	
Prodotto	Feccia di flottazione	Permeato sottovuoto	Permeato Tangenziale	Ritenuto Tangenziale	Permeato del Ritenuto
Titolo alcolometrico volumico effettivo (% vol.)	0,17	0,12	0,19	0,72	1,02
Zuccheri riducenti (g/L)	184,75	180,16	182,34	156,94	141,84
Titolo alcolometrico volumico totale (% vol.)	11,26	10,93	11,14	10,14	9,52
Acidità totale (g/L)	4,95	4,90	4,50	4,44	4,04
Acidità volatile (g/L)	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08
Intensità colorante (nm)	0,077	0,092	0,063	0,165	0,087
Estratto secco (g/L)	184,55	184,12	182,87	169,45	117,86
APA (mg/L)	209,49	195,2	194,24	137,27	103,58
pH	3,39	3,46	3,55	3,49	3,37
Polifenoli totali (mg/L)	157	137	139	152	135

Tabella 2 – Analisi dei prodotti trattati

Permeato Sottovuoto: Il prodotto limpido ottenuto dalle fecce di flottazione, filtrate con Filtro rotativo sottovuoto Taylo.

Permeato Tangenziale: Il prodotto limpido ottenuto dalle fecce di flottazione, filtrate con Filtro tangenziale Omnia.

Ritenuto Tangenziale: Il prodotto torbido trattenuto dal filtro tangenziale Omnia, dopo la successiva filtrazione delle fecce di Flottazione.

Permeato del Ritenuto: Il prodotto limpido ottenuto dal Ritenuto Tangenziale, filtrato con Filtro rotativo sottovuoto Taylo.

Le analisi ci indicano nella terza e quarta colonna come sono i prodotti limpidi estratti dalla feccia di flottazione filtro Omnia e Taylo;

- Titolo alcolometrico volumico totale maggiore nel prodotto estratto da Omnia rispetto al Taylo, dovuto probabilmente alla presenza di acqua di diluizione, l'impianto di filtrazione sottovuoto Taylo prevede inevitabilmente nella formazione del pannello abbondanti quantità d'acqua,
- Un intensità colorante maggiore nel prodotto estratto con filtro Taylo rispetto a Omnia dovuto probabilmente alla maggiore esposizione del prodotto all'ossigeno.

Tutte le altre voci non sono molto discostanti come valori l'una dall'altra. Nella quinta colonna invece notiamo come si presenta il prodotto non filtrato da Omnia e che sarebbe potuto andare in distilleria ed è stato filtrato con filtro Taylo:

- Una diminuzione degli zuccheri dalla Feccia di flottazione al Ritenuto dovuto a un leggero avvio fermentativo e dalla estrazione qualitativa del tangenziale nel permeare gli zuccheri, impoverendo il ritenuto,
- Tutte le altre voci che indicano una diminuzione dei parametri dal Ritenuto alla Feccia di flottazione sono dovuti alla mancata estrazione da parte di Omnia e che quindi sono rimasti nel ritenuto.

Nella colonna successiva vediamo come si presenta tale prodotto dopo essere stato filtrato con il filtro Taylo;

- Una diminuzione del titolo alcolometrico volumico totale dato dalla problematica della diluizione dell'acqua presente nel pannello, espresso in precedenza,
- Diminuzione dell'intensità colorante, nonostante si presenti lo stesso il problema dell'ossigenare il prodotto nel filtro Taylo, l'intensità colorante è diminuita dal Ritenuto perché il valore ottenuto di D.O. a 420nm è sopravvalutato dalle torbidità del campione.

L'abbassamento di circa 2 gradi del titolo alcolometrico volumico totale del permeato del ritenuto rispetto la feccia di flottazione non grava molto perché tutti i prodotti estratti dalla feccia di flottazione si uniscono nella medesima vasca, inoltre, le quantità che si estraggono dal ritenuto sono, circa, un 5% v/v della quantità estratta dalla feccia di flottazione che presenta un grado maggiore, dunque la diluizione dell'alcol avviene in maniera blanda. La pratica di filtrare il Ritenuto del filtro Omnia nasce dalla valutazione della quantità di liquido presente in esso, che non veniva estratto totalmente, nel seguente grafico sono messi in evidenza il grado percentuale di umidità su peso secco, rilevato presso il laboratorio analisi dell'enotecnico Mario Tedesco di Lugo (RA).

