



Tecnologia ALFA LAVAL: l'influenza dei processi tecnologici di lavorazione sulla qualità dell'olio. Risparmio energetico e riduzione dell'impatto ambientale.

Corso per Tecnico di Frantoio

Associazione Uni.Sapori – Frantoio Torretta. Battipaglia, 03 ottobre 2023

Giacomo Costagli

Business Centre Olive Oil Adriatic

Aiutiamo i nostri clienti

Contribuiamo al progresso tecnologico dell'industria olearia



Con una sempre maggiore scarsità idrica e con risorse energetiche sempre più costose, la possibilità di produrre di più consumando meno ha un potenziale immenso.

Alfa Laval possiede una gamma estremamente estesa di prodotti e soluzioni per rispondere alle sfide della sostenibilità del frantoio.



- **Gli obiettivi del frantoiano e la materia prima**
- **La frangitura**
- **Il condizionamento termico**
- **La gramolazione**
- **Olive Oil Booster**
- **Basi teoriche della separazione per gravità**
- **La centrifuga Decanter**
- **La centrifuga verticale a dischi**



L'obiettivo del frantoiano?



La qualità è definita

Extravergine (Reg CEE 2568/1991 e successive modifiche)

- * Acidità (% ac. oleico) $\leq 0,8\%$
 - * Perossidi (n.) ≤ 20
 - * K232 $\leq 2,50$
 - * K270 $\leq 0,20$
 - * Etili Esteri – EEAG (mg/Kg) ≤ 30
 - * Mediana del difetto = 0
 - * Mediana del fruttato > 0
- Laboratorio
- Panel test

Altri **parametri rilevanti** per la definizione qualitativa

- * Contenuto in composti fenolici (polifenoli, biofenoli)
- * Contenuto in composti aromatici (composti volatili)



I fattori di processo che influiscono su composti fenolici e aromatici

Composti fenolici

Originariamente presenti nell'oliva

Meccanismi di **trasferimento** da fase solida a fase liquida

- * Intervento **meccanico** sulle **pareti cellulari** con trasferimento di alcuni composti fenolici
- * Azione depolimerizzante della matrice polisaccaridica per la **degradazione delle pareti cellulari**, da parte degli **enzimi idrolitici**, con aumento della liposolubilità dei fenoli
- * Alta **temperatura** con aumento della solubilità dei fenoli
- * **Tempi** lunghi con aumento del rilascio
- * **Alto vuoto** con aumento del flusso liquido nella fase solida

Meccanismi di **degradazione** ossidativa

- * **Enzimi** endogeni (PPO, POD)
- * **Ossigeno + temperatura** ottimale per la degradazione
 - Polifenolossidasi (PPO) > 25°C
 - Perossidasi (POD) > 35°C

Composti volatili

Prodotti da attività chimica e biochimica

Meccanismi di **formazione** nella fase oleosa

- * Cascata di reazioni biochimiche conosciuta come **via della Lipossigenasi**
- * Ossidazione enzimatica (Glicosidasi, Lipossigenasi) di acidi grassi polinsaturati in presenza di **ossigeno** e con **temperature ottimali tra 15 e 22°C**
- * Azione **rapida e immediata dopo intervento meccanico** sul frutto

Meccanismi di **riduzione** nella fase oleosa

- * **Temperature di processo > 27°C**
- * Tempi lunghi di processo in ambienti non confinati

La quantità un po' meno...

- * Resa in olio (7-25%)

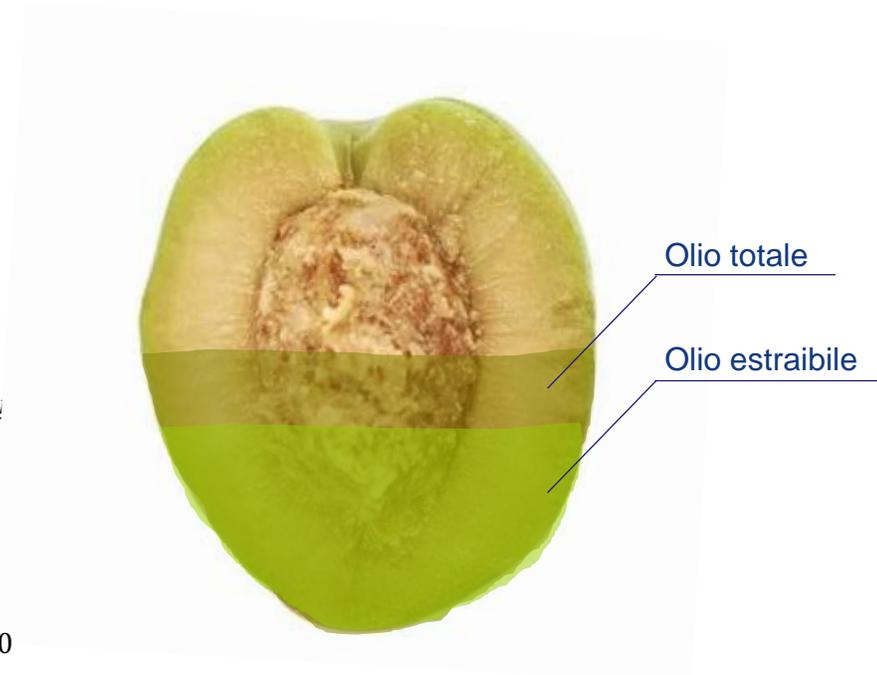
$$\text{Resa in olio (\%)} = \frac{\text{Olio ottenuto (Kg)}}{\text{Olive processate (Kg)}} * 100$$

