

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

TITOLO DELLA RELAZIONE FINALE

FILTRAZIONE TANGENZIALE CON MEMBRANE CERAMICHE STATICHE  
E DINAMICHE.

Relazione finale in Impiantistica Enologica

Relatore

Fabio Pezzi

Presentata da

Antonino Zappulla

Correlatore

Bruno Ranieri

Sessione unica

Anno Accademico 2016 - 2017

## Indice:

|  |        |
|--|--------|
| <b>Capitolo 1</b> – Introduzione .....                                   | Pag. 2 |
| <b>Capitolo 2</b> – La filtrazione .....                                 | » 4    |
| <b>2.1.</b> Tipi di filtrazione .....                                    | » 6    |
| <b>2.2.</b> Tecniche di filtrazione .....                                | » 8    |
| <b>2.2.1.</b> Filtrazione con prepanello ad alluvionaggio continuo ..... | » 9    |
| <b>2.2.2.</b> Filtrazione con strati filtranti.....                      | » 10   |
| <b>2.2.3.</b> Filtrazione tradizionale su membrana .....                 | » 10   |
| <b>2.3.</b> Parametri tecnici che caratterizzano i mezzi filtranti ..... | » 11   |
| <b>2.4.</b> Coadiuvanti di filtrazione .....                             | » 13   |
| <b>2.4.1.</b> Farina fossile .....                                       | » 14   |
| <b>2.4.2.</b> Perlite .....  | » 14   |
| <b>2.4.3.</b> Cellulosa .....  | » 14   |
| <b>Capitolo 3</b> – Filtrazione tangenziale .....                        | » 15   |
| <b>3.1.</b> Impianto modello di filtrazione tangenziale .....            | » 16   |
| <b>3.2.</b> Le membrane .....  | » 18   |
| <b>3.2.1.</b> Materiali polimerici .....                                 | » 19   |
| <b>3.2.2.</b> Materiali ceramici e minerali .....                        | » 20   |
| <b>3.3.</b> Configurazioni geometriche delle membrane .....              | » 20   |
| <b>3.3.1.</b> Confronto tra le diverse configurazioni .....              | » 21   |
| <b>Capitolo 4</b> – Obiettivo della tesi e luogo di svolgimento .....    | » 24   |
| <b>4.1.</b> Filtro a tamburo “Taylo” .....                               | » 25   |
| <b>4.2.</b> Filtro tangenziale “Omnia” .....                             | » 28   |
| <b>4.3.</b> Filtro tangenziale dinamico rotativo “Dynamos” .....         | » 33   |
| <b>Capitolo 5</b> – Descrizione prodotti e metodi .....                  | » 38   |
| <b>5.1.</b> Processo di termomacerazione .....                           | » 38   |
| <b>5.2.</b> Fondi di chiarifica per decantazione statica .....           | » 39   |
| <b>Capitolo 6</b> – Discussione dei risultati .....                      | » 40   |
| <b>6.1.</b> Valutazioni analitiche .....                                 | » 40   |
| <b>6.2.</b> Valutazioni operative ed economiche .....                    | » 43   |
| <b>Capitolo 7</b> – Conclusioni .....                                    | » 54   |
| <b>Bibliografia</b> .....  | » 56   |
| <b>Sitografia</b> .....  | » 57   |

## 1. Introduzione

L'impiantistica enologica negli ultimi decenni ha comportato una sempre crescente innovazione nel settore enologico, apportando miglioramenti nell'automazione e nell'ottimizzazione della redditività degli impianti. Tutto ciò è stato possibile grazie all'introduzione di nuove tecnologie e materiali che sono state affiancate alle tecniche tradizionali, semplificando le operazioni e garantendo il rispetto qualitativo del vino. Questo obiettivo è stato perseguito nell'ambito della ricerca e dello sviluppo da parte di università e aziende costruttrici in collaborazione con le aziende vitivinicole, per carpire i bisogni e migliorare le linee di produzione di quest'ultime.

Il binomio aziende costruttrici e aziende vitivinicole si è sempre più consolidato negli anni, proprio per via dell'aumento di grandezza di molte aziende vitivinicole (Istat, 2015), concomitante all'esigenza di mantenere alta la qualità del prodotto, intesa come soddisfazione del consumatore e ottimizzazione della redditività.

Uno dei settori dove si è concentrata la ricerca, è stato il settore della "Filtrazione".

Quando il vino è torbido, oppure quando nelle bottiglie è evidente il deposito sul fondo, il consumatore li percepisce come segno di deterioramento del prodotto. Infatti la limpidezza del vino è un aspetto molto importante e che porta frequentemente il consumatore ad optare per un prodotto piuttosto che per un altro. Quanto detto è evidente poiché il primo contatto che si ha con il vino, è proprio quello visivo. La limpidezza è per cui una qualità fondamentale e da mantenere durante tutto il periodo di stoccaggio (sia esso in bottiglia o serbatoio), ed in qualunque condizione (temperatura, illuminazione, ecc...). Il ruolo chiave della "Filtrazione" è quello di fornire limpidezza e stabilità microbiologica ai vini.

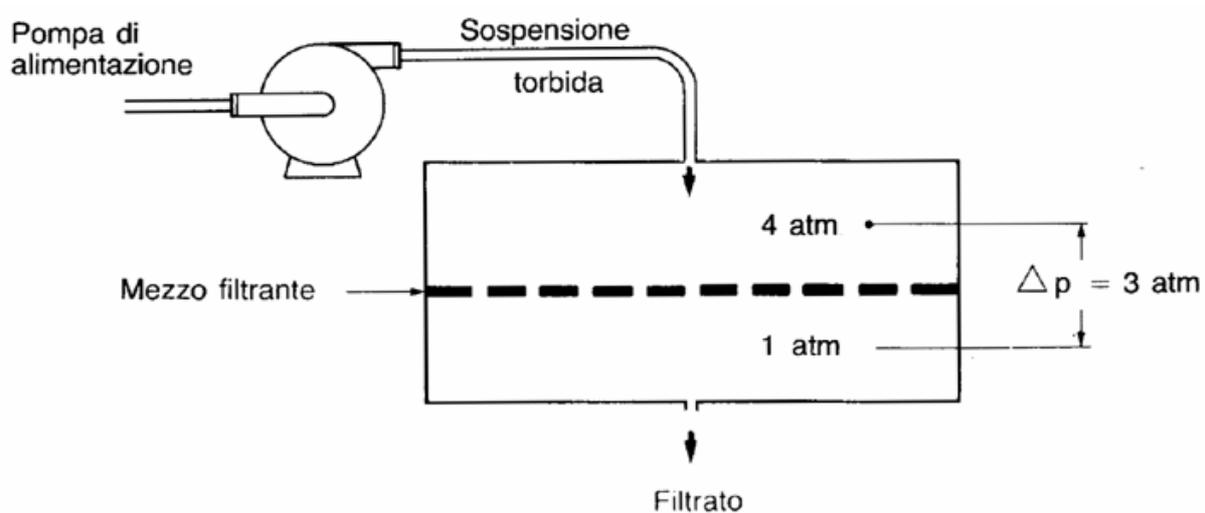
Soprattutto a partire dagli anni '80, dopo che la microfiltrazione tangenziale si era diffusa dall'industria delle biotecnologie all'industria alimentare, il settore enologico fu investito da un grande fermento causato da questo processo molto promettente. La microfiltrazione sembrò il metodo di filtrazione in grado di sostituire quella tradizionale, e quindi di compensare i suoi limiti per la qualità del vino.

Proprio in quegli anni si presentarono sul mercato i primi impianti pilota di filtrazione tangenziale; le prime applicazioni sperimentali in campo enologico vennero effettuate con membrane non specifiche e quindi inadatte al nuovo prodotto da trattare. Ciò comportò delle modifiche alla qualità organolettica dei vini trattati, oltre che un aumento sostanziale della temperatura durante il processo. Fu grazie a questi studi pionieristici 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, che 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 con un solo passaggio (essendo di 0,2  $\mu\text{m}$  il diametro medio dei pori), senza tuttavia modificare importanti parametri analitici come polifenoli, densità ottica,  $\text{SO}_2$  libera e acidità volatile. La microfiltrazione ha inoltre eliminato del tutto i coadiuvanti di filtrazione, con maggiore tutela dell'ambiente e risparmio energetico ed economico.

## 2. La filtrazione

La filtrazione è un'operazione fisico-meccanica con la quale un liquido in movimento, sotto l'azione di un gradiente di pressione, si separa dalle particelle solide in esso disperse, per effetto della loro ritenzione da parte di un mezzo filtrante poroso attraverso cui il liquido viene fatto passare (Fig. 1). La differenza di pressione (gradiente di pressione  $\Delta p$  - forza direttrice del processo) determina il passaggio del liquido da filtrare attraverso lo strato filtrante; essa può essere realizzata sia applicando una pressione a monte di tale strato (cioè sul liquido in entrata), sia creando una depressione a valle (De Vita et al., 2011).



*Figura 1 – Schema di funzionamento della filtrazione.*

In base al funzionamento si distinguono filtri:

- Continui, in cui non solo la sospensione torbida e il filtrato sono alimentati e scaricati in continuo, ma anche il deposito di filtrazione viene continuamente rimosso, rigenerando la superficie filtrante;
- Discontinui, nei quali l'allontanamento del deposito o la sostituzione del mezzo filtrante richiedono la sospensione della filtrazione.

Nel settore enologico, le particelle solide da eliminare, possiedono caratteristiche, dimensioni e proprietà fisiche diverse tra di loro. Esse 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 colmatante (gomme, mucillagini, pectine, fosfato di *Fe*, solfuro di *Cu*, sostanze tanniche, coloranti, proteine, residui di chiarificanti ecc...); ed in

“particelle solide in sospensione” costituite da colloidi flocculati, piuttosto comprimibili e ad elevato potere colmatante, da microrganismi (batteri, lieviti, muffe) mediamente comprimibili e di medio potere colmatante, da precipitati salini (sali di acidi organici e/o minerali) poco colmatanti 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 colmatanti.

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 semplici ed antociani → 500÷2.000 dalton;
- etanolo, 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”;
- Un “cartone” di cellulosa e di altri materiali polverulenti, quali ad esempio la farina fossile opportunamente compattati e con spessore dell’ordine di 5mm;
- Una “membrana” di materiale polimerico o ceramico di spessore dell’ordine di 2÷3 decimi di millimetro.

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

- Filtrazione normale: è effettuata con flusso frontale 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 l’illimpidimento di mosti e vini torbidi, di fondi di decantazione statica di mosti, di fondi di deposito dopo collaggio o travaso dei vini, nei processi di stabilizzazione tartarica, ecc...).
- Microfiltrazione: agisce con pressioni di 0,5 – 2 bar, con membrane a flusso tangenziale o frontale oppure cartoni filtranti a flusso frontale, con pori di 0,05 – 5 µm; (utilizzata in enologia nei processi di chiarifica e/o sterilizzazione).

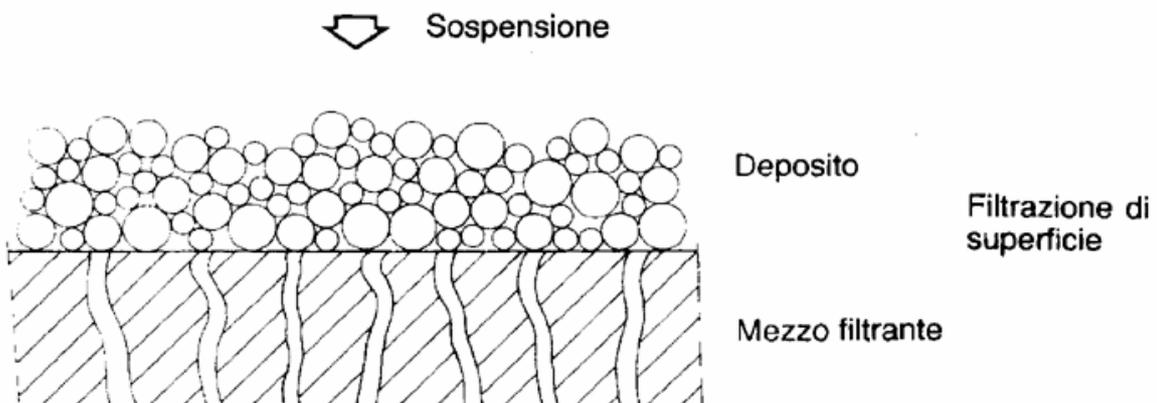
- Ultrafiltrazione: agisce con pressioni di 2 – 10 bar, con membrane a flusso tangenziale, con pori di 0,1 – 0,01  $\mu\text{m}$ ; (non impiegata in enologia).
- Nanofiltrazione: agisce con pressione di 10 – 30 bar, con membrane a flusso tangenziale, con pori di 0,01 – 0,001  $\mu\text{m}$ ; (non impiegata in enologia).
- Osmosi inversa: opera con 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 (< 100 dalton). In enologia è autorizzata soltanto nell'operazione di concentrazione, per l'aumento del titolo alcolometrico volumico naturale dei mosti.

## 2.1. Tipi di filtrazione

Si possono distinguere due tipi di filtrazione:

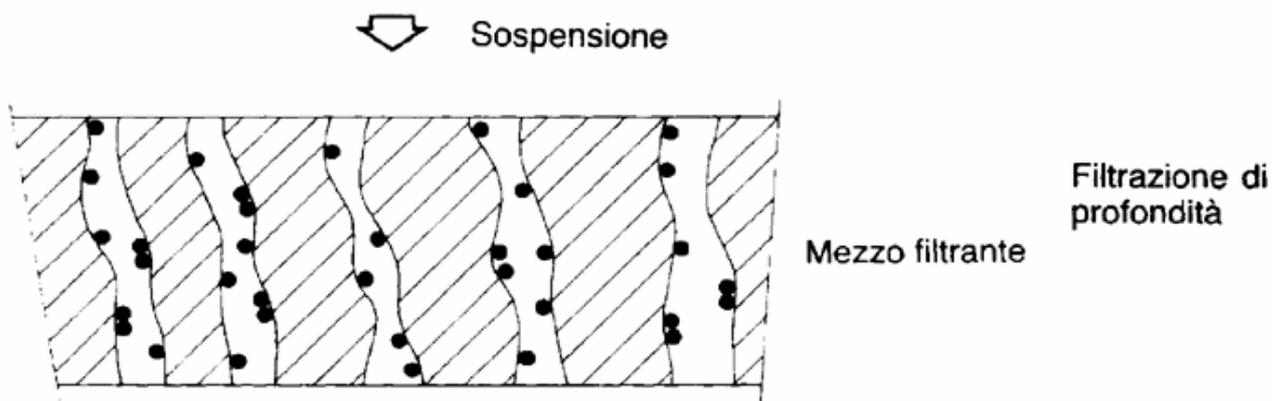
- di superficie;
- di profondità.

Nella filtrazione di superficie (Fig. 2) le particelle solide con dimensione superiore a quella dei pori del mezzo filtrante vengono fermate sulla sua superficie, per semplice setacciamento. Il mezzo filtrante utilizzato può essere sia un telo, con formazione del pannello adatto per la lavorazione di sospensioni torbide con solidi sospesi non troppo fini, sia membrane, per sospensioni relativamente limpide con solidi sospesi fini. Il meccanismo di ritenzione che viene posto in essere si dice “setacciamento”.