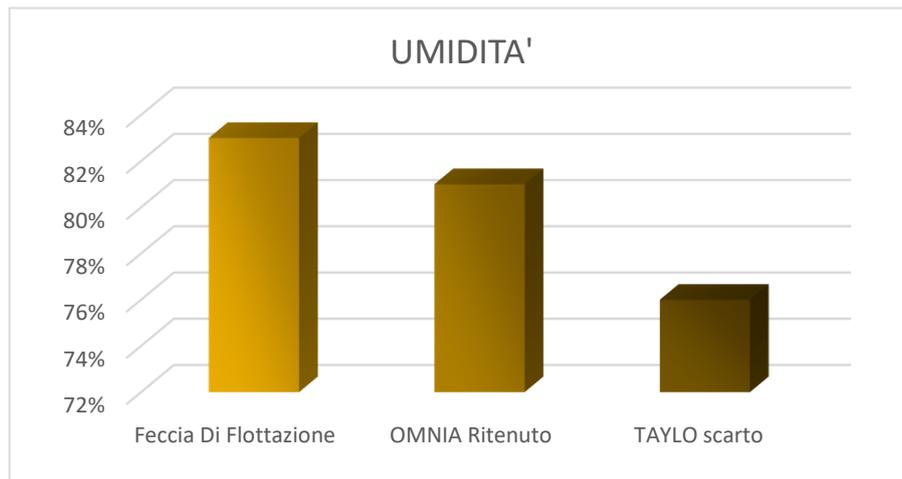


Figura 25 – Umidità relative dei sottoprodotti

Nella prima e seconda colonna il risultato è stato ottenuto mediante evaporazione del campione liquido tal quale, nella terza colonna si è provveduto ad un campionamento dello strato più esterno del pannello (diretto in distilleria) all'inizio, a metà e a fine della filtrazione del Ritenuto (OMNIA scarto). Da questa analisi si intuisce che nei prodotti di scarto degli impianti è ancora presente una discreta quantità di liquido estraibile, nonostante la tecnica di chiarifica o di filtrazione punti a diminuire questa porzione liquida, l'umidità data dalla Feccia di flottazione è data dai flocculi, che si vengono a formare per diminuire la densità degli elementi da asportare, portano con se nel processo una porzione di mosto, tale mosto viene estratto dal filtro Omnia, il quale ha un ottima capacità estrattiva, ma che ritiene, insieme alle sostanze da allontanare dal mosto, una discreta quantità di liquido che potrebbe essere estratta con il filtro Taylo, tuttavia l'umidità del pannello nella filtrazione di tale ritenuto è relativamente alta, questo perché si crea il fenomeno del colmataggio che non consente l'asciugatura totale del pannello.

7.3. Valutazioni operative ed economiche

La valutazione dei costi e dei ricavi dei sistemi di filtrazione sono stati basati sui parametri economici riportati nella tabella 3. I valori riportati sono stati ricavati da dati bibliografici e dai dati reperiti presso la cantina.

Fra gli elementi che differenziamo i due impianti si evidenzia soprattutto il prezzo d'acquisto, quasi doppio per l'Omnia. Il filtro tangenziale risulta penalizzato anche per il costo orario del personale più elevato per la necessità di utilizzare addetti più professionali e preparati. Le due voci sfavorevoli al filtro rotativa riguardano

l'impiego di materiale di filtrazione e una minore durata economica, che tiene conto di una prospettiva di impiego probabilmente limitata di questa tecnologia.

ELEMENTI ECONOMICI	Taylo	Omnia
Prezzo di listino - PL (€)	80.000	150.000
Valore residuo (% PL)	5	5
Durata fisica - N (h)	12.000	15.000
Anni di utilizzo - n	N/U (max. 15)	N/U (max. 15)
Saggio d'interesse (%)	0,02	0,02
Coeff. globale rip. e manut. (% PL)	10	10
Salario operatori (€/h)	15	20
Costo energia elettrica (€/kWh)	0,17	0,17
Prezzo filtrina (€/kg)	0,4	-
Valore mosto (€/grado hL)	3,95	3,95

Tabella 3 - Parametri economici degli impianti

Considerando l'utilizzazione dei due impianti verificata in cantina nell'annata 2020 (60 e 90 giorni rispettivamente per il Taylo e per l'Omnia) si possono ottenere i costi per unità di feccia lavorata sintetizzati nella figura 26. Complessivamente il costo per unità di feccia lavorata è minore con il filtro tangenziale, con uno scarto del 35%.