- * Residuo di olio nella sansa su peso secco (4-15%)

$$\text{Olio residuo nella sansa (\% p. s.)} = \frac{\text{Olio residuo nella sansa (\% p. s.)}}{100 - \text{Umidità sansa (\%)}}$$

- * Indice di estraibilità (35 – 85%)

$$\text{Indice di Estraibilità (\%)} = \frac{\text{Olio ottenuto (Kg)}}{\text{Olio totale nelle olive (Kg)}} * 100$$



Cultivar e resa in olio

Cultivar	Olio totale (% p.s.)	Olio totale (% p.f.)	Umidità (%)	Estraibilità (%)	Resa potenziale (%)
Pajarero	52,5	24,8	52,7	73	18,1
Nevadillo	48,8	22,5	53,9	34	7,6
Arbequina	47,3	21,8	53,8	70	15,3
Blanqueta	46,5	20,9	55,0	56	11,7

Beltrán *et al.*, 2003



Le piante con olio nei tessuti differenti dal seme

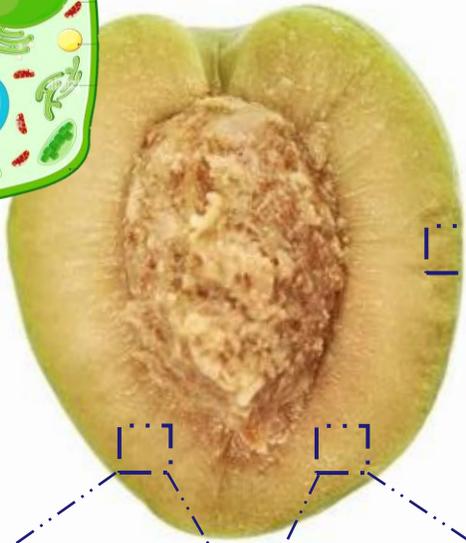
<u>Diverse species with nonseed oil</u>		<u>Storage tissue</u>	<u>% TAG by tissue DW</u>	
Dicots	<i>Tetraena mongolica</i>	Stems	9 – 4	
	<i>Triadica sebifera</i>	Tallow	75 – 80	
	<i>Morrellia pensylvanica</i>	Fruit surface	30 – 32	
	<i>Olea europaea</i>	<u>Mesocarp</u>	55 – 70	
	<i>Lactuca serriola</i>	Leaves	0.5 – 0.3	
Monocots	<i>Elaeis guineensis</i>	<u>Mesocarp</u>	80 – 90	
	<i>Cyperus esculentus</i>	Stem tubers	25 – 30	
Basal angiosperms	<i>Persea americana</i>	<u>Mesocarp</u>	65 – 80	