*Figura 2 - Schema di funzionamento della filtrazione di superficie.*

Nella filtrazione di profondità (Fig. 3), il setto filtrante è caratterizzato da una porosità costituita da capillari lunghi e tortuosi, più o meno intercomunicanti, dove le particelle vengono trattenute in tutta la profondità del setto, con diversi meccanismi. Diversamente da quanto appena descritto, nella pratica si è notato che in qualche modo un minimo setacciamento avviene anche se non è desiderato; questo poiché l'ingresso dei pori verrebbe rapidamente ostruito, impedendo la ritenzione e portando al colmataggio. Il fenomeno di setacciamento viene contrastato dal fatto che i pori capillari di un filtro di profondità, hanno di norma un diametro maggiore delle particelle da separare. Questa caratteristica presuppone l'attività di meccanismi di ritenzione capaci di trattenere le particelle più piccole. I meccanismi che agiscono sono tre: il primo è detto di "adsorbimento"; il secondo è "l'attrazione elettrostatica" tra le particelle solide da trattenere e il materiale del mezzo filtrante; il terzo è "l'inerzia". L'unione di questi tre meccanismi ci permette di spiegare come le particelle solide portate da forze di inerzia ed in contatto con la parete dei capillari, siano trattenute all'interno del setto filtrante oltre che per semplice sedimentazione interna ai pori, anche per l'azione simultanea di forze chimico-fisiche, come quelle di adsorbimento e di attrazione elettrochimica.



*Figura 3 - Schema di funzionamento della filtrazione di profondità.*

In realtà la distinzione tra i due tipi di filtrazione non è così netta, in quanto anche nella filtrazione di superficie le particelle più piccole possono penetrare all'interno dei pori, simultaneamente nella filtrazione di profondità invece può innescarsi un meccanismo di setacciamento dovuto alla ritenzione di alcune particelle di dimensioni maggiori dei pori e quindi ritenute in superficie. La differenza sostanziale è data dalla superficie attiva di filtrazione per la ritenzione dei solidi, che nella filtrazione di profondità si sviluppa in tutta l'area interna dei capillari, mentre, nella filtrazione per setacciamento, essa è costituita dalla superficie esterna del mezzo filtrante. Quindi

la superficie di contatto con le particelle solide sospese, nei filtri di profondità, è nettamente superiore a quella dei filtri di superficie.

## 2.2. Tecniche di filtrazione

Durante la vinificazione, il prodotto subisce un susseguirsi di processi di filtrazione con granulometria del mezzo filtrante sempre minore, al fine di rendere il prodotto finale limpido. La limpidezza sul prodotto in uscita dal filtro viene valutata misurando la torbidità; tale parametro è un indicatore dell'efficacia del processo di filtrazione messo in atto.

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).

|                    | <b>Brillante</b> | <b>Torbido</b> |
|--------------------|------------------|----------------|
| <b>Vino bianco</b> | < 1,1            | > 4,4          |
| <b>Vino rosato</b> | < 1,4            | >5,8           |
| <b>Vino rosso</b>  | < 2,0            | >8,0           |

*Tabella 1 - Corrispondenza fra la misura della torbidità (NTU) e l'aspetto visivo.*

Per ottenere questi risultati si impiegano diverse tecniche di filtrazione:

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

Attualmente le prime tre tecniche sono complementari fra loro e rappresentano i vari stadi della filtrazione tradizionale. Tali tecniche si differenziano tra loro per:

- Tipo di filtrazione prevalente (superficie o profondità);
- Supporto di filtrazione (piastre, cartucce, candele, dischi);
- Mezzo filtrante.

Questo susseguirsi di processi influisce sia sulle tempistiche che sui costi dell'intero ciclo produttivo, spingendo le aziende vitivinicole a cercare soluzioni di filtrazione in grado di ridurre il numero di operazioni, i tempi di lavoro, l'utilizzo di coadiuvanti e soprattutto i costi di produzione. La soluzione si è avuta con l'introduzione della tecnica del flusso tangenziale, applicato alla filtrazione su membrana; la suddetta evoluzione ha aperto nuove frontiere su tutto il processo di vinificazione.

### **2.2.1. Filtrazione con prepanello ad alluvionaggio continuo**

Tale filtrazione si svolge in due tempi. In un primo momento avviene la formazione del prepanello. A seguito di questa fase, una quantità costante di coadiuvante di filtrazione (farina fossile, perlite o cellulosa) viene immessa in continuo nella condotta di alimentazione del filtro (alluvionaggio continuo).

La realizzazione del prepanello avviene addizionando in un recipiente, fornito di agitatore, una determinata quantità di coadiuvante di filtrazione in acqua oppure mosto o vino già filtrati. La miscela ottenuta è inviata in circuito chiuso sul supporto di filtrazione predisposto all'interno della camera di filtrazione, facendo successivamente ritorno nel precedente recipiente.

Dopo ripetuti passaggi attraverso il supporto di filtrazione, i coadiuvanti in sospensione nella miscela si depositano progressivamente su tale supporto, fino a formare uno strato uniforme, detto per l'appunto "prepanello".

Successivamente alla formazione del prepanello, 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. Il  $\Delta p$  all'inizio della filtrazione si mantiene piuttosto basso e cresce gradualmente col procedere della filtrazione. 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 pressione massima prefissata.

A questo punto la filtrazione è terminata. Si procede per cui con il recupero del prodotto contenuto nel filtro, ed il lavaggio dell'apparecchio (Fig. 4).



*Figura 4 – Filtro con preannello ad alluvionaggio continuo.*

### **2.2.2. Filtrazione 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. In funzione della soglia di ritenzione desiderata, le fibre impiegate sono triturate più o meno finemente prima dell'incorporazione dei composti granulosi.

Il filtro (Fig. 5) è costituito da piastre a lamiera forellata montate su due longheroni. Ad una estremità del pacco di piastre vi è un piastrone fisso collegato con i longheroni. All'altra estremità vi è un piastrone mobile che ha la possibilità di scorrere sui due longheroni. I cartoni utilizzati come strati filtranti vengono interposti tra le piastre e grazie a una vite meccanica il piastrone mobile viene pressato a serrare il pacco (piastre + cartoni) contro quello fisso, intrappolando i cartoni filtranti tra le piastre.

### **2.2.3. Filtrazione tradizionale su membrana**

Nella filtrazione tradizionale su membrana il mezzo filtrante è costituito da una pellicola estremamente sottile, dell'ordine del micron. Caratterizzata da una struttura continua, porosa ed uniforme; realizzata con vari polimeri meccanicamente molto resistenti e con porosità predefinita.

In considerazione del loro sottile spessore, è necessario che la membrana appoggi su una struttura solida macroporosa resistente alle pressioni costituita per lo più da acciaio o materiale plastico. Le membrane ricevono il prodotto da filtrare frontalmente alla superficie, determinandone il relativo rapido intasamento. Proprio per questa motivazione, l'utilizzo dei filtri a membrana, è generalmente preceduto da fasi di pre-filtrazione a prepannello ed alluvionaggio oppure su cartoni, al fine di limitarne il colmataggio. Quest'ultimo infatti incide in maniera decisiva sulla vita delle membrane.

L'uso di tali membrane permette l'eliminazione pressoché completa di lieviti, batteri e dei solidi sospesi, assicurando l'ottenimento di un prodotto perfettamente limpido e sterile (Fig. 6).



*Figura 5 – Filtro a strati filtranti ( a piastre).*



*Figura 6 – Filtro housing con la sua cartuccia (membrana).*

### **2.3. Parametri tecnici che caratterizzano i mezzi filtranti**

I mezzi filtranti impiegati nei diversi processi di filtrazione, messi in atto con tecniche diverse, rispettano determinati parametri tecnici che li caratterizzano:

- Porosità: indica 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 alla deformabilità e comprimibilità di alcune particelle solide, che accumulandosi sulla superficie del mezzo filtrante, formano un deposito comprimibile che diminuisce la permeabilità 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 la quantità oraria di filtrato ( $m^3/s$ ) che passa attraverso l'unità di superficie filtrante ( $m^2$ ), si calcola applicando la legge di Darcy che descrive il moto di un fluido in un mezzo poroso:

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

dove:

Q = portata in volume di filtrato per unità di tempo ( $m^3/s$ );

A = superficie del mezzo filtrante ( $m^2$ );

$\Delta p$  = pressione differenziale (bar);

$\eta$  = viscosità dinamica della sospensione (cP);

l = spessore dello strato filtrante (m).

Da questa equazione possiamo estrapolare che la portata è direttamente proporzionale alla temperatura e inversamente proporzionale alla viscosità; più un liquido è viscoso maggiore sarà la resistenza che esso incontrerà nel passaggio attraverso il mezzo filtrante. Invece, quando la temperatura aumenta, la viscosità si riduce ed aumenta la portata.

L'aumento di temperatura sulla capacità di ritenzione ha un effetto inverso; filtrando a bassa temperatura si ottiene un miglioramento della limpidezza del prodotto filtrato e la riduzione del potere intasante del liquido torbido.

La precedente equazione di Darcy si scrive anche:

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

Dove  $R_t$  è la resistenza totale ( $m^{-1}$ ) del mezzo filtrante equivalente al rapporto ( $l/K$ ) tra lo spessore del mezzo filtrante  $l$  e la relativa permeabilità specifica del mezzo  $K$ .

La resistenza totale  $R_t$  è la somma di due contributi, il primo (resistenza del supporto) dovuto al telo più il prepannello  $R$  ( $m^{-1}$ ), il secondo (resistenza del deposito) dovuto alla feccia più il coadiuvante alluvionato  $R_d$  ( $m^{-1}$ ).

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

Mentre  $R$  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).

Inoltre, la portata è influenzata dalle caratteristiche delle particelle da filtrare, come la quantità, il diametro, e la deformabilità. Nella pratica è facile notare come essa cresca all'aumentare del diametro, come anche al diminuire del potere colmatante delle particelle.

#### **2.4. Coadiuvanti di filtrazione**

I coadiuvanti di filtrazione possono essere definiti come dei materiali ausiliari del processo di filtrazione. 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, quali inerzia chimica, elevata porosità, rigidità, superficie specifica ( $m^2$  su grammi di sostanza) ed essere disponibili in una vasta gamma di granulometrie diverse. Inoltre assume grande importanza nella scelta dei coadiuvanti la capacità di adsorbimento e/o attrazione elettrostatica che attiva l'importante meccanismo di ritenzione, discusso precedentemente nel paragrafo sui tipi di filtrazione.

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

### **2.4.1. Farina fossile**

Le farine fossili sono rocce sedimentarie formate da scheletri di alghe unicellulari, note con il nome di diatomee. I due semigusci che le racchiudono sono a base di acido silicico che dopo la morte dell'alga, e con il passare del tempo (fossilizzazione), si trasformano in silice ( $\text{SiO}_2$ ). A seconda della specie di appartenenza si hanno dimensioni diverse. Il minerale una volta estratto, macinato e purificato, viene diviso in base alle diverse granulometrie. Si distingue per la grandissima porosità (93%), l'enorme superficie specifica che può variare da 2 a 40  $\text{m}^2/\text{g}$ , e bassa densità ( $0,3 \text{ g/cm}^3$ ).

### **2.4.2. Perlite**

La perlite è un materiale amorfo vetroso di origine vulcanica costituito per il 75% da silice ( $\text{SiO}_2$ ), e per il resto da allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e acqua. Prende il nome di perlite, dopo aver subito un riscaldamento (circa  $1000^\circ\text{C}$ ) che causa la sua espansione dovuta all'evaporazione dell'acqua, facendogli assumere una forma porosa e molto leggera. L'espansione la fa aumentare di volume abbassando la densità originaria fino a circa  $0,16 \text{ g/cm}^3$ . Successivamente viene macinata e selezionata in modo da ottenere perliti di diversa granulometria. La sua bassa densità permette minori dosi di impiego e quindi costi più bassi in confronto alla farina fossile.

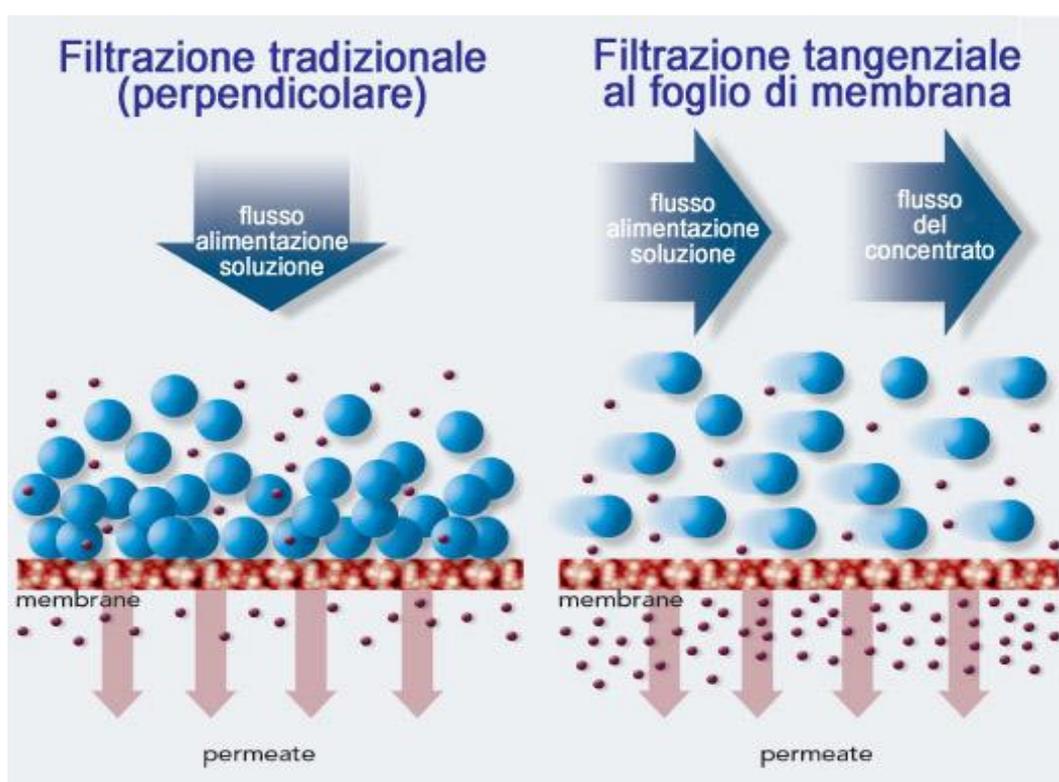
### **2.4.3. Cellulosa**

La cellulosa è un polisaccaride del glucosio, principale componente delle pareti cellulari delle piante. Si presenta sotto forma di fibre lunghe da 50 a 150  $\mu\text{m}$  e spesse da 15 a 20  $\mu\text{m}$ , che dopo una serie di processi di purificazione sono ridotte in polvere con granulometria diversa. Per via della sua struttura fibrosa viene usata in miscela con i coadiuvanti minerali aumentandone la coesione, riducendo lo sgretolamento ed il passaggio nel filtrato.