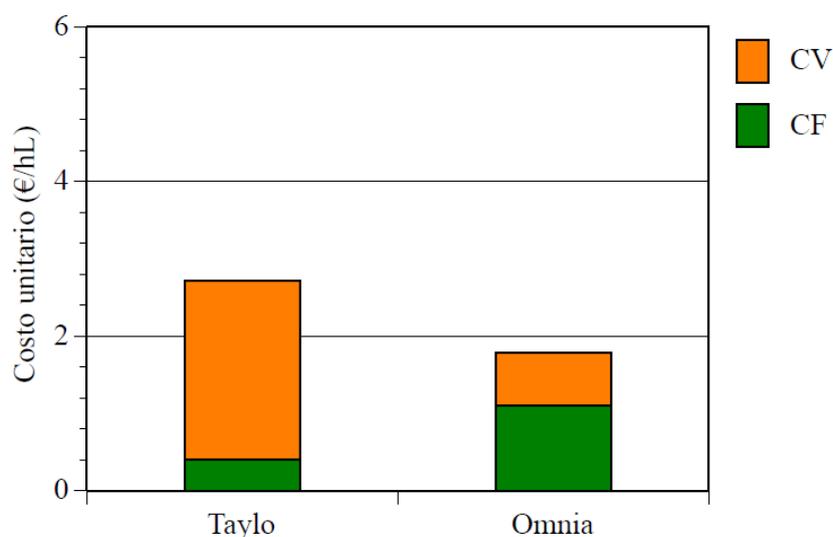


Figura 26 – Costo unitario dei due filtri, diviso in costi fissi (CF) e costi variabili (CV).

In questo schema si può notare come il costo unitario del filtro Taylo, caratterizzato da un prezzo d'acquisto relativamente contenuto, sia poco gravato dai costi fissi, mentre viene penalizzato dagli elevati costi variabili (circa l' 88% del costo totale), in gran parte attribuibili al costo dei coadiuvanti di filtrazione utilizzati.

Al contrario il costo unitario del filtro tangenziale Omnia, a causa dell'alto prezzo d'acquisto dell'impianto, è appesantito prevalentemente dai costi fissi (circa il 60% del costo totale). I costi variabili in questo caso risultano più che dimezzati confrontandoli con la tradizionale filtrazione rotativa sottovuoto. Risultato ottenuto con la completa eliminazione dei coadiuvanti di filtrazione, e grazie alla limitata richiesta di energia elettrica e manodopera.

Complessivamente il costo per unità di feccia lavorata è minore con il filtro tangenziale con uno scarto del 35%. La valutazione deve però tenere conto anche del costo indiretto imputabile all'esaurimento incompleto dei materiali trattati. In questo caso la maggiore perdita del filtro tangenziale (9,85%) rispetto al filtro rotativo (3,93%) penalizza il suo costo complessivo, che supera del 34% quello del filtro rotativo (fig. 27).