Md Mahbubur Rahman *et al.*, 2016

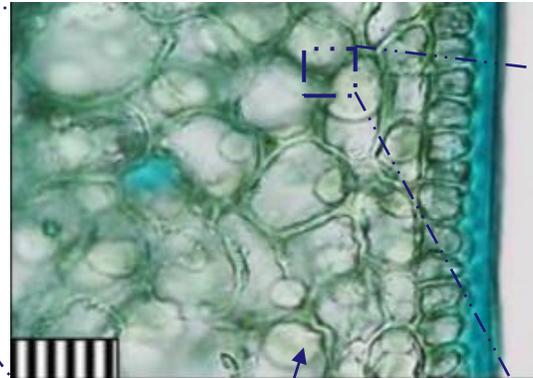
L'olio nei frutti a polpa oleosa



Cellula vegetale

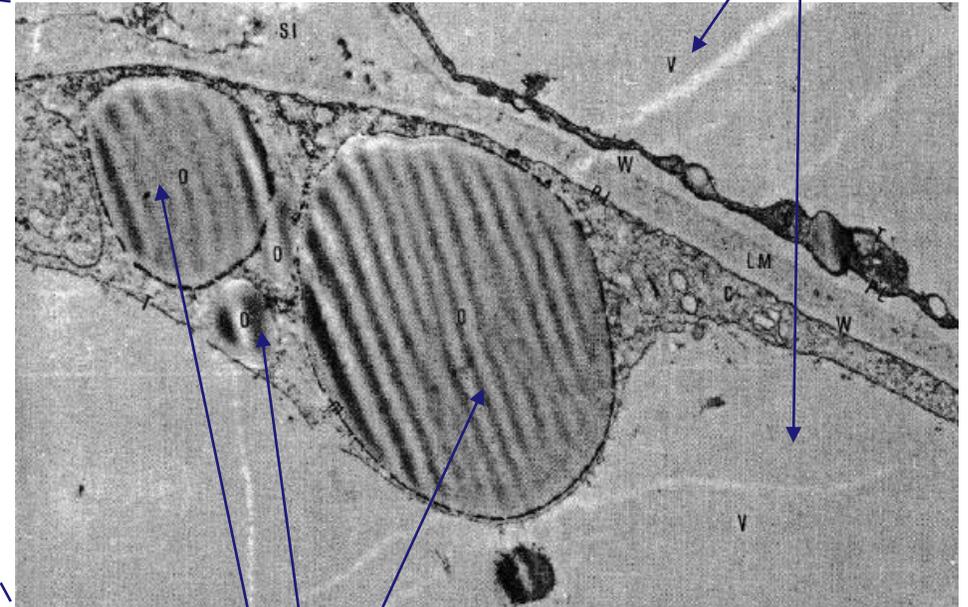


Abdinazarov and Duschanova, 2020



50 μm

Servili et al., 2012

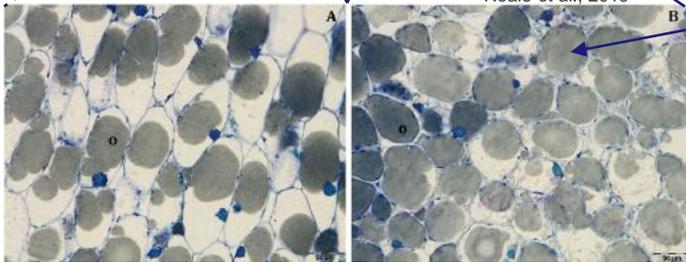


Gocce di olio (vacuolare)

Gocce di olio (vacuolare)

Gocce di olio (intracitoplasmatiche)

Reale et al., 2019



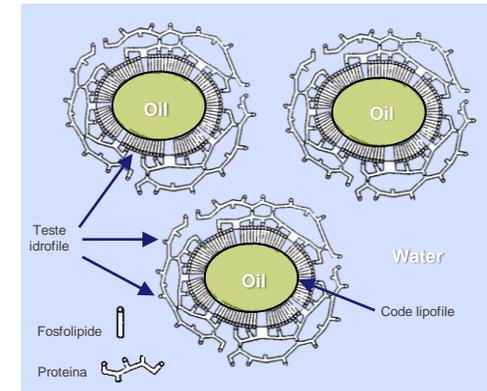
LECCINO

FRANTOIO

Che cosa accade all'olio **dopo la frangitura dell'oliva?**

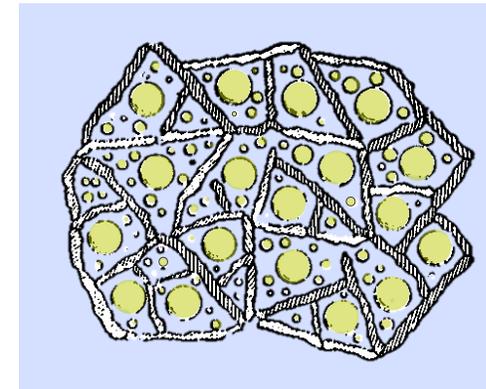
* Gocce di olio **avvolte da una membrana lipo-proteica (emulsione liquido-liquido)**

- **Fosfolipidi**
- **Proteine**
- Acqua
- Olio



* Gocce di olio intrappolate in **sistemi colloidali** (Interazioni solido-liquido - **microgel**)

- **Pectine**
- Solidi
- Acqua
- Olio



Martinez Moreno, 1972

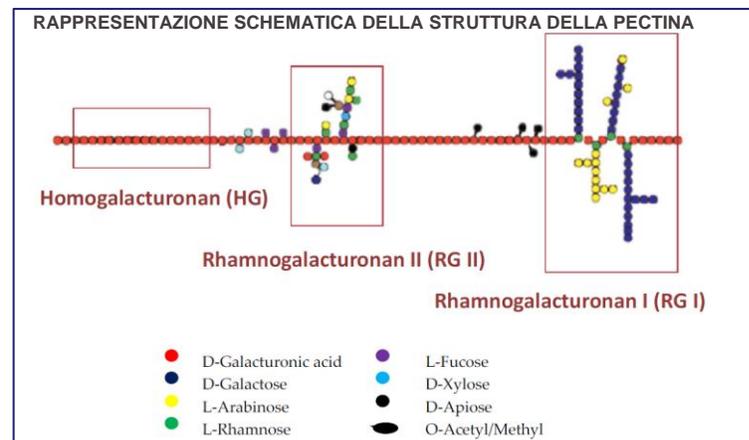
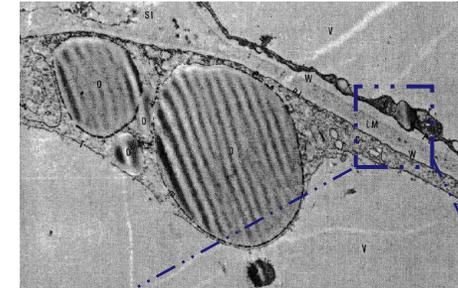
* In **cellule vegetali rimaste integre** con la frangitura.