### 3. Filtrazione tangenziale

La filtrazione tangenziale rappresenta in questo momento la tecnologia di filtrazione più avanzata a disposizione degli enologi, ed in continua evoluzione grazie allo sviluppo di membrane di varia natura organiche ed inorganiche. L'ambizioso traguardo della filtrazione tangenziale è quello di sostituire totalmente la filtrazione tradizionale "frontale" (dead-end) anche nella filtrazione di quei prodotti con un'alta percentuale di solidi sospesi, come ad esempio i fondi di chiarifica per decantazione statica (fecce), fino a questo momento esclusiva della filtrazione frontale.

È fondamentale, descrivere le differenze tra la filtrazione frontale (tradizionale) e la filtrazione tangenziale (Fig. 7).



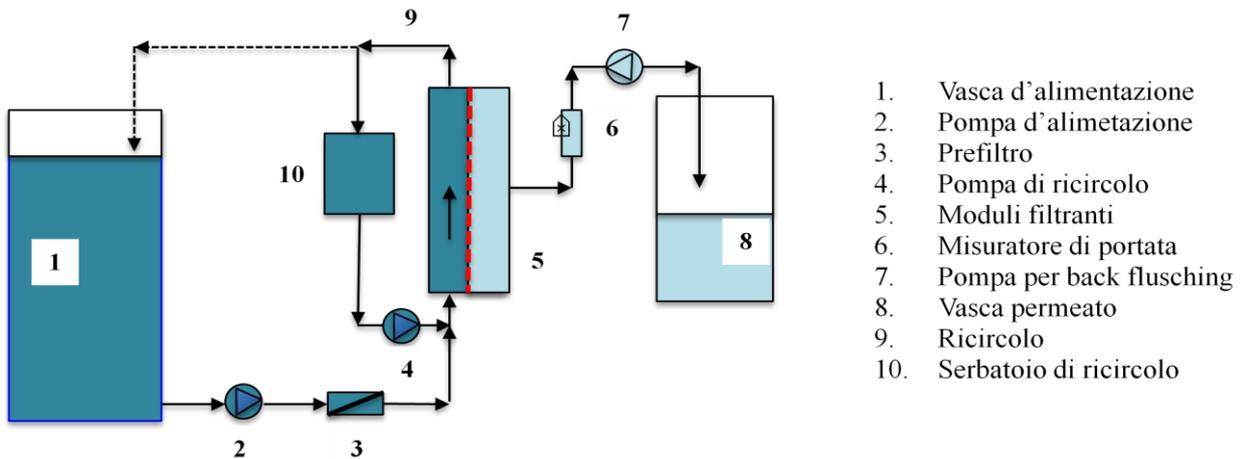
*Figura 7 – Differenza tra filtrazione tradizionale e tangenziale.*

Nella filtrazione frontale il prodotto torbido viene inviato perpendicolarmente alla superficie del mezzo filtrante, il quale lascia passare il prodotto filtrato (chiarificato) trattenendo le particelle sospese (solide). Nel corso dell'operazione di filtrazione le particelle si vanno depositando sul mezzo filtrante, provocando una riduzione della portata fino all'intasamento (colmataggio) del mezzo, 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.

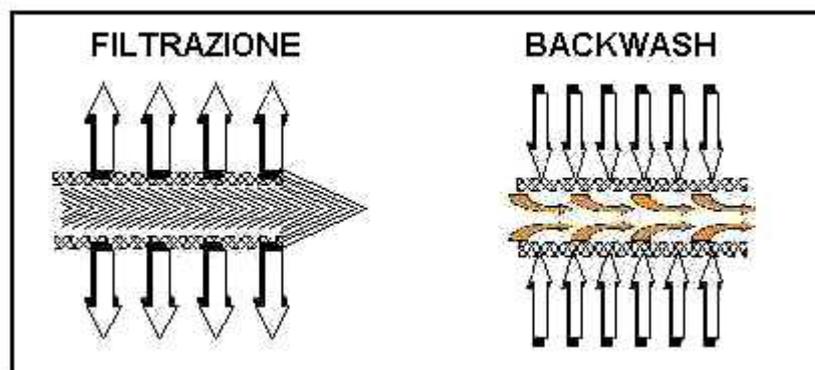
### **3.1. Impianto modello di filtrazione tangenziale**

L'operazione di filtrazione utilizzando un filtro tangenziale (Fig.8), 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 sé 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 suddetto circuito, calibra costantemente la differenza di pressione attraverso le membrane (pressione di transmembrana)  $\Delta p$ , 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 3 m/s, al fine di agevolare l'asportazione del deposito di particelle sulle membrane.



**Figura 8 – Schema funzionale impianto di filtrazione tangenziale.**

Con l'avanzare del ciclo di filtrazione si presenta un deposito di particelle sulla superficie delle membrane, anche se contenuto dalla direzione parallela del flusso tangenziale, che provoca un calo della portata. Un flussometro all'uscita del permeato rileva il calo di portata. Automaticamente si provvede alla rapida pulizia delle membrane senza la necessità di bloccare il ciclo di filtrazione, con un metodo molto semplice chiamato Back-wash (impulso di pressione controcorrente). Questo processo viene realizzato chiudendo per pochi istanti in automatico la valvola sul tubo della pompa di alimentazione insieme alla valvola di scarico del permeato. Vengono quindi inviati impulsi d'aria in pressione dal lato del permeato, innescando un riflusso in grado di staccare le particelle solide accumulate sulla parete della membrana. Tutto ciò rende possibile evacuarle assieme al ritenuto, ristabilendo la portata iniziale (Fig. 9).

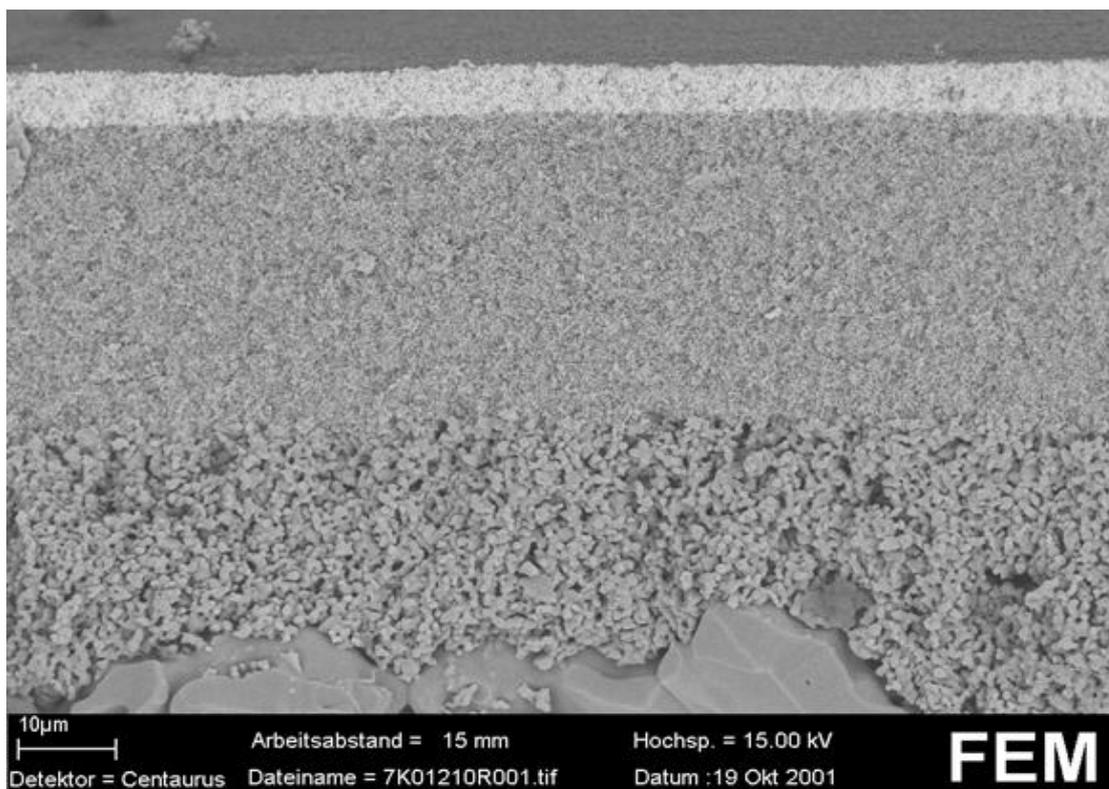


**Figura 9 - Schema di funzionamento del Back-wash.**

Alla fine del trattamento, della partita di prodotto contenuta nel serbatoio di servizio, rimane il ritenuto (concentrato) ricco di solidi sospesi, allontanato automaticamente per permettere il proseguimento del ciclo senza interromperlo.

### 3.2. Le membrane

Le membrane sono i mezzi filtranti utilizzati nei processi di microfiltrazione, ultrafiltrazione, nano filtrazione e osmosi inversa, a seconda delle caratteristiche costruttive, e strutturali. Oggi giorno le membrane più utilizzate hanno struttura anisotropica (asimmetrica), preferite alle tradizionali membrane con struttura isotropica (simmetrica). Le membrane anisotropiche sono caratterizzate da una struttura asimmetrica composta da una sottile pellicola superficiale chiamata skin (pelle) di qualche  $\mu\text{m}$  di spessore, costituita 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 (Fig. 10). Lo strato superficiale è il vero artefice dell'azione filtrante, mentre quello sottostante svolge unicamente azione di supporto e di drenaggio.



*Figura 10 – Ingrandimento che mostra la struttura anisotropica di una membrana in ceramica.*

Tale tipo di struttura è meno soggetta a problemi di colmatazione, dovuti all'ostruzione delle cavità interne; 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), così da poterle dividere in due categorie, ovvero organiche ed inorganiche, 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.

### **3.2.1. 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 (comonomeri), che consentono di ottenere un materiale (copolimero) 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. 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.

### **3.2.2. 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.

### **3.3. Configurazioni geometriche delle membrane**

Sono state proposte e applicate diverse configurazioni geometriche:

- Membrane tubolari: costituite da una membrana cilindrica avvolta in un supporto rigido e macroporoso. Ogni singola unità di sezione trasversale di  $\sim 0,5 - 1$  cm è assemblata in moduli, costituiti da più membrane contenute all'interno di un contenitore tubolare. 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, rendendole per cui appropriate anche alla filtrazione di prodotti con elevata percentuale di solidi sospesi.

- Membrane a fibre cave: sono dei sottilissimi tubicini cavi, realizzati con un processo di estrusione da filiere anulari con sezione trasversale di  $\sim 1 - 2$  mm. Le fibre cave vengono comunemente raccolte in fasci di 200 – 1000 unità 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, e collocate all'interno di un contenitore tubolare. Il principio di funzionamento è uguale a quello delle membrane tubolari, mentre la differenza sta nella maggiore superficie di filtrazione in rapporto al volume del modulo, con l'inconveniente della fragilità dei singoli filamenti.
- Membrane a spirale: sono costituite dalla sovrapposizione di due membrane divise da un foglio spaziatore reticolato con la funzione di creare uno spazio libero tra le due membrane per lo scorrimento del fluido da filtrare. Più unità vengono impacchettate e collegate longitudinalmente al tubo forato di natura polimerica situato nella parte centrale del modulo, e successivamente arrotolate a spirale al tubo collettore utilizzato dal permeato per uscire dal modulo.
- Membrane piane: dette placche filtranti, 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 collocate parallelamente in un contenitore sigillato, a distanze sufficienti l'una dall'altra in modo da permettere la circolazione del prodotto.

### 3.3.1. Confronto tra le diverse configurazioni

Le quattro diverse configurazioni delle membrane appena descritte, ossia membrane tubolari, membrane a fibra cava, membrane a spirale, membrane piane, possono essere confrontate tra di loro sulla base di tre grandezze:

- Ingombro del mezzo filtrante (I): cioè il rapporto tra l'area della membrana (A) espressa in  $m^2$  e il volume (V) da essa occupato espresso in  $m^3$ :

$$I = \frac{A}{V}$$

- Flusso di permeato (J): riferito alle prestazioni della configurazione della membrana rispetto all'area della stessa, definito dal rapporto tra la portata di permeato Q e l'area della membrana A:

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

- Flusso per unità di volume ( $J_v$ ): riferito alle prestazioni rispetto all'ingombro, definito dal prodotto delle prime due grandezze:

$$J_v = J \cdot \frac{A}{V}$$

Confrontando le quattro configurazioni, dopo aver costruito la tabella riportata di seguito, utilizzando valori indicativi per le tre grandezze (Tab.2).

| Configurazione              |                         | Membrane<br>piane | Membrane<br>tubolari | Membrane<br>fibre cave | Membrane<br>a spirale |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| $I = \frac{A}{V}$           | $\frac{m^2}{m^3}$       | 300               | 300                  | 15000                  | 1000                  |
| $J = \frac{Q}{A}$           | $\frac{L}{h \cdot m^2}$ | 500               | 500                  | 50                     | 500                   |
| $J_v = J \cdot \frac{A}{V}$ | $\frac{L}{h \cdot m^3}$ | 150000            | 150000               | 750000                 | 500000                |

**Tabella 2 - Confronto tra diverse configurazioni in moduli membranari.**

Notiamo innanzitutto che in termini di ingombro le migliori membrane sono a fibre cave seguite dalle membrane a spirale. Per quanto riguarda le prestazioni specifiche, le membrane a fibre cave hanno un valore paragonabile alle membrane a spirale. Questo nonostante la loro scarsa prestazione rispetto alle altre configurazioni a riguardo del flusso di permeato. Tale risultato delle membrane a fibre cave si spiega osservando il moto laminare che si instaura nel ritenuto in flusso tangenziale, causato dal ridotto diametro ( $\leq 2\text{mm}$ ) dei sottilissimi tubicini che le compongono. Le configurazioni che risultano meno efficienti sia sul fronte dell'ingombro  $I$  che delle prestazioni specifiche  $J_v$  sono le configurazioni delle membrane tubolari e delle membrane piane.

Tuttavia queste due ultime hanno a loro favore, per via delle loro caratteristiche costruttive, la possibilità di trattare prodotti non solo molto viscosi ma anche molto carichi di particelle in sospensione. Al contrario delle membrane a fibre cave e delle membrane a spirale in cui il rischio di colmataggio è più elevato con prodotti tanto carichi di particelle in sospensione, e con cui si consiglia di trattare prodotti non troppo viscosi. Le membrane a fibre cave e le membrane a spirale

necessitano di prodotti non troppo viscosi con una bassissima percentuale in solidi sospesi. Quanto detto per via della dimensione ristretta dei canali attraversati dal ritenuto in flusso tangenziale, con un aumento del rischio di colmataggio, nel caso di prodotti molto viscosi.

#### **4. Obiettivo della tesi e luogo di svolgimento**

I dati derivanti dall'esperienza pratica discussi di seguito, hanno come obiettivo quello di confrontare la filtrazione tangenziale con la tradizionale filtrazione rotativa sottovuoto. La prima tipologia di filtrazione è stata effettuata con due macchine di ultima generazione, che sono in grado di filtrare prodotti con un'elevata percentuale di solidi sospesi. Invece, la filtrazione tradizionale è stata effettuata con un filtro a tamburo.