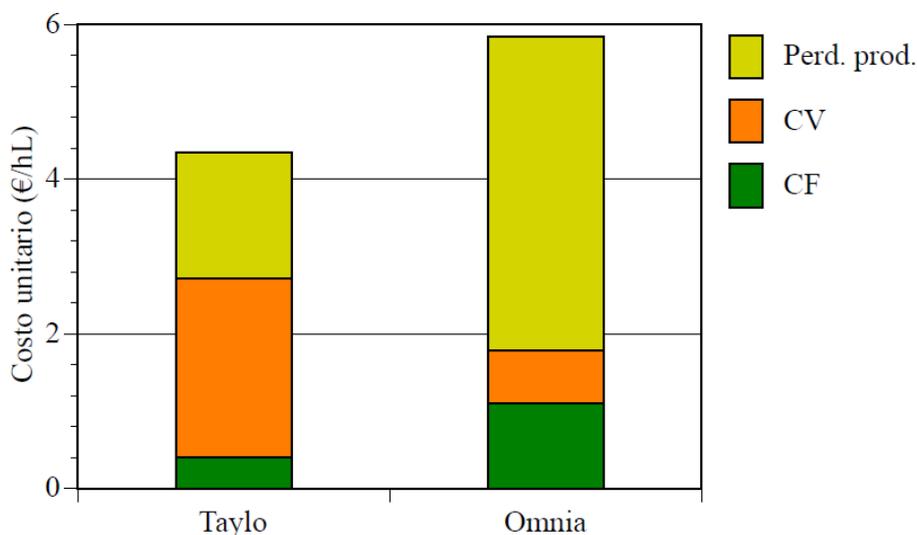


Figura 27 – Costo unitario dei due filtri con le relative maggiorazioni di perdita di prodotto

La comparazione appena fatta dei due sistemi di filtrazione può essere considerata rappresentativa anche di altre realtà operative. Infatti considerando un ampio intervallo di utilizzazione annuale la differenza fra i costi di filtrazione, sia o meno il costo indiretto dovuto al mosto non estratto, si mantiene in gran parte con lo stesso scarto. Fa naturalmente eccezione la prima parte delle curve in cui la bassa

utilizzazione annuale penalizza in particolar modo la filtrazione tangenziale gravata da quote fissa di ammortamento particolarmente pesanti (fig. 28 e 29).

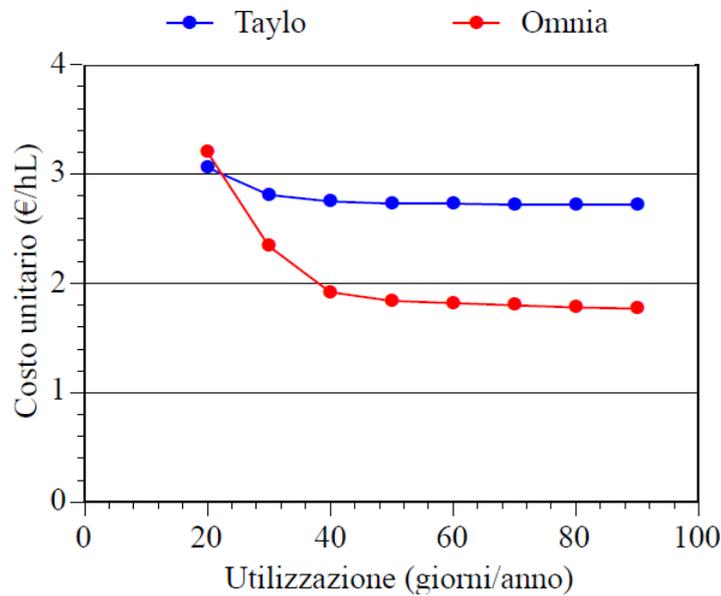


Figura 28 - Andamento costi in funzione dell'utilizzazione senza perdita di prodotto

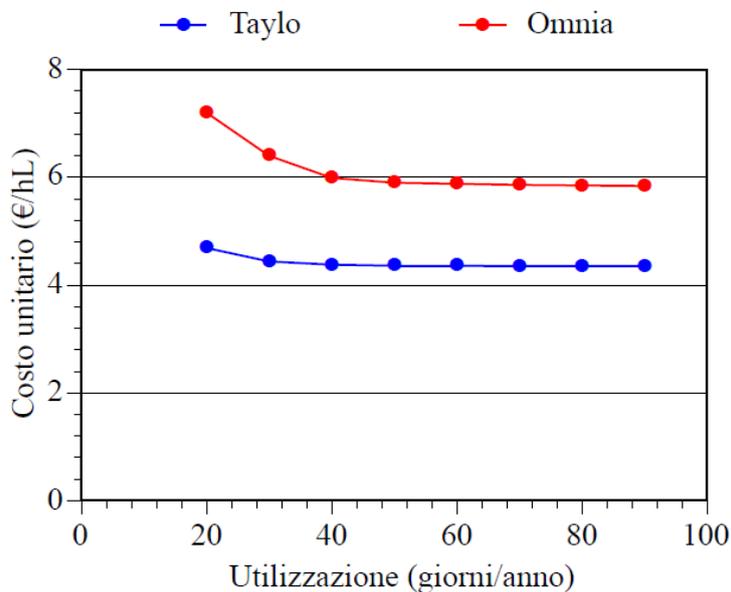


Figura 29 - Andamento costi unitari in funzione dell'utilizzazione in presenza della perdita di prodotto