L'importanza delle pectine per l'estrazione di olio

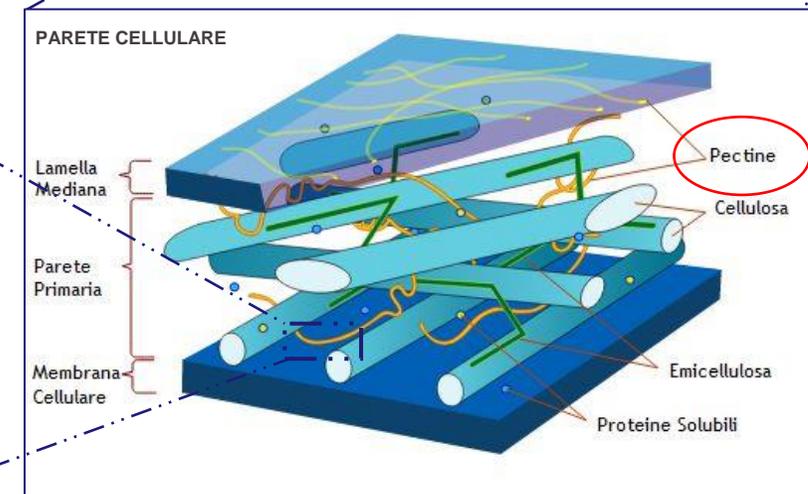
PECTINE

- * “Cementifica” lo spazio tra le cellule e **da croccantezza alla frutta**
- * Abbondanti nelle pareti cellulari
- * Vengono **idrolizzate con la maturazione** da enzimi (**pectinasi**) con conseguente perdita di consistenza dei frutti.
- * Contenuto variabile nei frutti
- * Polisaccaridi ad elevata massa molare: **emulsionanti e gelificanti naturali**.
Formano **colloidi gelatinosi**

Servili *et al.*, 2012



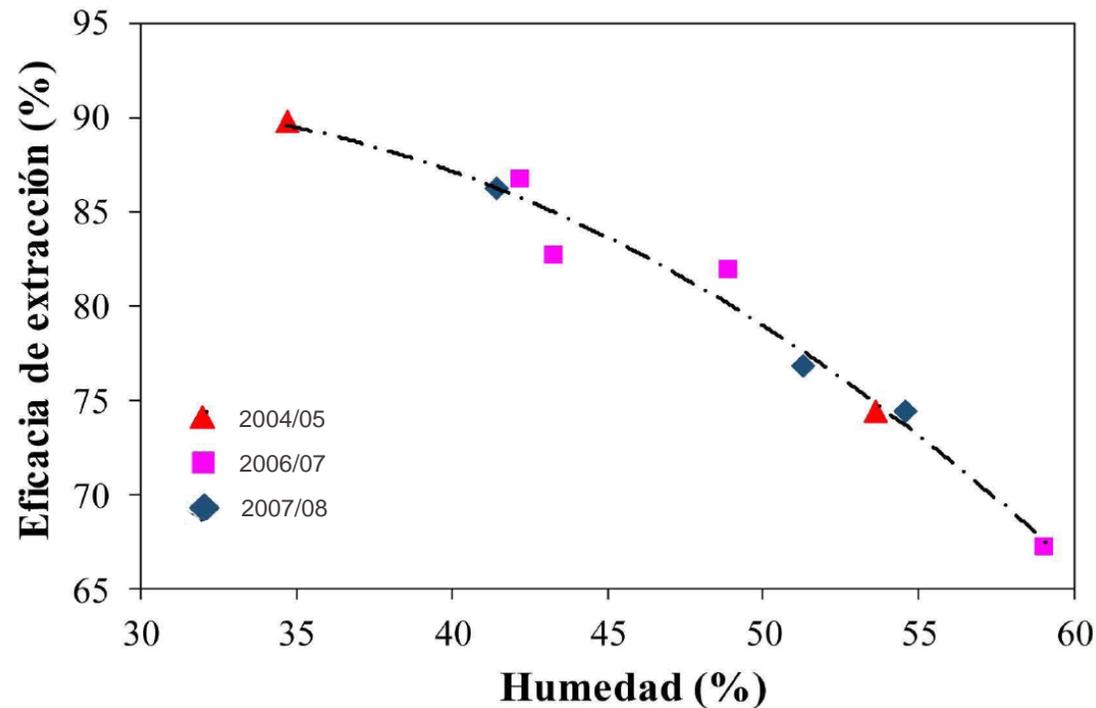
Millan-Linares *et al.*, 2021



I fattori del frutto che influenzano l'estraibilità dell'olio - 1

Umidità del frutto

- * L'acqua nell'oliva rappresenta un **agente emulsionante assieme a proteine e pectine** della polpa