I test di filtrazione sono stati realizzati con:

- Il filtro tangenziale "Omnia", prodotto dalla Della Toffola S.p.A. con membrane statiche;
- Il filtro tangenziale "Dynamos", prodotto dalla TMCI Padovan S.p.A. con membrane dinamiche;
- Il filtro a tamburo "Taylo" della TMCI Padovan S.p.A.

Quest'ultimo filtro rappresenta la tecnologia più utilizzata nella lavorazione di prodotti con elevata percentuale di solidi sospesi. In particolare il lavoro si è incentrato sulle analisi fisico-chimiche di campioni grezzi (non trattati), e successivamente, sulla medesima partita all'uscita del processo di filtrazione. Tutto ciò ha permesso di valutare l'impatto di tale processo sulla qualità finale del prodotto. Inoltre, al termine del ciclo di filtrazione, è stato calcolato l'aspetto operativo ed economico scaturito dall'utilizzo di tali filtri.

L'esperienza è stata condotta presso la Cantina Forlì Predappio Società Agricola Cooperativa, nello stabilimento di Malmissole durante la vendemmia 2017 in cui sono stati vinificati in totale 540.000 q d'uva. La società fu costituita nel 1932 come "Cantina Sociale Cooperativa di Forlì". Da allora i quantitativi d'uva lavorata sono sensibilmente aumentati, grazie all'espansione della viticoltura del territorio e all'incremento del numero dei soci, nonché alla fusione con altre cooperative della zona. La struttura ricettiva è conseguentemente stata oggetto di ammodernamenti e ampliamenti che hanno portato alla realtà odierna, in grado di lavorare anche 30.000 q d'uva al giorno conferiti dai più di 2.800 viticoltori provenienti da vigneti ubicati nelle colline e pianure forlivesi.

Nonostante la dimensione dell'azienda, è molto forte l'impegno per la selezione delle uve e dei vini, grazie ad una organizzazione impiantistica avanzata e allo scrupoloso lavoro del personale tecnico e di cantina.

#### 4.1. Filtro a tamburo “Taylo”

Il filtro a tamburo Taylo utilizzato durante la prova, ha una superficie filtrante di 40 m<sup>2</sup>. Questo ha la possibilità di lavorare in parallelo collegando una o più macchine alla sua tubazione di ingresso, per aumentare la portata del filtrato.

La tecnologia di filtrazione rotativa sottovuoto consiste nel far passare il prodotto torbido attraverso uno strato di farina fossile o perlite che formano la superficie filtrante (pannello); rinnovata continuamente mediante parziale asportazione tramite una lama raschiante, durante la rotazione del filtro (Fig. 11).



*Figura 11 - Filtro a tamburo Taylo (TMCI Padovan S.p.A.).*

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, in modo

da rigenerare la superficie filtrante. Il passaggio del liquido da filtrare attraverso la superficie filtrante è generato applicando una depressione ( $0,2 \div 0,8$  bar assoluti) dal lato del filtrato.

L'impianto (Fig. 13) è composto da un profilato di acciaio poggiante al pavimento sul quale vengono assemblati i vari componenti del filtro. Vi è innanzitutto una vasca in acciaio di adeguata capacità; all'interno di questa vi sono apposite sonde di livello che comandano una pompa esterna all'impianto (nel nostro caso a pistonni). Quest'ultima è utilizzata per l'immissione ad intervalli regolari del prodotto da filtrare. Onde evitare depositi sul fondo della vasca, essa è dotata di un sistema idrodinamico di agitazione tramite agitatore basculante, utile sia durante la preparazione del pannello che durante la filtrazione. Al suo interno troviamo un tamburo cilindrico in acciaio che ruota lentamente, chiuso alle due estremità con dei fondi. All'interno di tale tamburo abbiamo un albero di rotazione cavo, che fa anche da collettore del filtrato tramite dei tubi disposti a raggiera. Queste raggiera possono essere presenti in numero variabile a seconda della lunghezza del cilindro. La lamiera che ricopre il tamburo cilindrico presenta dei fori all'altezza del collegamento con i tubi delle raggiera. Sul tamburo sono disposti degli anelli di irrigidimento alti circa 10 mm, sui quali poggia una rete finissima in acciaio utilizzata come supporto per il pannello. Lo spazio creatosi tra la rete e il tamburo è la camera di raccolta del filtrato, la quale è collegata dalle raggiera al collettore centrale, che a sua volta è collegato ad un serbatoio in acciaio mantenuto sottovuoto, dove affluisce il prodotto filtrato, e che è dotato di una portella e oblò d'ispezione, un dispositivo rompi schiuma, ed un manometro. All'interno di questo serbatoio avviene la separazione tra l'aria entrata attraverso il pannello quando esso risulta emerso dalla vasca, ed il filtrato. L'innescò della depressione all'interno del cilindro, che determina il passaggio del prodotto torbido attraverso lo strato filtrante e la successiva separazione tra aria e filtrato, avviene grazie all'azione di due pompe per vuoto ad anello liquido, controllate da un regolatore elettronico per il mantenimento del livello di vuoto desiderato. Con questo sistema il filtrato si deposita sulla parte inferiore, mentre l'aria viene aspirata nella parte superiore. Il livello all'interno del serbatoio è mantenuto costante da un galleggiante; quest'ultimo attiva o disattiva una pompa centrifuga di estrazione. La pompa di estrazione è posizionata in modo da prelevare il filtrato sottobattente in posizione distante dal "pelo libero" dell'aria. Conclude l'impianto un serbatoio di sospensione del coadiuvante di filtrazione per la preparazione del pannello, completo di agitatore e pompa di alimentazione collegata alla vasca. Il pannello creato sul supporto del filtro (rete metallica del tamburo), si costruisce prima dell'inizio di un singolo ciclo di filtrazione ed ha uno spessore di circa 10 – 12 cm, formato utilizzando perlite e in piccola percentuale cellulosa (circa 1,5%). La cellulosa viene aggiunta nella fase iniziale di preparazione del pannello poiché grazie alle sue caratteristiche favorisce l'ancoraggio alla rete di supporto (Fig. 12).

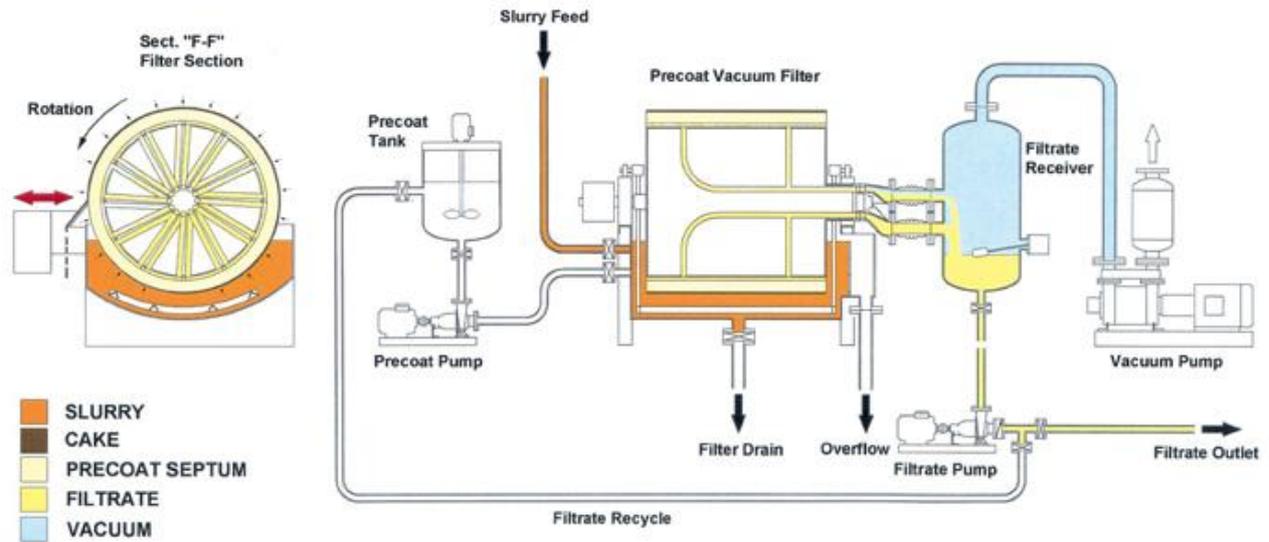


***Figura 12 - A sinistra: particolare della rete in acciaio che riveste il tamburo con azione di supporto per il pannello. A destra: tamburo durante la preparazione del pannello.***

La durata del pannello e quindi del ciclo di filtrazione, dipende dalla velocità di avanzamento automatico della lama raschiante, posizionata sul bordo della vasca ad una distanza dal tamburo rotante regolabile con precisione micrometrica. In tal modo si può procedere, con precisione, ad asportare non solo il deposito ma anche una piccola porzione di pannello, quella sottoposta alla filtrazione di profondità ricca di particelle solide penetrate al suo interno. Un nastro trasportatore provvede ad allontanare la frazione di superficie filtrante asportata. L'avanzamento della lama si attesta sui 1 - 1,2 cm/h, pari a circa 8 ore di lavoro.

La filtrazione può avvenire fino ad uno spessore minimo del pannello di circa di 1 cm e quindi, prima di riformare un nuovo pannello, occorre provvedere al distacco del pannello residuo e al lavaggio. Quanto detto viene effettuato inviando più getti d'acqua contro il tamburo tramite spruzzatori installati su un collettore dal lato opposto della lama. Un gruppo comando permette all'operatore di interagire con i vari componenti del filtro (in modo analogico). In questo tipo di filtro è richiesto il controllo costante da parte dell'operatore durante tutto il ciclo di filtrazione, dall'accensione o spegnimento delle pompe installate, alla variazione della velocità del tamburo rotante, alla regolazione dell'avanzamento automatico della lama.

## PRE-COAT ROTARY VACUUM FILTER UNIT FILTRATION



*Figura 13 - Schema funzionale impianto di filtrazione rotativa sottovuoto.*

### DATI TECNICI FILTRO TAYLO

Superficie filtrante: 40 m<sup>2</sup>

Mezzo filtrante: pannello formato da perlite e cellulosa

Potenza totale installata: 74 kW

Dimensioni (m) A/B/C: 10,4 x 4,0 x 2,6

### 4.2. Filtro Tangenziale “Omnia”

Il filtro tangenziale “Omnia” (Fig.14) è equipaggiato con 2 moduli di 68 m<sup>2</sup> ciascuno, operanti individualmente o in coppia per un totale di 118 m<sup>2</sup> di superficie filtrante. Essa è formata da membrane minerali in ceramica, di forma tubolare multicanale con diametro di 25 mm, lunghezza di 1178 mm e porosità di 0,2 µ. 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 14 - Filtro tangenziale Omnia (Della Toffola S.p.A.).*

Tutte le funzioni impiantistiche sono gestite dall'unità di governo costituita da PLC, alloggiato in prossimità del quadro elettrico e comunicante con l'operatore tramite un pannello touch screen, 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, tranne che per alcuni accorgimenti e soluzioni impiantistiche adatte alla filtrazione di prodotti con alta percentuale di solidi sospesi. 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. Nel caso di filtrazioni di prodotti con elevata percentuale di solidi sospesi, può essere montata in serie alla precedente una pompa volumetrica a lobi con sensore di pressione in uscita; quest'ultimo sensore è utilissimo poiché permette l'avvio della pompa soltanto dopo l'azionamento della pompa di alimentazione del serbatoio polmone. Dal serbatoio 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 ( $\Delta p$ ) esistente fra l'interno e l'esterno delle membrane, ed è regolata dalla pompa di pressurizzazione. Il permeato prodotto si raccoglie in due particolari serbatoi cilindrici in acciaio posti nella parte posteriore del modulo e convogliato dalla stessa forza direttrice del processo ( $\Delta p$ ) 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 sino alla percentuale desiderata impostata dall'operatore. 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.



*Figura 15 - A sinistra: modulo filtrante filtro Omnia; A destra: particolare delle membrane tubolari multicanale.*

Alla fine di ogni ciclo di filtrazione, l'operatore può avviare manualmente o automaticamente il ciclo di lavaggio che meglio si adatta allo stato di intasamento del filtro. Il lavaggio interessa tutti i componenti, dal serbatoio di servizio, lo sgrigliatore, ed infine anche il modulo filtrante. La scelta del ciclo di lavaggio avviene tra uno dei seguenti tipi:

- Lavaggio freddo, eseguito con acqua a temperatura di circa 15° C. Il lavaggio con acqua fredda serve solamente per un semplice risciacquo del filtro.
- Lavaggio caldo, suddiviso in tre fasi in modo da evitare sbalzi termici dannosi per le membrane in ceramica.
  - *FASE 1* lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15° C serve come risciacquo del filtro.

- *FASE 2* lavaggio con acqua calda ad una temperatura di circa 70° C per una pulizia più efficace.
  - *FASE 3* lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15° C per un risciacquo preliminare e raffreddamento delle membrane.
- 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, in modo anche in questo caso di evitare sbalzi termici dannosi per le membrane in ceramica, e risciacquare l'impianto.
- *FASE 1* lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15° C serve come risciacquo del filtro.
  - *FASE 2* lavaggio con soluzione caustica (soda caustica) con concentrazione compresa tra il 2% e il 4% ad una temperatura di circa 70° C.
  - *FASE 3* lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15° C serve per un risciacquo preliminare dei residui basici.
  - *FASE 4* lavaggio con soluzione acida (acido fosforico) con concentrazione minima dello 0,5% e massima del 3% ad una temperatura di circa 15° C.
  - *FASE 5* lavaggio con acqua fredda ad una temperatura di circa 15° C serve per un risciacquo preliminare dei residui corrosivi.
  - *FASE 6* 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.

La durata dei cicli di lavaggio e le dosi di detergenti variano a seconda del prodotto lavorato e del suo potere intasante.

Il processo di filtrazione è totalmente automatizzato, eccetto per il fatto che l'impianto viene manualmente riaccolto alla vasca di prodotto da filtrare, alla vasca di raccolta del permeato, ed infine ad una vasca per la raccolta del concentrato.