Anche considerando differenti livelli di utilizzazione rimane invece sempre evidente e fondamentale l'incidenza economica causata dalla incompleta capacità di separazione del mosto. A questo riguardo i valori economici ricavati dall'esperienza già citata, condotta dalla cantina sociale di Faenza, che prevede un ulteriore

esaurimento del prodotto scartato dal filtro tangenziale con il filtro rotativo ha fornito interessanti indicazioni. Questa terza ipotesi di lavoro ha determinato un costo unitario certamente più elevato a causa del doppio passaggio di filtrazione e della minore efficacia del filtro rotativo (fig. 29), ma consente di recuperare un valore economico importante.

Una soluzione a questo elevato costo delle perdite di prodotto, potrebbe essere quello di filtrarle estraendo la porzione liquida rimanente nel ritenuto dell'Omnia con il filtro sottovuoto rotativo Taylo. Quindi occorre rielaborare i costi unitari del Taylo secondo questa diversa filtrazione di prodotto, dal momento che il prodotto ha una concentrazione di solidi sospesi molto maggiore rispetto alla feccia di flottazione e che l'utilizzazione annua diminuisce di molto.

PARAMETRI OPERATIVI	Taylo	Omnia	Omnia + Taylo	
Giorni di lavoro (gg/anno)	60	90	90	10,5
Ore giornaliere (h/giorno)	24	24	24	24
Ore di effettiva filtrazione (h/giorno)	19	14	14	19
Ore di lavaggio e preparazione (h/giorno)	5	10	10	5
Produttività effettiva (hL/h)	25	16	16	12
Produttività media (hL/h)	16	9,3	9,3	8
Utilizzazione annua (h/anno) U	1440	2160	2160	254
Numero operatori (h/giorno)	12	1	1	12
Consumo orario medio el. (kWh)	32,2	26	26	32,2
Pannelli giorno	2,5	-	-	2,5
Consumo filtrina (kg /pannello)	3,95	-	-	3,95
Media gradi (% Vol)	10,5	10,5	10,5	10,5
Perdita di prodotto (%)	3,9	9,8	9,8	38

Tabella 4 – Parametri operativi con la filtrazione del ritenuto dall'Omnia, con filtro Taylo

Nella tabella 4 sono stati riportati i parametri operativi delle 3 modalità di filtrazione della feccia di flottazione, i primi due modi (colonna del Taylo e colonna dell'Omnia) presentano le medesime caratteristiche della precedente (tabella 2), mentre l'ultima colonna è divisa in due in quanto i prodotti che lavorano sono diversi e cambiano i parametri operativi:

- I giorni di lavoro sono proporzionati alla quantità di ritenuto che produce il filtro tangenziale Omnia, ma come si è visto in precedenza il costo unitario del Taylo non è influenzato dall'utilizzazione annua.
- La produttività media ed effettiva si dimezzano, questo perché i solidi sospesi presenti nella feccia di flottazione dopo la filtrazione con flusso tangenziale si concentrano nel ritenuto diminuendone la porzione liquida, tale elevata quantità di solidi sospesi colmatano velocemente il filtro sottovuoto rotativo, non causandone l'arresto di filtrazione, ma sicuramente una diminuzione delle prestazioni.
- Le perdite di prodotto sono 10 volte maggiori rispetto allo stesso impianto che filtra fecce di flottazione, questa è una conseguenza del colmataggio del pannello che limitando la zona con strato filtrante rinnovato e la zona di filtrazione (vista in precedenza a pagina 20), non permette l'asciugatura del pannello con la depressione delle pompe, portando una quantità di liquido elevato sullo strato di coadiuvante che la lama asporta ad ogni giro del tamburo.