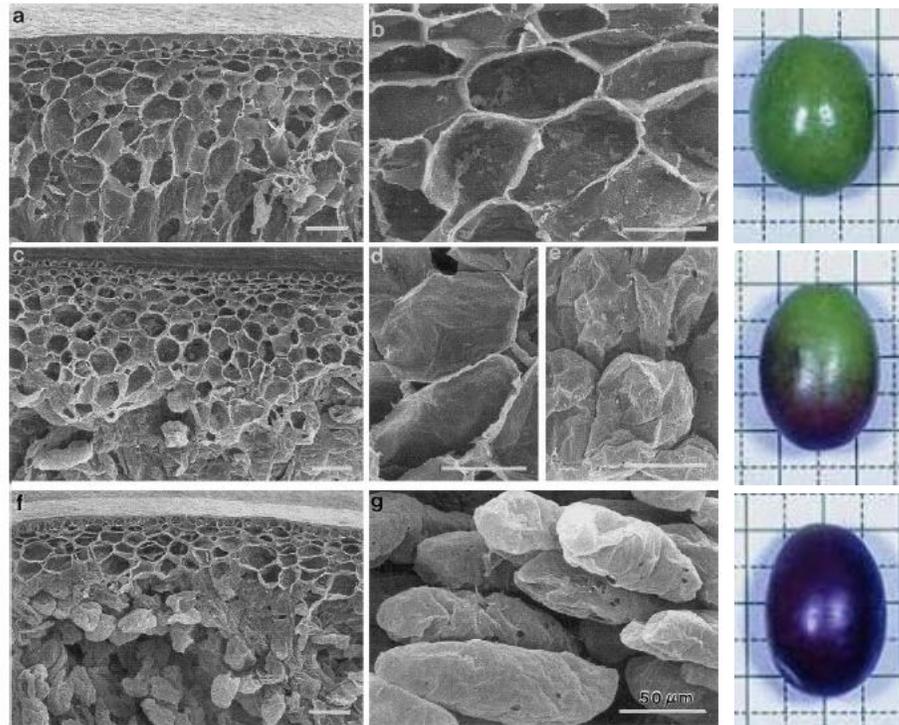


Espinola and Moya, 2019

I fattori del frutto che influenzano l'estrainibilità dell'olio - 2

Maturazione del frutto

- * Con l'avanzare della maturazione, le pectine subiscono un'idrolisi enzimatica con degradazione delle pareti cellulari. **La riduzione di pectina, diminuisce la durezza della polpa e aumenta l'estrainibilità dell'olio dai frutti.**



Mafra *et al.*, 2001

	Green	Cherry	Black
Pectic polysaccharides	40	32	20
Galacturonan	(20)	(16)	(8)
Arabinan	(16)	(12)	(9)
Glucuronoxylan	15	12	5
Xyloglucan	8	8	5
Mannan	1	1	1
Ara-rich glycoprotein	tr	tr	tr
Cellulose	24	24	12
Total polysaccharides	87	77	43

Mafra *et al.*, 2001



Variabilità dei frutti nella collezione del germoplasma olivicolo del Crea-Ofa. Foto: Enzo Perri

Pectine, cultivar e condizioni climatiche

- * **Il contenuto di pectine** nella polpa delle olive è variabile in funzione delle **cultivar** e delle condizioni climatiche delle diverse **annate** di produzione

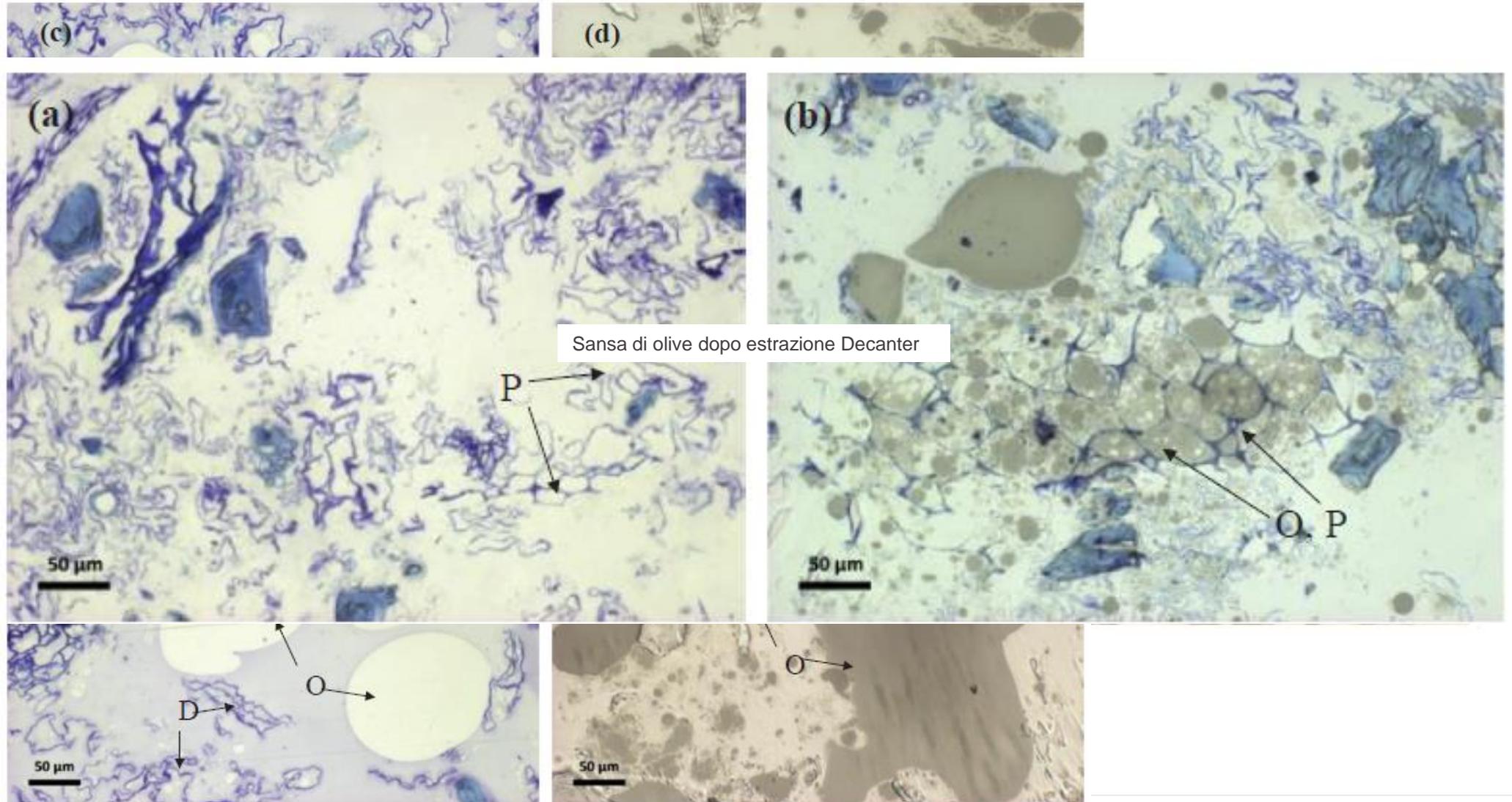
Jimenez *et al.*, 1994; Diarte *et al.*, 2020