#### Dati tecnici filtro Omnia:

Superficie filtrante: 118 m<sup>2</sup>

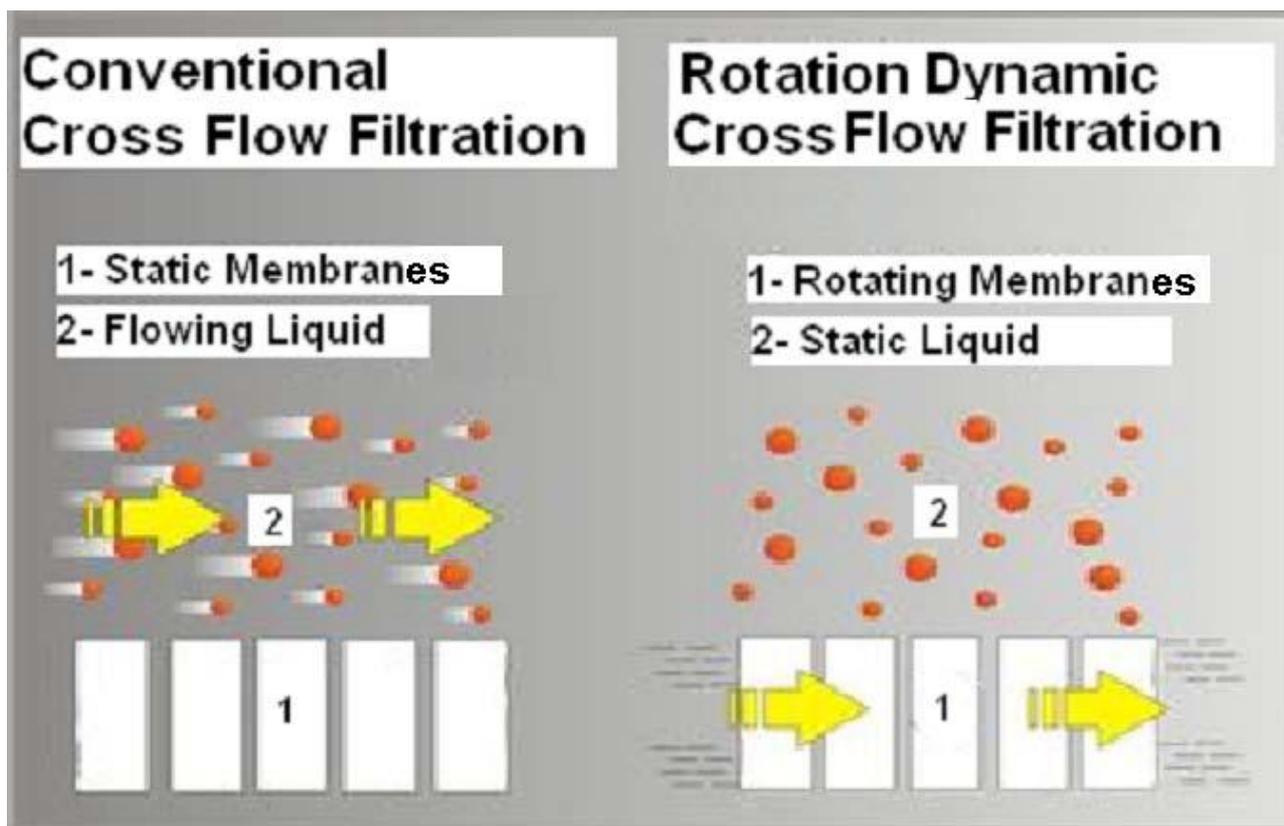
Mezzo filtrante: membrane minerali in ceramica, di forma tubolare multicanale

Potenza totale installata: 31,9 kW

Dimensioni (m) A/B/C: 4,30 x 2,30 x 3,30

### 4.3. Filtro tangenziale dinamico rotativo “Dynamos”

Il filtro tangenziale “Dynamos” sfrutta il principio della filtrazione tangenziale a membrana dinamica, che ha in comune con la filtrazione tangenziale tradizionale il fatto di realizzare la separazione utilizzando, come mezzo filtrante, una membrana e di avere come forza direttrice una differenza di pressione ( $\Delta p$ ). Il principio della filtrazione tangenziale a membrana dinamica a differenza del sistema tradizionale, dove il flusso tangente alla superficie filtrante è dato dal liquido da filtrare, nel nuovo sistema è l'elemento filtrante che è dinamico (creando l'effetto tangente) mentre il flusso è alimentato con una bassa velocità (Fig. 16).



*Figura 16 – Differenza tra filtrazione tangenziale tradizionale e filtrazione tangenziale a membrana dinamica.*

Le membrane del filtro “Dynamos” sono dei dischi ceramici (materiali utilizzati per la loro costruzione non comunicati dall'azienda costruttrice) con diametro di 312 mm, spessore 6 mm e porosità 0,1  $\mu$ . Le membrane sono montate su quattro alberi cavi rotanti. Questi ultimi sono disposti dentro una camera di filtrazione (campana) cilindrica orizzontale, con una estremità chiusa e l'altra estremità aperta. Questa seconda estremità è serrata tramite tiranti di bloccaggio ad

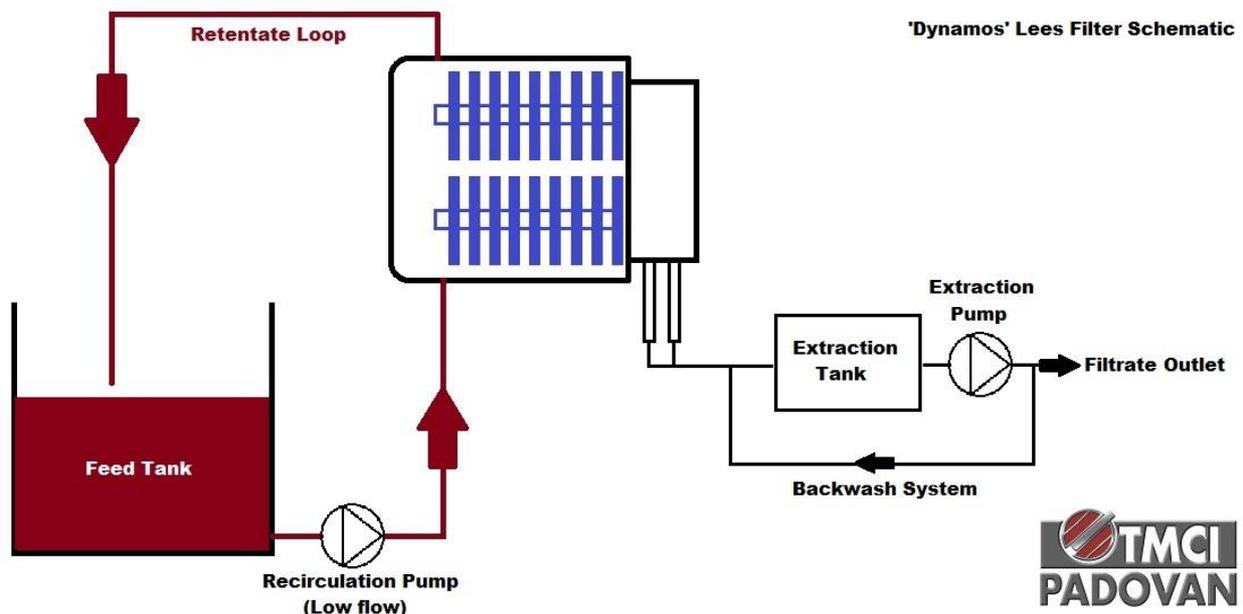
un piastrone di supporto. Il modello utilizzato (Fig. 17) è equipaggiato con 4 camere di filtrazione che operano in sincrono, ciascuna delle quali ha una superficie filtrante di 20 m<sup>2</sup>, per un totale di 80 m<sup>2</sup>.



*Figura 17 – Filtro tangenziale Dynamos (TMCI Padovan S.p.A.).*

La varie fasi del processo di filtrazione, come descritto anche per il filtro “Omnia”, sono gestite tramite PLC con interfaccia utente-grafica, riducendo al minimo l’intervento dell’operatore. Per la conduzione del processo, l’impianto è composto da diversi elementi assemblati su un apposito telaio in acciaio. Non sono previsti nell’impianto un serbatoio di servizio e lo sgrigliatore (prefiltro), che devono quindi essere collegati dall’operatore prima di ogni utilizzo (al contrario del filtro “Omnia”, che prevede sia il serbatoio di servizio che lo sgrigliatore). Per cui l’operatore provvede anche al riempimento manuale di tale serbatoio di servizio tramite una pompa a pistoni. L’operatore, inoltre, deve provvedere al successivo svuotamento del concentrato rimasto all’interno del serbatoio, al termine del ciclo di filtrazione dell’aliquota di prodotto caricata in precedenza. Il prodotto da filtrare è prelevato dalla pompa di alimentazione e ricircolo di tipo volumetrica a vite eccentrica, e inviato nelle due campane. La pompa di alimentazione è comandata da inverter ed assicura una portata di filtrazione costante, con una differenza di

pressione ( $\Delta p$ ) che oscilla tra 1,4 ed 1,6 bar, impostata come massima onde evitare rotture. Una parte del prodotto permea la parete delle membrane chiarificandosi (permeato), ed attraverso i piccoli canali interni al disco, defluisce all'interno dei rotori tramite dei fori coincidenti nel punto di aggancio del disco. I rotori funzionano da collettori del permeato, e tramite essi il permeato è inviato ad un piccolo serbatoio di accumulo del filtrato, e successivamente tramite una pompa centrifuga viene inviato in vasca. Parte del prodotto rimanente (retentato) viene rinviato al serbatoio di servizio, è rimesso in ricircolo di continuo fino al raggiungimento della percentuale massima di concentrazione (Fig. 18).



*Figura 18 – Schema funzionale impianto filtro Dynamos.*

La portata di “ricircolo retentato” deve essere continuamente aggiustata mediante la valvola posta all'ingresso di ogni singola campana in modo da mantenere all'interno di esse una pressione di 1,0-1,2 bar.

Il filtro realizza periodicamente un lavaggio in controcorrente (Back-Wash). Questo viene effettuato ad intervalli di tempo impostati dal costruttore, che variano in base alla viscosità del prodotto lavorato. Il Back-Wash si applica sfruttando l'azione meccanica esercitata dal prodotto filtrato. Esso è inviato in controcorrente sui vari gruppi filtranti tramite la pompa di uscita prodotto filtrato.

La rotazione dei dischi ceramici (250-300 giri/min), montati su 4 singoli rotori per campana e azionati da motori indipendenti, limita il deposito di materiale colmatante sulla superficie delle

membrane, ed inoltre le turbolenze particolarmente elevate nelle aree di sovrapposizione dei dischi, minimizzano la formazione del deposito. In aggiunta la forza centrifuga creata dalla rotazione dei dischi, agisce sul materiale incrostato rimuovendolo in continuo verso l'esterno.



*Figura 19 – A sinistra: camera di filtrazione (campana) filtro Dynamos; A destra: dischi ceramici (membrane).*

Raggiunta la percentuale massima di concentrazione all'interno del serbatoio di servizio, il ciclo di filtrazione termina ed il filtro in automatico svuota le campane e i vari circuiti.

Alla fine del ciclo l'operatore, come visto per il filtro "Omnia", può avviare manualmente o automaticamente il ciclo di lavaggio che meglio si adatta allo stato di intasamento del filtro.

La scelta avviene tra uno dei seguenti programmi utilizzando esclusivamente acqua fredda a circa 15°C :

- Risciacquo, lavaggio con acqua fredda eseguito soltanto all'interno del circuito del torbido. Tale tipo di lavaggio, serve a ripulire grossolanamente l'interno delle campane e la superficie esterna delle membrane. Di norma viene impostato in modo da essere effettuato automaticamente dal filtro durante il ciclo di filtrazione.
- Risciacquo completo, lavaggio con acqua fredda, eseguito su tutto l'impianto. Anch'esso può essere impostato per essere effettuato automaticamente dal filtro durante il ciclo di filtrazione.

- Lavaggio chimico, suddiviso in varie fasi ed eseguito con soluzioni basiche, acide e neutralizzanti.
  - *Fase 1* risciacquo semplice, effettuato come primo lavaggio sul circuito del torbido.
  - *Fase 2* risciacquo completo.
  - *Fase 3* lavaggio con soluzione caustica (soda caustica) con concentrazione allo 0,5%.
  - *Fase 4* risciacquo completo.
  - *Fase 5* lavaggio con soluzione acida (acido fosforico) con concentrazione del 1%.
  - *Fase 6* risciacquo completo. Lavaggio finale.
  
- Lavaggio statico, questo programma viene avviato in caso di lunghi periodi di inutilizzo del filtro; poiché per mantenere la permeabilità al massimo valore, le membrane devono essere mantenute umide.
  - *Fase 1* lavaggio chimico.
  - *Fase 2* riempimento campane con soluzione di perossido d'idrogeno allo 0,25% e mantenimento delle membrane immerse in tale soluzione.

La frequenza dei risciacqui/lavaggi è una conseguenza delle caratteristiche del prodotto da filtrare e della modalità di filtrazione.

#### Dati tecnici filtro Dynamos:

Superficie filtrante: 80 m<sup>2</sup>

Mezzo filtrante: dischi ceramici

Potenza totale installata: 51 kW

Dimensioni (m) A/B/C: 6,30 x 2,30 x 3,30

## 5. Descrizione prodotti e metodi

Per valutare e confrontare i potenziali delle due nuove tecnologie di filtrazione tangenziale (Filtro tangenziale “Omnia” e filtro tangenziale dinamico “Dynamos”) con la tradizionale filtrazione rotativa sottovuoto (filtro a tamburo “Taylo”), sono state effettuate delle prove utilizzando due prodotti con elevata percentuale di solidi solubili:

1 – Mosto termomacerato dopo sgrondatura;

2 – Fondi di chiarifica per decantazione statica (fecce) provenienti da vino rosso.

I campioni dei prodotti, tal quali e dopo aver subito il processo di filtrazione, sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisiche (presso il laboratorio interno della Cantina Forlì Predappio) per valutare l’impatto di tale processo sui principali parametri presi in esame. In particolare sono stati presi in considerazione:

- Titolo alcolometrico volumico potenziale, per quanto riguarda il mosto termomacerato;
- Titolo alcolometrico volumico totale, per quanto riguarda le fecce;
- pH;
- Acidità totale;
- Acidità volatile;
- SO<sub>2</sub> totale;
- SO<sub>2</sub> libera;
- Polifenoli totali;
- Intensità colorante e Tonalità;
- Indice di torbidità;
- Solidi sospesi ritenuto.

Successivamente il confronto è stato affrontato da un punto di vista operativo ed economico. A tal fine sono stati rilevati la produttività e gli impieghi delle macchine nell’annata 2017 e sono stati definiti gli elementi economici validi per la situazione di lavoro della Cantina Forlì Predappio. Il calcolo del costo di esercizio è stato ricavato secondo la metodologia proposta dall’American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2011).

### 5.1. Processo di termomacerazione

Il processo di termomacerazione si colloca dopo la pigiadiraspatura, effettuato con l’ausilio del termomaceratore Biothermo Cooler della Della Toffola S.p.A. Il riscaldamento del pigiato

favorisce la diffusione dei composti fenolici delle bucce, oltre a favorire la distruzione delle ossidasi e la protezione contro le ossidazioni; questo vantaggio è il più importante nel caso di uve ammuffite contenenti laccasi la cui attività ossidante è molto pronunciata.

Il risultato di tale tecnica dipende da due parametri fondamentali: temperatura di riscaldamento ed il tempo di macerazione. Dal punto di vista del funzionamento, il procedimento consiste nel riscaldamento del pigiato mediante la sua immersione diretta e di breve durata, dentro a del mosto riscaldato a 80 – 90° C circa. Si ottiene così un effetto di riscaldamento a fase immersa molto rapida su tutta la superficie dell'acino. In questa fase si ottiene la rottura delle cellule della buccia causata dall'effetto termico, rilasciando nel mosto molte delle sostanze che la compongono. Successivamente il pigiato tramite una pompa monovite è convogliato in un serbatoio a fondo conico detto “camera di espansione” mantenuto ad una pressione di 20 – 50 hPa, grazie ad una pompa per il vuoto accoppiata ad un condensatore. Si ottiene così la rapida riduzione della temperatura del pigiato a circa 30°C, per evaporazione sotto vuoto. Con questo trattamento, oltre a ridurre la temperatura del pigiato, si ottiene anche un effetto lacerativo della parete delle cellule dell'acino sulle quali si formano dei canali, che favoriscono durante la fase liquida, una ottimale diffusione delle sostanze contenute. Il mosto e le bucce dopo tale trattamento cadono sul fondo conico del serbatoio e vengono inviate alla fase di sgrondatura e successiva filtrazione.