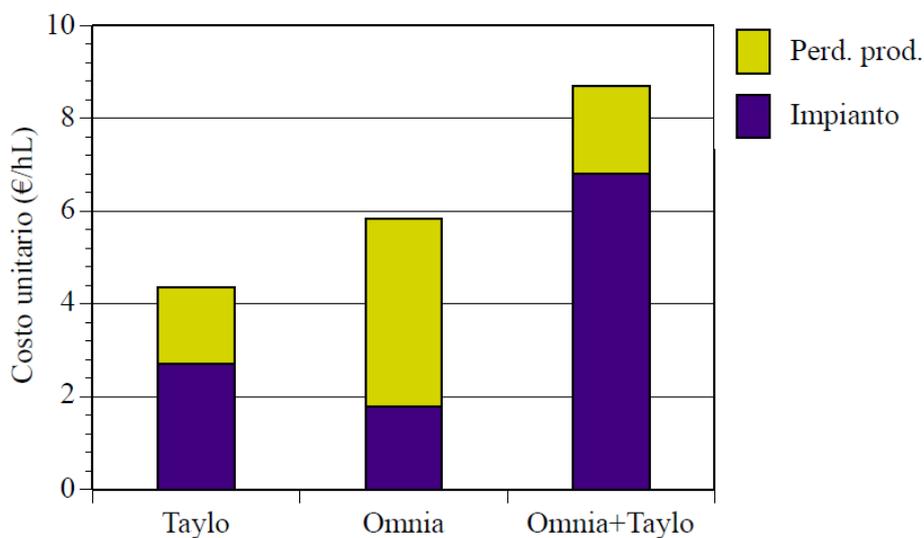


Figura 30 - Costo unitario con le relative maggiorazioni per la perdita di prodotto

Come si può notare, il costo unitario della combinazione dei due filtri supera la regolare gestione dei filtri, questo perché c'è da considerare l'utilizzazione di due impianti nei quali i costi si sommano. Nonostante i costi variabili siano bassi dato il poco consumo di coadiuvante del Taylo, le perdite di prodotto nella combinazione risulta maggiore rispetto quella del Taylo alimentato con feccia di flottazione,

questo perché il ritenuto causa il colmataggio del filtro riducendo la capacità estrattiva dell'impianto.

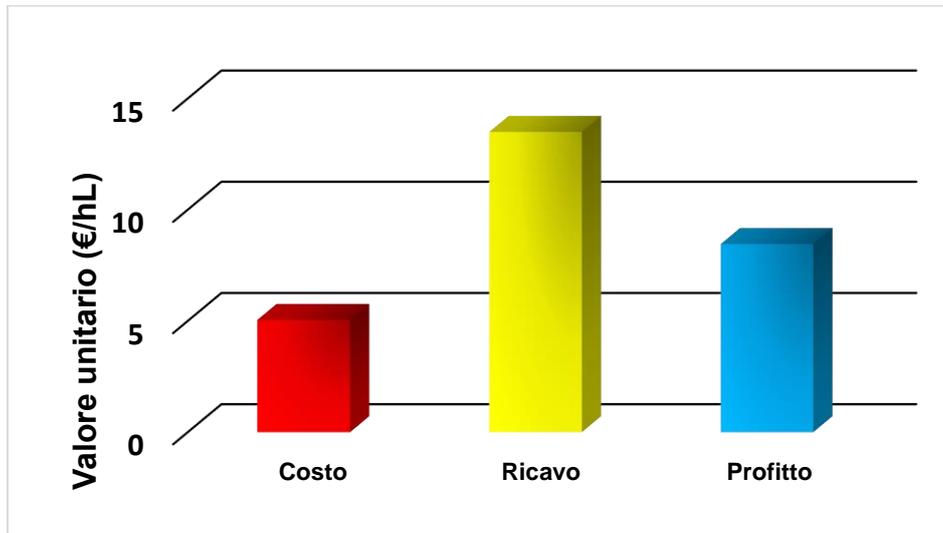


Figura 31 – Relazione dei fattori che determinano il vantaggio della gestione

I dati rilevati forniscono il bilancio economico, riferito ad 1 ettolitro di feccia di flottazione, riportato nella figura 31. In concreto l'applicazione di questa combinazione nell'annata 2020 ha consentito di recuperare un quantitativo di prodotto pari a 41.800 euro (62,6% del ricavo) a fronte di un costo aggiuntivo di poco superiore ai 5.000 euro.

8. Conclusioni

La prova effettuata sui sistemi di filtrazione delle fecce di flottazione dei mosti presenti nella cantina sociale di Faenza ha fornito interessanti elementi per valutare e organizzare questa importante fase di lavorazione dei vini bianchi nelle cantine di elevata capacità produttiva.