- * La **carica enzimatica e la loro attività** per l'idrolisi delle pectine durante la maturazione dei frutti sono entrambe dipendenti dalle **cultivar**.

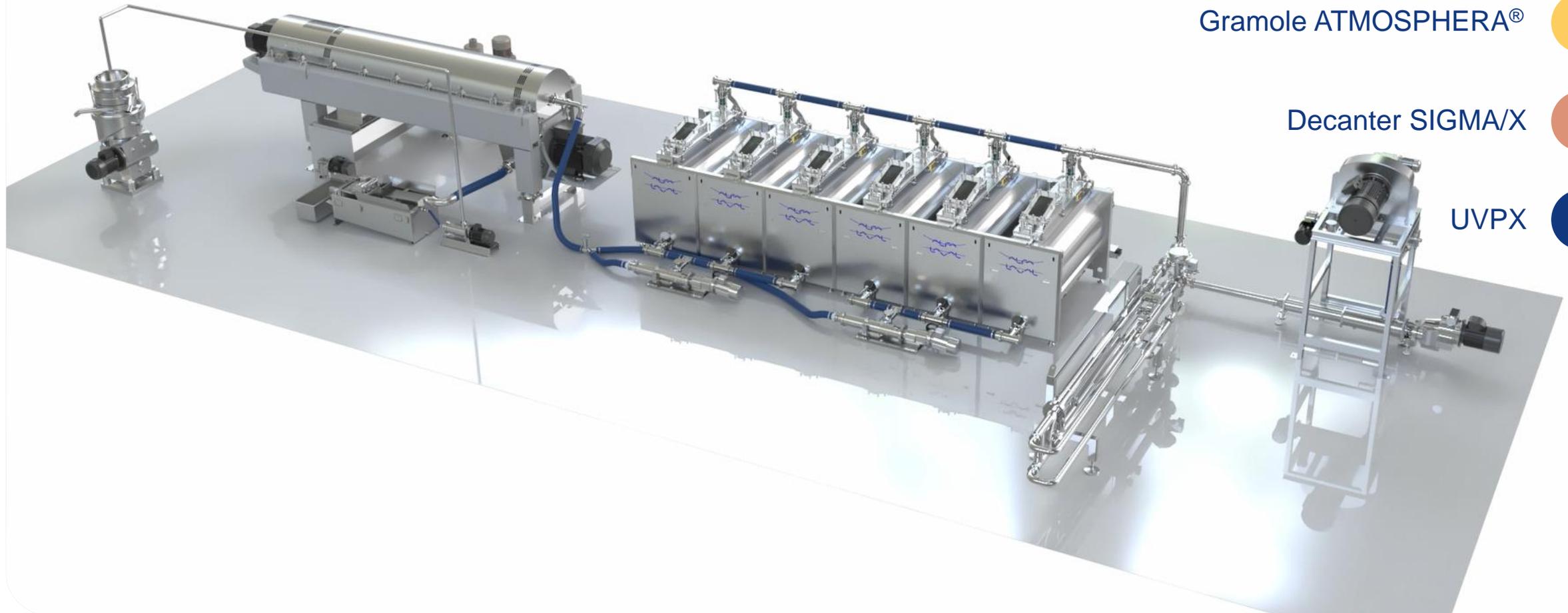
Diarte *et al.*, 2020

- * L'estraibilità dell'olio dal frutto è dunque dipendente dalla cultivar e dalle condizioni climatiche