## **5.2. Fondi di chiarifica per decantazione statica**

I fondi di chiarifica per decantazione statica, comunemente denominati “Feccia” sono il sedimento più o meno abbondante, depositato dai mosti e dai vini giovani nelle botti o nei serbatoi. La feccia altro non è che il risultato della decantazione statica del vino o del mosto. In pratica le fecce sono costituite dalle parti solide degli acini, da cellule e spore microbiche, oltre che da cristalli di tartrati e da sostanze utilizzate come chiarificanti (es. bentonite). Le fecce dopo essere state allontanate dal vino, durante i travasi, vengono accumulate in serbatoi di stoccaggio per essere successivamente filtrate, in modo da poterne estrarre la frazione liquida.

## 6. Discussione dei risultati

### 6.1. Valutazioni analitiche

Le analisi chimico-fisiche sono servite a verificare l'incidenza della filtrazione con le tre diverse macchine 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.

| <b>Mosto Termomacerato 2017</b>                 |               | <b>Mosto in ingresso</b> | <b>Taylo</b> | <b>Omnia</b> | <b>Dynamos</b> |
|---|---------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|
| <b>Titolo alcolometrico volumico potenziale</b> | <b>% vol.</b> | 12,71                    | 12,46        | 12,65        | 12,63          |
| <b>pH</b>                                       |               | 3,41                     | 3,44         | 3,43         | 3,42           |
| <b>Acidità volatile</b>                         | <b>g/L</b>    | 0,05                     | 0,05         | 0,04         | 0,05           |
| <b>Acidità totale</b>                           | <b>g/L</b>    | 6,31                     | 6,12         | 6,15         | 6,21           |
| <b>SO<sub>2</sub> libera</b>                    | <b>mg/L</b>   | 11                       | 4            | 7            | 6              |
| <b>SO<sub>2</sub> totale</b>                    | <b>mg/L</b>   | 51                       | 42           | 45           | 47             |
| <b>Polifenoli totali</b>                        | <b>mg/L</b>   | 1830                     | 1720         | 1810         | 1785           |
| <b>Intensità colorante</b>                      |               | 12,85                    | 12,21        | 12,88        | 12,64          |
| <b>Tonalità</b>                                 |               | 0,56                     | 0,58         | 0,57         | 0,56           |
| <b>Indice di torbidità</b>                      | <b>NTU</b>    | 4320                     | 215          | 0,95         | 1,23           |
| <b>Solidi sospesi ritenuto</b>                  | <b>% v/v</b>  |                          | 92           | 81           | 78             |

*Tabella 3 – Analisi Mosto Termomacerato.*

| <b>Feccia Rossa 2017</b>                    |               | <b>Feccia Tq</b> | <b>Taylo</b> | <b>Omnia</b> | <b>Dynamos</b> |
|---|---------------|------------------|--------------|--------------|----------------|
| <b>Titolo alcolometrico volumico totale</b> | <b>% vol.</b> | 12,58            | 12,05        | 12,32        | 12,33          |
| <b>pH</b>                                   |               | 3,47             | 3,47         | 3,48         | 3,45           |
| <b>Acidità volatile</b>                     | <b>g/L</b>    | 0,4              | 0,42         | 0,41         | 0,4            |
| <b>Acidità totale</b>                       | <b>g/L</b>    | 6,03             | 5,87         | 5,85         | 5,86           |
| <b>SO<sub>2</sub> libera</b>                | <b>mg/L</b>   | 29               | 21           | 26           | 24             |
| <b>SO<sub>2</sub> totale</b>                | <b>mg/L</b>   | 95               | 95           | 96           | 96             |
| <b>Polifenoli totali</b>                    | <b>mg/L</b>   | 1585             | 1420         | 1520         | 1523           |
| <b>Intensità colorante</b>                  |               | 7,52             | 6,85         | 7,21         | 7,12           |
| <b>Tonalità</b>                             |               | 0,53             | 0,53         | 0,52         | 0,53           |
| <b>Indice di torbidità</b>                  | <b>NTU</b>    | 16580            | 126          | 1,12         | 1,28           |
| <b>Solidi sospesi ritenuto</b>              | <b>% v/v</b>  |                  | 93           | 83           | 81             |

**Tabella 4 – Analisi Feccia Rossa.**

I risultati ottenuti hanno evidenziato che i filtri tangenziali di nuova generazione (Omnia e Dynamos) hanno in generale un ottimo comportamento sulle caratteristiche compositive dei prodotti. Il filtro Taylo, pur dimostrando una buona capacità e qualità di filtrazione, ha evidenziato alcune differenze su importanti parametri considerati.

Si evince un'influenza significativa della filtrazione tangenziale sulla diminuzione della torbidità in entrambi i prodotti. Nel caso del mosto termomacerato (indice di torbidità in ingresso 4320 NTU), le risultanze più interessanti, in termini di limpidezza, sono a iscriversi ai filtri tangenziali, con risultati inferiori a 1,5 NTU (fino a 0,95 NTU per il filtro Omnia).

Nel caso della filtrazione della feccia rossa, emerge come i due filtri tangenziali riescano ad ottenere un abbassamento medio dell'indice di torbidità di oltre il 99% da un prodotto in ingresso di 16580 NTU. Anche in questo caso a parità di risultanze qualitative, il filtro che restituisce migliori risultati, in termini di limpidezza, è il filtro Omnia, arrivando a 1,12 NTU. Dai dati si può desumere che in termini di torbidità indipendentemente dai prodotti filtrati, il filtro Taylo è di gran lunga meno performante rispetto ai nuovi filtri tangenziali. Infatti, le risultanze in uscita del filtro Taylo sono di 215 NTU per il mosto termomacerato, e di 126 NTU per la feccia. Il filtro Taylo, non consentendo di ottenere basse torbidità, risulta non competitivo, con un deprezzamento medio dei prodotti sul mercato che si attesta al 20%, rispetto ai prodotti ottenuti dai filtri tangenziali.

La variazione del titolo alcolometrico volumico, nei parametri di “potenziale per il mosto”, e “totale per la feccia”, è per tutti e tre i filtri contenuta. Notiamo dai risultati una minima flessione non significativa soprattutto per i filtri tangenziali, in media di 0,07 punti percentuali nel mosto, e di 0,255 punti percentuali nella feccia. Per quanto riguarda invece il filtro Taylo, i valori diminuiscono dagli 0,25 punti percentuali nel mosto, agli 0,53 punti percentuali nella feccia. Questo potrebbe indicare un possibile annacquamento dei prodotti, poiché essendo delle soluzioni tampone, una diminuzione del titolo alcolometrico corrisponde ad una forte diluizione. Teoria avallata dalla pratica, dove si può notare un annacquamento del prodotto da filtrare, durante l’inizio del ciclo di filtrazione subito dopo la formazione del pannello.

A proposito di pH non si rileva alcuna significativa variazione dei valori a seguito del processo di filtrazione; quanto detto vale su entrambi i prodotti, e per le tre diverse macchine.

Anche nel caso dell’acidità totale e volatile, si evidenzia solo una minima variazione non significativa dei valori di partenza.

Per quanto concerne il diossido di zolfo, le analisi effettuate su entrambi i prodotti hanno preso in considerazione i valori di SO<sub>2</sub> totale e SO<sub>2</sub> libera. Le risultanze ottenute dimostrano che per la SO<sub>2</sub> libera, cioè quella che più interessa nel nostro caso, si è riscontrata una leggera flessione dei valori tra l’ingresso e l’uscita. Approfondendo le differenze tra le tre macchine, anche in questo caso il filtro Taylo è stato il peggiore in termini di mantenimento dei valori iniziali, con un calo medio di 7,5 mg/L. Per i prodotti filtrati tangenzialmente, si riscontra un calo medio di 4 mg/L. La diminuzione di SO<sub>2</sub> libera più marcata osservata per il filtro Taylo, è dovuta all’ossidazione spinta del diossido di zolfo, la cui responsabilità è attribuita all’ossigenazione dei prodotti durante il processo di filtrazione. Come sappiamo, i filtri tangenziali funzionano secondo un sistema di ricircolo chiuso, mentre il filtro a tamburo funziona applicando una depressione dal lato del filtrato. Per cui in quest’ultimo caso si verrà a creare una maggiore aereazione, e di conseguenza, una maggiore diminuzione della SO<sub>2</sub> libera. Tali valori, seppur diminuendo, restano comunque all’interno di un range accettabile.

In relazione al calo dei polifenoli totali riscontrato nelle prove, si può dire che tutti i metodi di filtrazione hanno un’incidenza sui composti polifenolici. I risultati delle analisi sui polifenoli totali mostrano una certa differenza tra le tecniche tangenziali e la filtrazione rotativa sottovuoto. I prodotti filtrati con i due filtri tangenziali (Omnia, Dynamos) sembrano essere i meno colpiti, registrando lievi variazioni dei polifenoli totali tra i risultati di ciascuna filtrazione. Discorso differente per quanto riguarda il filtro Taylo, dove si è avuto un calo medio in entrambi i prodotti di circa 100 mg/L (Mosto: ing. 1830, usc. 1720 mg/L; Feccia: ing. 1585, usc. 1420 mg/L). La maggior perdita di polifenoli totali nella filtrazione con il filtro Taylo è attribuibile oltre che

all'ossidazione di tali composti, dovuta al principio di funzionamento di tale filtro, anche e soprattutto alla permeabilità dei coadiuvanti utilizzati, attraverso l'adsorbimento e ritenzione dei composti negli additivi esogeni (Serrano, 1994). Le lievi variazioni riscontrate invece sui valori in uscita dai filtri tangenziali, dimostrano l'efficienza e la specificità dei nuovi materiali adottati per la costruzione delle membrane. È stato infatti dimostrato, che i polifenoli totali, insieme ai polisaccaridi, sono i principali responsabili delle incrostazioni (deposito) sulle membrane (Ghanem, 2017). Tutto ciò causa la ritenzione dei composti polifenolici. Questi nuovi materiali hanno portato alla selezione di membrane adatte alla filtrazione dei vari prodotti enologici, diminuendo l'incidenza di tale pratica sulla composizione chimica ed organolettica dei prodotti presi in esame. La conseguenza della ritenzione dei composti fenolici è la diminuzione dell'intensità colorante soprattutto per quanto riguarda il filtrato feccia, come appare dalla riduzione (9% circa) riscontrata con il filtro Taylo. La tonalità rimane invece pressoché invariata con i tre metodi considerati.

È stata presa infine in considerazione la percentuale v/v di solidi sospesi contenuta nel ritenuto di entrambi i prodotti al termine del processo di filtrazione. Potendo dimostrare osservando i risultati, l'ottimo lavoro effettuato dalle tre macchine. In particolare per il filtro Taylo si riscontra una percentuale in solidi sospesi pari al 92% per il mosto termomacerato, e del 94% per la feccia, all'incirca il 10% in più in confronto ad entrambi i modelli di filtro tangenziale (Omnia 81% mosto, 83% feccia; Dynamos 78% mosto, 81 feccia).

In relazione ai risultati ottenuti per il filtro Taylo, si precisa che essi comprendono sia i solidi sospesi che i coadiuvanti utilizzati nel processo di filtrazione, imbibiti di ritenuto e non separabili per quanto riguarda le analisi.

## **6.2. Valutazioni operative ed economiche**

La produttività oraria e gli altri elementi operativi riscontrati per i tre metodi di filtrazione durante l'annata 2017 sono riassunti nella Tabella 5.

| Parametri Operativi                         | Filtro |       |         |
|---|--------|-------|---------|
|   | Taylo  | Omnia | Dynamos |
| <b>Produzione oraria (hL/h):</b>            |        |       |         |
| su Mosto Termomacerato                      | 41     | 26    | 22      |
| su Feccia Rossa                             | 26     | 15    | 12      |
| <b>Media</b>                                | 33     | 20    | 17      |
| <b>Giorni di lavoro (gg/anno)</b>           | 50     | 90    | 90      |
| <b>Utilizzazione giornaliera (h/giorno)</b> | 24     | 24    | 24      |
| <b>Utilizzazione annuale (h/giorno) – U</b> | 1.200  | 2.160 | 2.160   |
| <b>Manodopera impegnata (h/giorno)</b>      | 16,0   | 3,0   | 4,0     |
| <b>Pannelli utilizzati (n./giorno)</b>      | 2,5    | -     | -       |
| <b>Consumo di perlite (kg /pannello)</b>    | 850    | -     | -       |
| <b>Consumo di cellulosa (kg/pannello)</b>   | 12,8   | -     | -       |

*Tabella 5 – Parametri operativi rilevati nella Cantina Forlì Predappio.*

Dai parametri operativi aziendali dei singoli impianti, si nota una produzione oraria molto diversa a seconda che si lavori del mosto o della feccia. Confrontando le tre macchine, possiamo osservare una maggior produzione oraria del filtro Taylo con una produzione oraria media di 33 hL/h. Successivamente si trova il filtro Omnia, con una produzione oraria media di 20 hL/h, seguito dal filtro Dynamos con una produzione oraria media di 17 hL/h.

Continuando con la lettura della tabella, osserviamo come il filtro Taylo sia stato penalizzato durante il periodo preso in esame nei giorni di lavoro annuali (Taylo 50 gg/anno, Omnia 90 gg/anno, Dynamos 90 gg/anno). Tale più basso utilizzo annuale è dovuto alla sua sostituzione quasi totale con le nuove tecnologie per quanto riguarda la lavorazione della feccia. Infatti si è preferito sfruttare la tecnologia rotativa sottovuoto durante la vendemmia e nel post-vendemmia, periodi in cui la sua confermata maggiore produzione oraria riesce a far fronte alla mole di prodotto da lavorare tempestivamente.

Altro svantaggio sui parametri operativi del filtro Taylo, intuibile dalla tabella e riscontrabile successivamente all'interno della valutazione economica, è la manodopera impegnata. Il filtro Taylo necessita della presenza quasi costante da parte dell'operatore, circa 16 h su 24 h di lavoro.

L'impiego di manodopera, invece, si riduce drasticamente per il filtro Omnia (3 h/giorno) e per il Dynamos (4 h/giorno).