La recente acquisizione del filtro tangenziale Omnia, utilizzato in cantina per la pulizia di molti prodotti, ha permesso di verificare le sue possibilità anche nella lavorazione di un prodotto con un'elevata presenza di solidi sospesi come sono le fecce di flottazione. Il confronto diretto con il tradizionale filtro rotativo sottovuoto ha evidenziato le positività e i limiti in questo comparto della filtrazione tangenziale. Certamente l'automazione dell'impianto, la bassa richiesta di manodopera e il rispetto qualitativo del prodotto lavorato rappresentano punti di forza che questo impianto presenta già oggi. In prospettiva potrebbe invece essere la mancanza di coadiuvanti della filtrazione l'aspetto che spingerà con maggior forza l'uso di questa tecnologia nell'ottica di un maggior rispetto degli operatori e dell'ambiente in generale.

Per contro i limiti produttivi e la difficoltà all'esaurimento completo del ritenuto sono aspetti non secondari, che possono renderlo meno appetibile rispetto al tradizionale filtro rotativo, da un punto di vista economico.

In realtà le due tecnologie, come evidenziato anche dai risultati, possono non essere solo alternative l'una all'altra, ma possono anche operare in sinergia, limitando l'utilizzo dei coadiuvanti della filtrazione tradizionale e portando ad esaurimento ciò che non estrae la filtrazione tangenziale, sfruttando così le migliori caratteristiche di ciascuna per realizzare un'efficiente linea di lavoro per prodotti di qualità ed economicamente vantaggiosa.

Bibliografia

- ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineers (2011). *ASABE Standards 2011*. St Joseph (USA).
- Della Toffola S.p.A. (2016). *Manuale di istruzioni per l'uso e la manutenzione. Filtro tangenziale OMNIA-I*. Signoressa di Treviggiano (TV): Della Toffola S.p.A.
- De Vita, P., De Vita, G., (2011). *Manuale di meccanica enologica*. Milano: HOEPLI.
- Ducruet, J. Silvestri, A.C., Hippenmeyer, P. (2006). Etude comparative de différents filters tangentiels en oenologie. *Ecole d'ingénieurs de Changins, 1260*, Nyon 1.
- El Rayess, Y., Albasia, C., Bacchin, P., Taillandier, P., Raynal, J., Mietton Peuchote, M., Devatine, A. (2011). Crossflow microfiltration applied to oenology: A review. *Journal of the Membrane Science*, 382, 1-19.
- Flanzy, C. (1998). *Oenologie. Fondements scientifiques et technologiques*. Paris: Tec & Doc Lavoisier.
- Friso, D. (2013). *Ingegneria dell'industria alimentare. Operazioni Unitarie del Food Engineering Macchine e impianti*. Padova: CLEUP sc.
- Nardin, G., Gaudio, A., Antonel, G., Simeoni, P. (2006). *Impiantistica enologica. Ciclo di vinificazione e progettazione degli impianti*. Bologna: Edagricole.
- Pezzi, F. (2017). Micro, ultra e nano: la filtrazione tangenziale. *Vignevini: Rivista italiana di viticoltura e di enologia*, 44, 6, 28-31.
- Ribéreau Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A. (2010). *Trattato di enologia I. Microbiologia del vino Vinificazioni*. Bologna: Edagricole.
- Ribéreau Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A. (2010). *Trattato di enologia II. Chimica del vino Stabilizzazione Trattamenti*. Bologna: Edagricole.
- Serrano, M., Paetzold, M. Incidence de la filtration sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins. In: Donèche, B. (1994). *Les acquisitions recente dans les traitements physiques du vin*. Paris: Tec & Doc Lavoisier.
- Serrano, M., Pontens, B., Ribereau-Gayon, P. (1992). Etude de différentes membranes de microfiltration tangenti elle. Comparaison avec la filtration sur précouche de diatomées. *J. Internat. Sci. Vigne Vin*, 26, 2, 97-116.
- Zappulla, A. (2017). *Filtrazione tangenziale con membrane ceramiche statiche e dinamiche* (Doctoral dissertation).

Sitografia

- Della Toffola S.p.A: www.dellatoffola.it
- Istituto Nazionale di Statistica (Istat): www.istat.it
- TMCIPADOVAN S.p.A: www.tmcigroup.com