L'evoluzione delle "gocce di olio" attraverso il processo estrattivo



Il frantoio ad alta tecnologia, oggi



Frangitore Doppio Taglio

TCM Visco Line™

Gramole ATMOSPHERA®

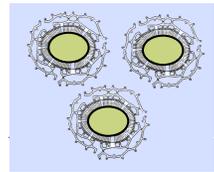
Decanter SIGMAX

UVPX

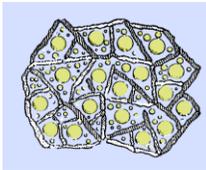


La frangitura

La frangitura

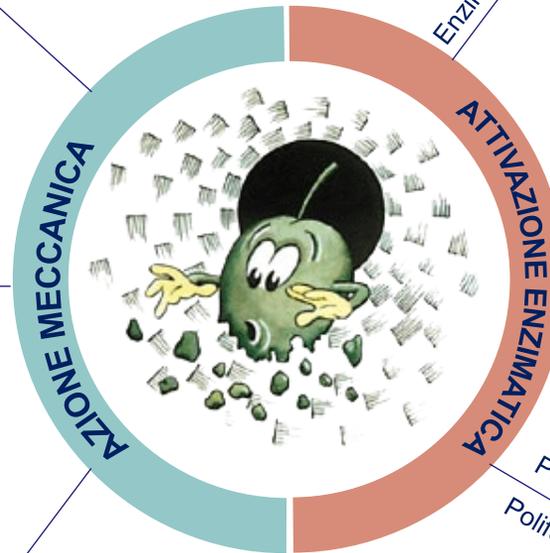


Emulsioni liquido – liquido



Interazioni solido – liquido (colloidi)

Trasferimento di alcuni
composti fenolici



Enzimi idrolitici

Degradazione parete cellulare
con aumento liposolubilità dei
fenoli

Glicosidasi
Lipossigenasi

Formazione di sostanze volatili

Perossidasi
Polifenolossidasi

Degradazione ossidativa delle
sostanze fenoliche

Il riscaldamento in fase di frangituratura

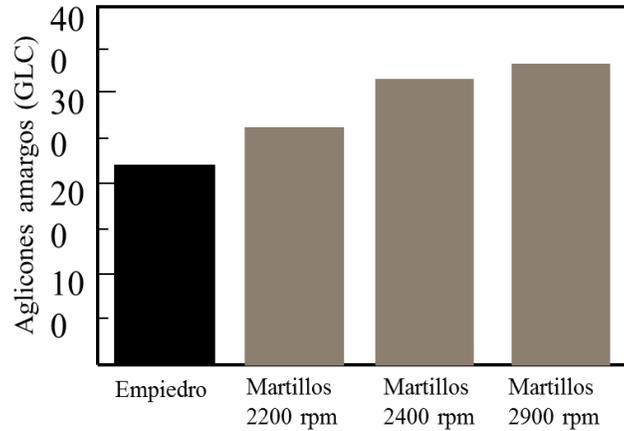
Il riscaldamento è proporzionale all'energia (E) necessaria a rompere i noccioli passando dal diametro D1 (mm) al diametro D2 (mm) secondo la seguente formula, dove W_i è una costante che corrisponde, nel caso del nocciolo di oliva, a 40 KJ/Kg :

$$E/W_i = \left(\frac{0.1}{D_2}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{0.1}{D_1}\right)^{\frac{1}{2}}$$

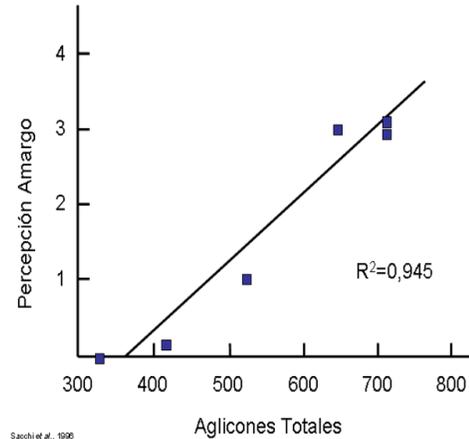
La rottura del nocciolo per ottenere un più fine grado di frangitura significa produrre più calore

Catalano, 2005

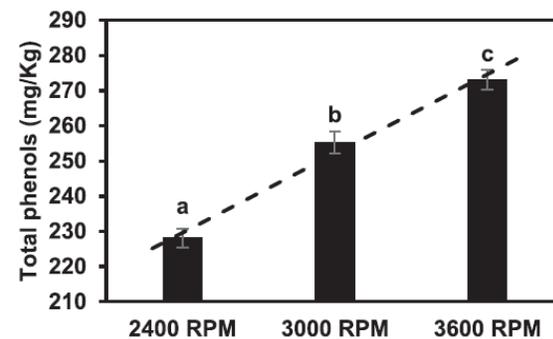
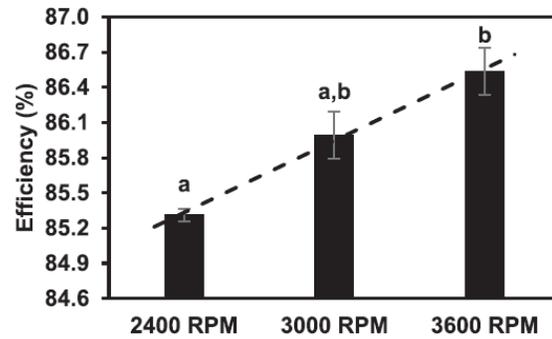
“Energia” della frangitura su resa e qualità