Gli elementi economici utilizzati per il calcolo del costo d'esercizio dei tre impianti sono esposti in Tabella 6. I valori considerati sono stati ricavati da dati bibliografici e, soprattutto, dai dati reperiti presso la cantina.

| Elementi Economici                  | Filtro        |               |               |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                     | Tylo          | Omnia         | Dynamos       |
| Prezzo di listino - PL (€)          | 80.000        | 150.000       | 230.000       |
| Valore residuo (% PL)               | 5             | 5             | 5             |
| Durata fisica - N (h)               | 10.000        | 15.000        | 15.000        |
| Anni di utilizzo - n                | N/U (max. 15) | N/U (max. 15) | N/U (max. 15) |
| Saggio d'interesse (%)              | 5             | 5             | 5             |
| Coeff. globale rip. e manut. (% PL) | 10            | 10            | 10            |
| Salario operatori (€/h)             | 16            | 16            | 16            |
| Costo energia elettrica (€/kWh)     | 0,07          | 0,07          | 0,07          |
| Prezzo perlite (€/kg)               | 0,45          | -             | -             |
| Prezzo cellulosa (€/kg)             | 4,00          | -             | -             |
| Media gradi vino (°brix)            | 11            | 11            | 11            |
| Valore vino (€/grado hL)            | 4,6           | 4,6           | 4,6           |
| Perdita valore su vino filtrato (%) | 30,0          | 10,0          | 10,0          |
| Valore mosto (€/grado hL)           | 4,0           | 4,0           | 4,0           |
| Perdita valore mosto filtrato (%)   | 10            | 5             | 5             |

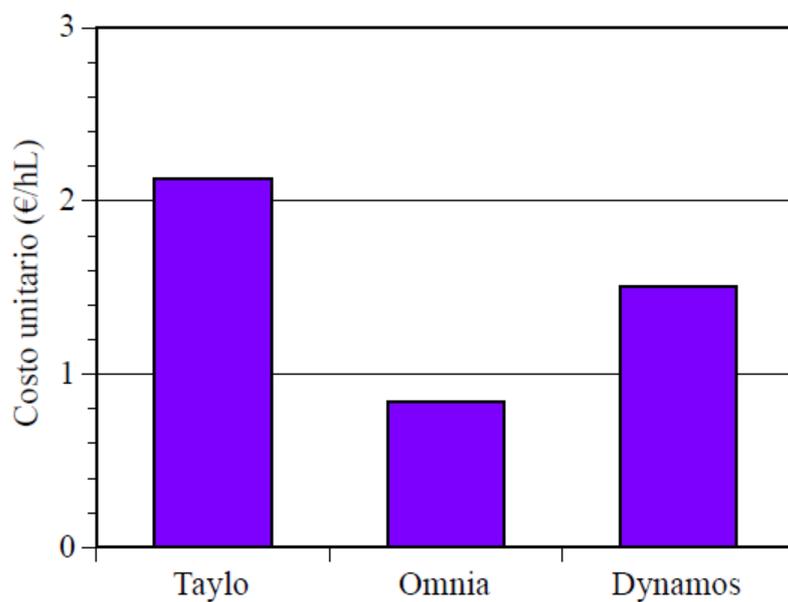
*Tabella 6 – Elementi tecnici ed economici utilizzati per il calcolo del costo di esercizio.*

In base ai parametri operativi e seguendo il metodo di calcolo indicato dall'ASAE è stato ricavato il costo unitario (€/hL) di esercizio dei tre metodi di filtrazione. I valori ottenuti sono riuniti nella Tabella 7 e successivamente sono stati inseriti in grafici, in modo da poter semplificare la lettura dei risultati. Per agevolare tale operazione, in una prima fase si è preferito utilizzare i valori medi ottenuti tra i due prodotti per i singoli filtri, ed in seguito sono state effettuate alcune considerazioni tenendo conto della differente produttività ottenuta lavorando i due prodotti (mosto termomacerato e feccia rossa).

|                |        | <b>Costi fissi<br/>(€/hL)</b> | <b>Costi variabili<br/>(€/hL)</b> | <b>Costo unitario<br/>(€/hL)</b> | <b>Deprezzamento prodotti<br/>(€/hL)</b> | <b>Costo unitario +<br/>deprezzamento</b> |
|----------------|--------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|---|
| <b>Taylo</b>   | Media  | 0,29                          | 1,84                              | 2,13                             | 9,46                                     | 11,59                                     |
|                | Mosto  | 0,23                          | 1,47                              | 1,70                             | 4,4                                      | 6,10                                      |
|                | Feccia | 0,37                          | 2,38                              | 2,75                             | 15,18                                    | 17,93                                     |
|                |        |                               |                                   |                                  |  |   |
| <b>Omnia</b>   | Media  | 0,57                          | 0,27                              | 0,84                             | 3,55                                     | 4,39                                      |
|                | Mosto  | 0,45                          | 0,21                              | 0,66                             | 2,2                                      | 2,86                                      |
|                | Feccia | 0,78                          | 0,37                              | 1,15                             | 5,06                                     | 6,21                                      |
|                |        |                               |                                   |                                  |  |   |
| <b>Dynamos</b> | Media  | 1,05                          | 0,46                              | 1,51                             | 3,55                                     | 5,06                                      |
|                | Mosto  | 0,81                          | 0,35                              | 1,17                             | 2,2                                      | 3,37                                      |
|                | Feccia | 1,49                          | 0,65                              | 2,14                             | 5,06                                     | 7,20                                      |

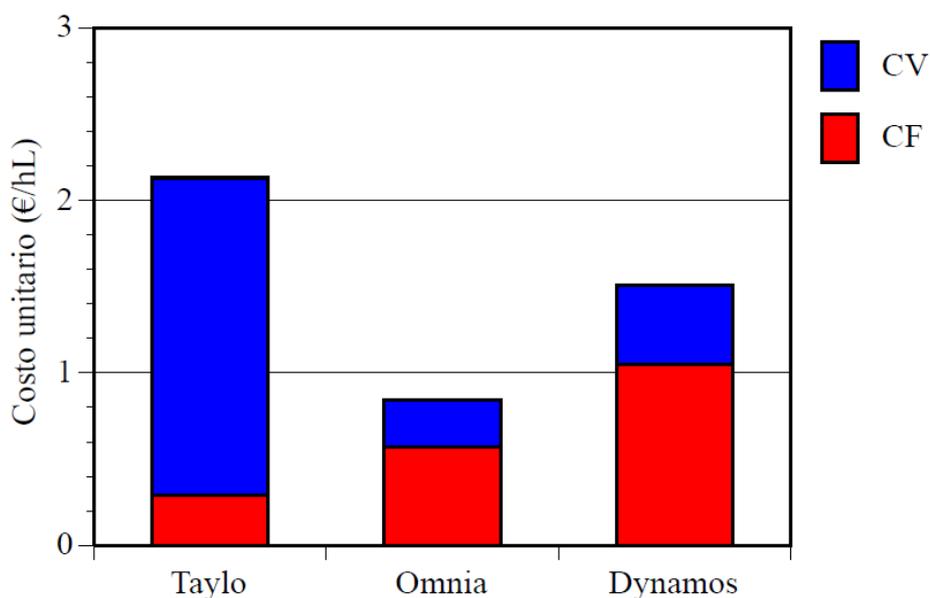
**Tabella 7 – Costi di esercizio riferiti alla situazione di lavoro della Cantina Forlì Predappio.**

Nella Figura 20 viene mostrato il costo unitario riscontrato mediamente per i tre filtri nelle condizioni lavorative della Cantina Forlì Predappio. Come appare dal grafico il valore più elevato si riscontra con il filtro Taylo; rispetto a questo i filtri tangenziali consentono evidenti risparmi: - 61% per il filtro Omnia e -29% per il filtro Dynamos.



**Figura 20 – Costo unitario ottenuto per ognuno dei tre filtri.**

Con la figura 21 si è approfondito il risultato mostrato precedentemente, differenziando all'interno del costo unitario i costi fissi (CF) e i costi variabili (CV):

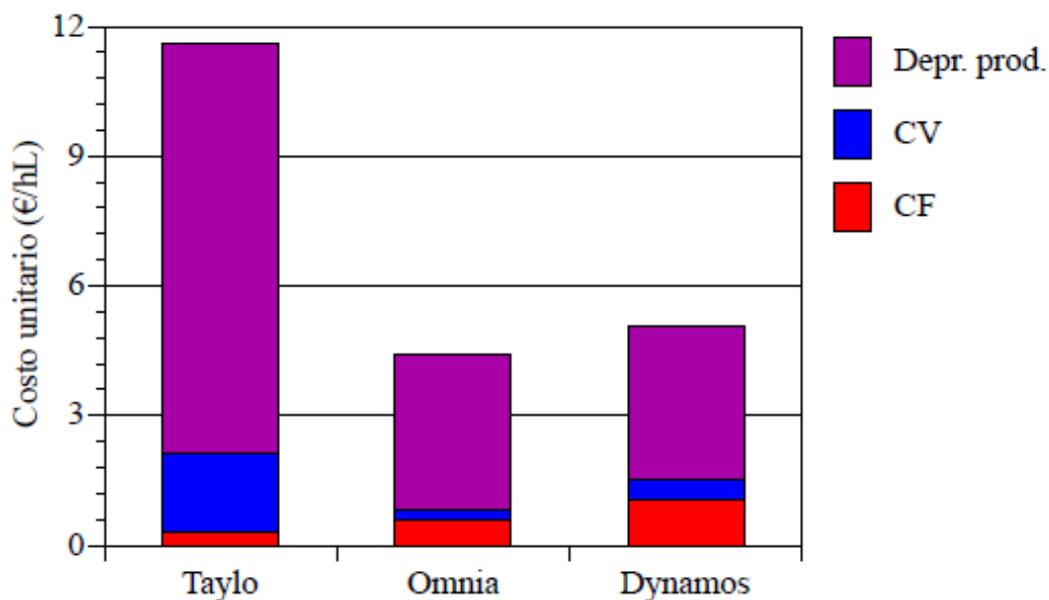


**Figura 21 – Costo unitario dei tre filtri, diviso in costi fissi (CF) e costi variabili (CV).**

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 (86% del costo totale), in gran parte attribuibili al costo dei coadiuvanti di filtrazione utilizzati.

All'opposto il costo unitario dei due filtri tangenziali, a causa dell'alto prezzo d'acquisto degli impianti, è appesantito prevalentemente dai costi fissi (68% Omnia; 70% Dynamos). 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.

La valutazione completa dei tre sistemi di filtrazione deve tenere conto anche del costo indiretto (deprezzamento) dei prodotti dopo il processo di filtrazione.

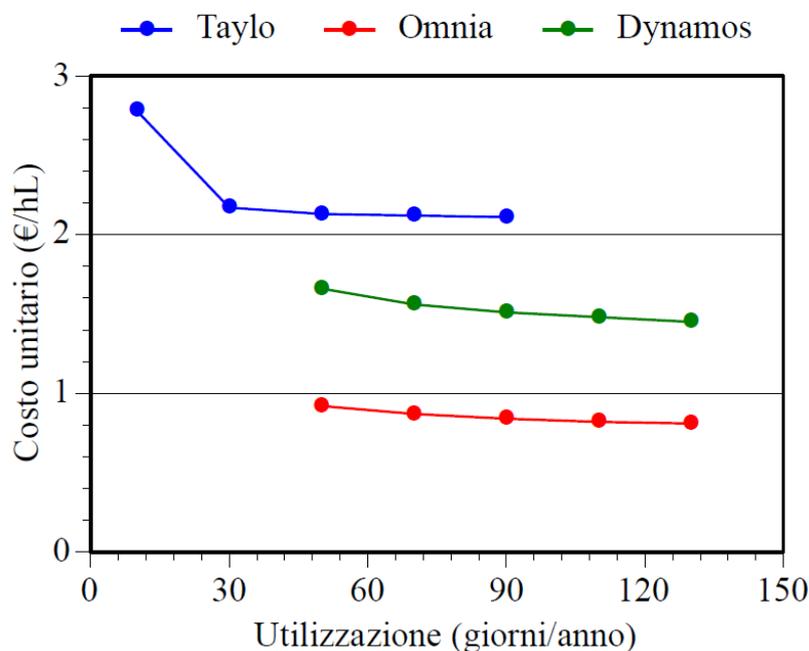


**Figura 22 – Costo unitario dei tre filtri tenendo conto anche del deprezzamento dei prodotti al termine del processo di filtrazione.**

Dal grafico si evidenzia un innalzamento dei costi unitari per le tre macchine, con il filtro Taylo più penalizzato in confronto ai filtri tangenziali, per via di un maggior deprezzamento dei prodotti in uscita. Deprezzamento determinato dalla minor qualità dei prodotti ottenuti dalla filtrazione rotativa sottovuoto, come già evidenziato dalle valutazioni analitiche riportate nelle tabelle 3 e 4.

Così facendo il risultato, riassunto nella figura 22 mostra un vantaggio ancora maggiore per i due filtri tangenziali rispetto al filtro a tamburo. È evidente anche che questa voce di costo sia

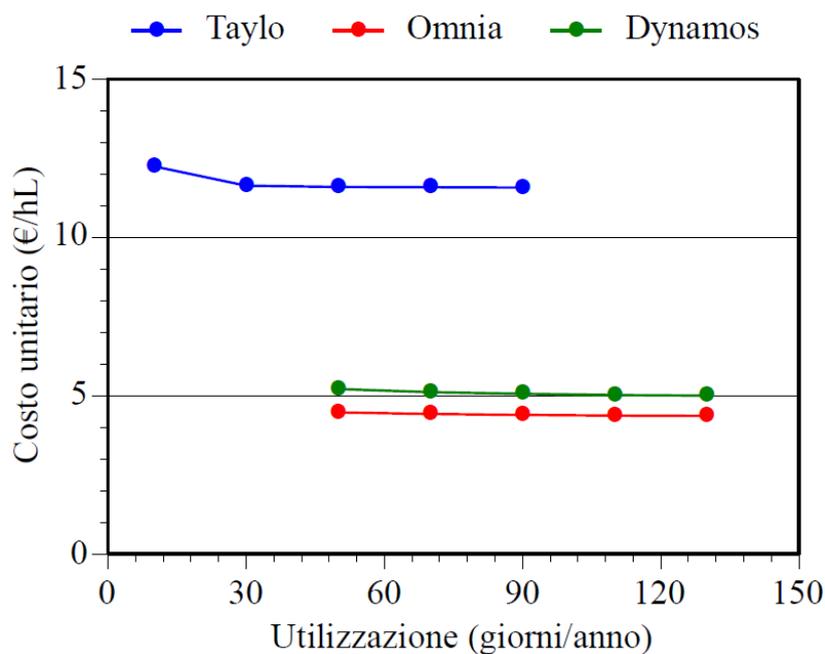
preponderante rispetto a quella di acquisto degli impianti e che, conseguentemente, la possibilità di ottenere un prodotto filtrato di migliore qualità sia fondamentale da un punto di vista economico. Le ipotesi economiche fin qui fatte, come già detto, sono riferibili alla situazione operativa rilevata nella Cantina Forlì Predappio. Per poter estendere le valutazioni anche ad altre condizioni di lavoro si può effettuare un calcolo dei costi ipotizzando differenti impieghi annuali degli impianti.



**Figura 23 – Andamento del costo unitario dei tre filtri ipotizzando diverse utilizzazioni annuali.**

Nella figura 23 vengono riportati gli andamenti dei costi unitari dei tre filtri considerando 5 livelli di utilizzazione: da 10 a 90 giorni/anno per il filtro Taylo e da 50 a 130 giorni/anno per i filtri Omnia e Dynamos. Osservando gli andamenti delle curve all'interno del grafico, si nota che in tutti i casi non si verificano grandi variazioni dei costi unitari. Questo è dovuto al fatto che le utilizzazioni annuali dei singoli impianti risultano al di sopra della utilizzazione ottimale, definita dal rapporto fra la durata fisica (h di lavoro complessive) e la durata economica dell'impianto (anni). Fa eccezione il punto di minor utilizzazione del Taylo, a cui corrisponde un repentino innalzamento del costo unitario.

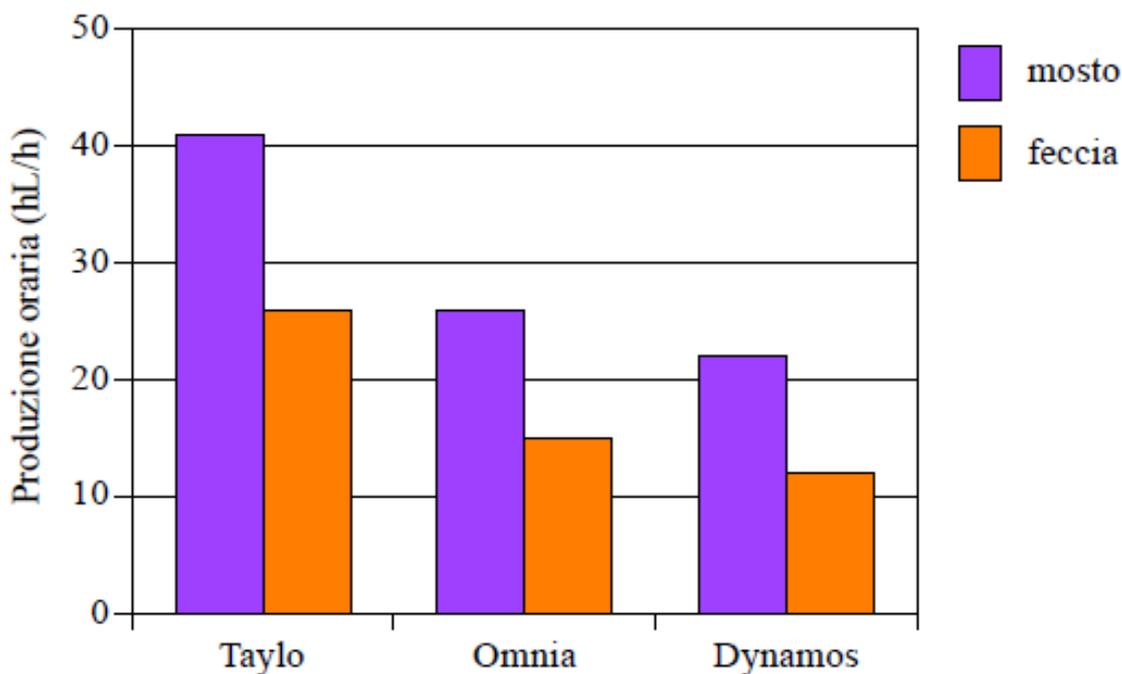
Nella figura 24 in cui il costo unitario comprende anche il deprezzamento dei prodotti, le curve si appiattiscono ulteriormente.



***Figura 24 – Andamento del costo unitario dei tre filtri comprensivo del deprezzamento dei prodotti ipotizzando diverse utilizzazioni annuali.***

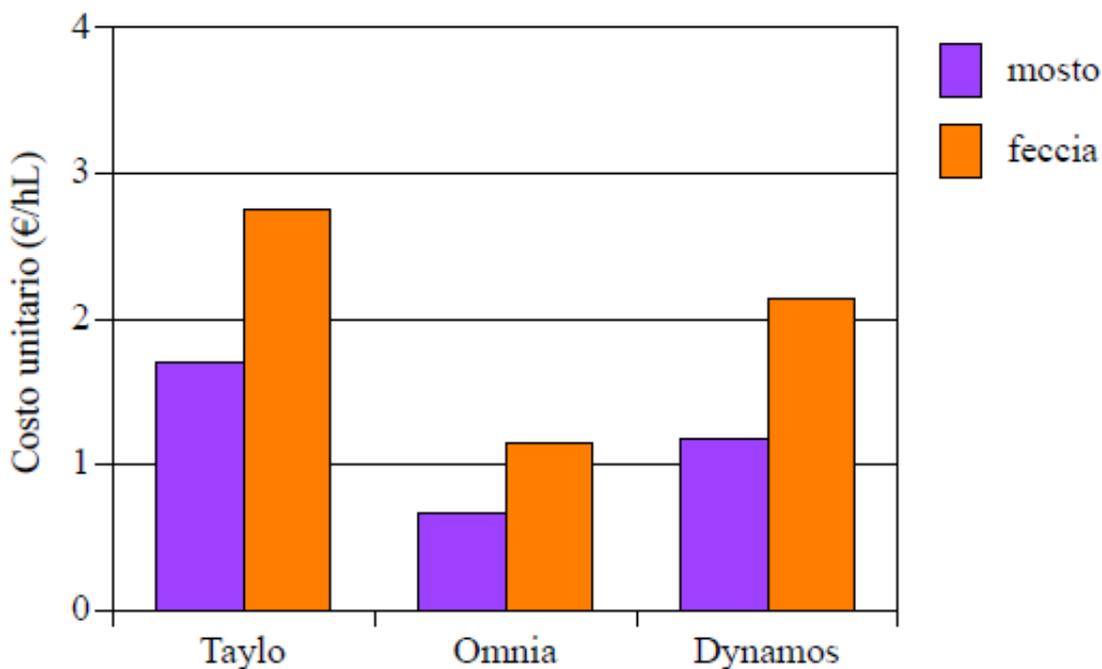
Questo risultato dimostra la scarsa importanza del fattore utilizzazione annuale sul costo unitario degli impianti di filtrazione, poiché una volta acquistati riescono a trovare un facile impiego all'interno delle aziende in maniera adeguata a garantire un agevole ammortamento. Esito evidente soprattutto sugli impianti di filtrazione tangenziale vista la versatilità d'uso con ottimi risultati analitici e successivo minor deprezzamento dei prodotti rispetto alla tradizionale filtrazione rotativa sottovuoto.

Considerando la differente produzione oraria (Fig. 25) degli impianti con le due tipologie di prodotto, si può effettuare il calcolo del costo di esercizio tenendo conto del reale prodotto lavorato.



*Figura 25 – Produzione oraria dei tre filtri differenziata per i due prodotti esaminati.*

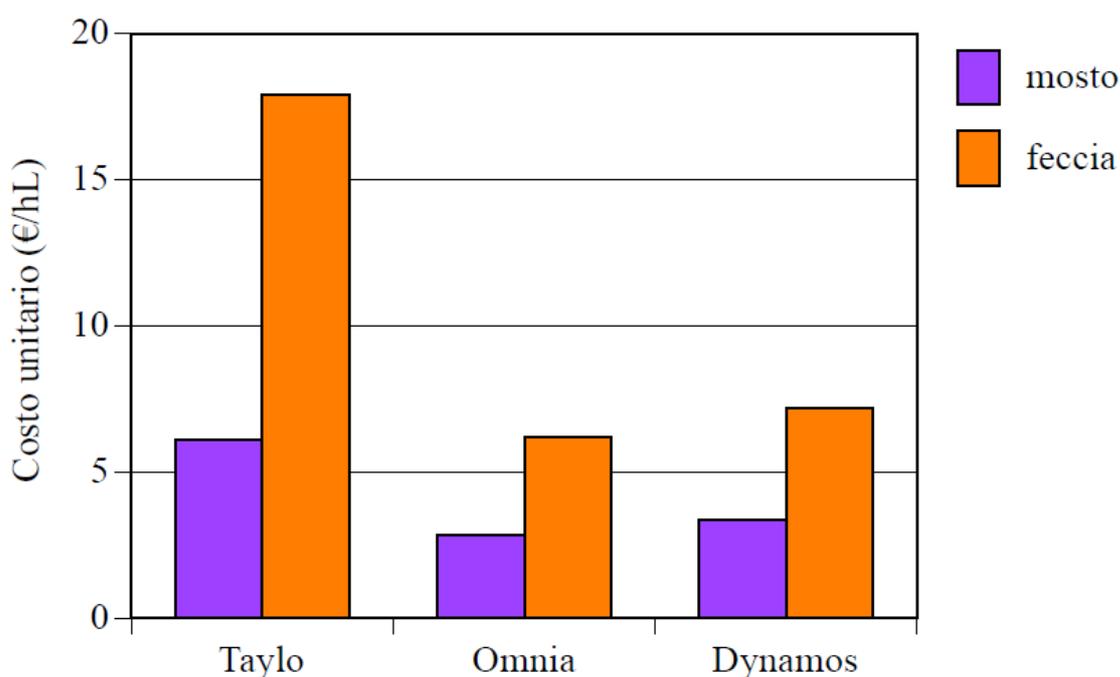
Nella Figura 26 notiamo come il costo unitario calcolato basandosi sulla produzione oraria dei singoli prodotti, sia maggiore per il filtro Taylo nonostante la più elevata produzione oraria, in confronto al filtro Omnia ed al filtro Dynamos.



*Figura 26 – Costo unitario dei tre filtri risultante dalla lavorazione del mosto e della feccia.*

Differenziando le due tipologie di prodotto si nota come la condizione più favorevole per i due filtri tangenziali si ottenga durante la filtrazione del mosto termomacerato. Con questo prodotto infatti i risparmi ottenuti rispetto al filtro a tamburo risultano del 61% con il filtro Omnia e del 31% con il filtro Dynamos. Con la filtrazione della feccia invece il risparmio economico risulta rispettivamente del 58 e 22%.

Considerazioni analoghe possono essere effettuate anche tenendo conto del costo indiretto dovuto al deprezzamento dei prodotti. In questo caso (Fig. 27) essendo più penalizzata la qualità dei prodotti ottenuta dal filtro a tamburo il vantaggio economico dei due filtri tangenziali aumenta percentualmente di qualche punto.



**Figura 27 – Costo unitario dei tre filtri tenendo conto anche del deprezzamento dei prodotti al termine del processo di filtrazione del mosto e della feccia.**

Dopo aver esposto gli aspetti economici, e quelli produttivi, scaturiti dalla valutazione economica possiamo effettuare una valutazione dei risultati.

I tre metodi di filtrazione, oltre alle differenze notate su alcuni parametri analitici, sono caratterizzati da costi di gestione molto diversi, ampliati dal deprezzamento dei prodotti. Basandoci soltanto su tali risultati sembrerebbe ovvia la convenienza nella sostituzione totale degli impianti rotativi sottovuoto con le nuove tecnologie. Tuttavia, in aziende di grosse dimensioni, in cui si lavorano grandi quantità di mosto, è implicita la necessità di una lavorazione continuativa e

veloce del suddetto prodotto, per evitarne il processo di fermentazione. Per cui, considerando la produttività oraria decisamente superiore per il filtro Taylo rispetto ai filtri tangenziali, è impensabile la completa sostituzione dei macchinari in questione.

## 7. Conclusioni

Lo sviluppo delle metodiche di filtrazione tangenziale ha permesso di raggiungere gli obiettivi di limpidezza e stabilità microbiologica nel vino. L'evoluzione di queste tecniche e l'impiego di materiali ad elevata resistenza meccanica ha reso possibile ottimi risultati anche nel trattamento di prodotti con alta percentuale di solidi sospesi. Tra i nuovi impianti di filtrazione tangenziale immessi sul mercato quelli che appaiono più interessanti sono certamente i filtri Omnia e Dynamos. La mia ricerca ha consentito di poterli confrontare direttamente con il classico sistema di filtrazione rotativa sottovuoto utilizzando due prodotti, come il mosto termomacerato e i fondi di chiarifica per decantazione statica, che presentano notevoli difficoltà nel processo di filtrazione. Il confronto è stato condotto durante un'intera stagione di lavoro nella Cantina Forlì Predappio, valutando la qualità dei prodotti filtrati, l'operatività e i costi di esercizio dei singoli impianti.

Le due nuove tecnologie confrontate con la tradizionale filtrazione rotativa sottovuoto hanno soddisfatto appieno le aspettative produttive, economiche e qualitative. Infatti, la filtrazione tangenziale ha assicurato ottimi livelli di chiarifica, apportando solo leggere modifiche ai parametri analitici presi in considerazione.

Queste variazioni erano inoltre nettamente inferiori rispetto a quelle riscontrate tramite l'utilizzo del filtro a tamburo. Infine, la qualità finale dei prodotti è risultata simile tra i due filtri tangenziali. Per quanto riguarda gli aspetti economici, la filtrazione tangenziale è risultata più competitiva, con un costo di esercizio inferiore rispetto alla filtrazione tradizionale. Ancora una volta, si riscontrano solo lievi differenze tra le due soluzioni di filtraggio tangenziale, con un costo maggiore per il filtro Dynamos, principalmente dovuto all'elevato costo di acquisto.

Tuttavia, un aspetto negativo della filtrazione tangenziale è la produttività oraria. Infatti, nel confronto con la filtrazione tradizionale, i filtri tangenziali sono risultati meno performanti. In conclusione, la filtrazione tangenziale presenta molti vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali, prospettando un'ampia diffusione di queste macchine nelle cantine di media e grande dimensione. Questa diffusione potrebbe essere rallentata dalla minor produttività di tali impianti rispetto alla tecnologia rotativa sottovuoto. Sulla base di quanto osservato nelle valutazioni succitate, è sempre fondamentale tenere in considerazione le necessità specifiche delle singole aziende in cui tali tecnologie prenderanno posto. La produttività oraria è infatti un elemento fondamentale da tenere in considerazione per la scelta di un nuovo impianto di filtrazione, e può ragionevolmente pregiudicare la completa sostituzione dei filtri tradizionali con i più recenti filtri tangenziali. Al termine dell'esperienza pratica discussa in questo elaborato, si può sostenere che la filtrazione tangenziale, pur non essendo una panacea tecnologica, costituisce una valida innovazione nel

processo di lavorazione di prodotti con un'alta percentuale di solidi sospesi, poiché in grado di abbattere i costi d'esercizio rispettando ed anche migliorando, la qualità dei prodotti.

## Bibliografia

- ASAE American Society of Agricultural Engineers (2011). *ASAE 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.
- Flanzly, 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.
- Ghanem, C. (2017). Study of the impact of oenological processes on the phenolic composition and biological activities of Lebanese wines. *Institut National Polytechnique de Toulouse*.
- Istat (2015). *La struttura delle aziende agricole 2013*. Roma.
- 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.

- TMCI PADOVAN S.p.A (2012) *Impianto di filtrazione tangenziale a membrana dinamica DYNAMOS 40. Istruzioni d'uso e di manutenzione*. Vittorio Veneto (TV): TMCI PADOVAN S.p.A.

## **Sitografia**

- Della Toffola S.p.A: [www.dellatoffola.it](http://www.dellatoffola.it)
- Istituto Nazionale di Statistica (Istat): [www.istat.it](http://www.istat.it)
- TMCI PADOVAN S.p.A: [www.tmcigroup.com](http://www.tmcigroup.com)