Angerosa and Solinas, 1991



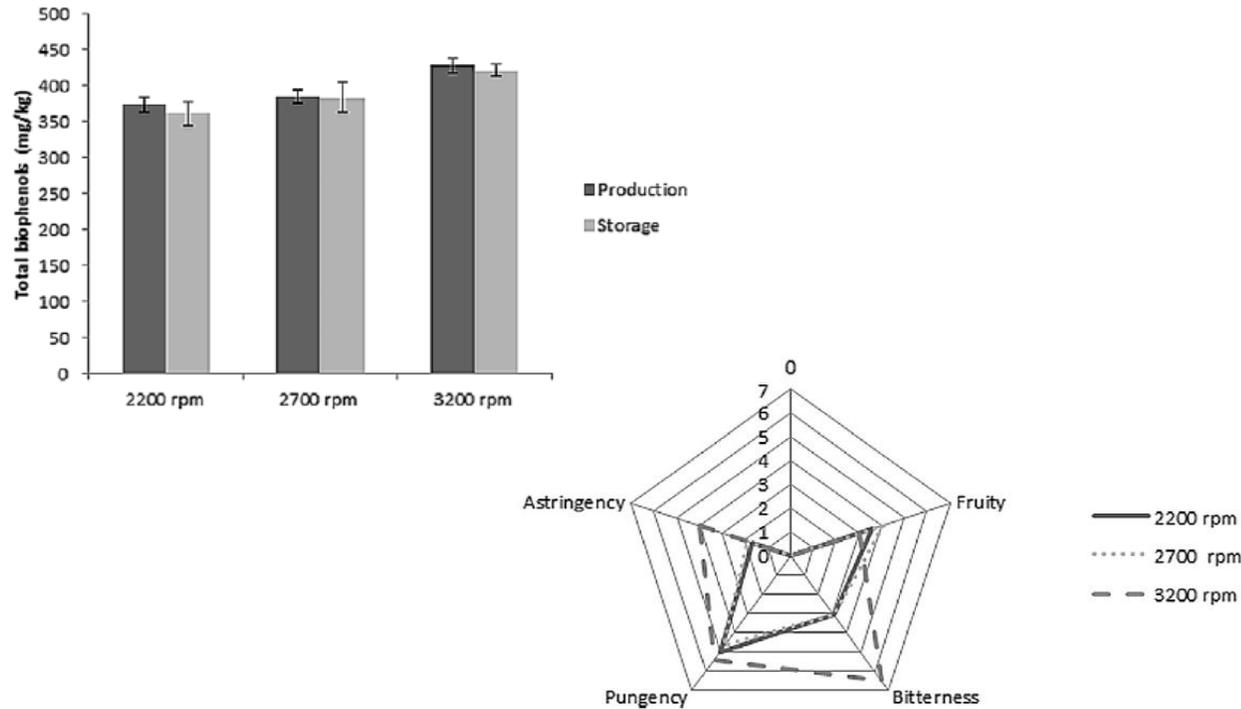
Sacchi *et al.*, 1996



Effetto della velocità di rotazione del frangitore a martelli e sull'estraibilità dei frutti e sul contenuto in polifenoli totali dell'olio di Arbosana (Polari *et al.*, 2017)



“Energia” della frangitura sulle caratteristiche organolettiche



Guerrini *et al.*, 2017



Su frangitori diversi dai martelli, un aumento di velocità conferma un aumento di fenoli assieme ad incremento di amaro e astringenza

Metodi di frangitura per la differenziazione della qualità



Frangitore a Martelli



Frangitore a Dischi



Frangitore Doppio Taglio

Frangitore Doppio Taglio per una qualità Premium



- Ricerca & Sviluppo

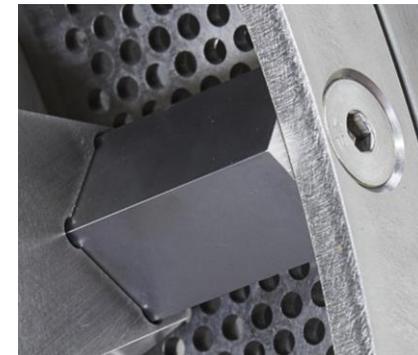
- **Massima estrazione fenolica e aromatica**
 - Azione combinata di taglio disco-lama a 45°
 - Velocità di rotazione 2000 rpm
- **Contenuto impatto termico**
 - Doppio stadio di frangitura
 - Griglia controrotante
- **Ampliamento della gamma di regolazioni**
 - Distanza tra i dischi
 - Diametro della griglia
 - Velocità di rotazione (opzionale)



Frangitore Doppio Taglio – Vantaggi



- Interamente in acciaio inox in TUTTE le parti a contatto con il prodotto;
- Interscambiabile con frangitori a dischi e martelli Alfa Laval;
- Ugelli per il lavaggio
- Facile sostituzione degli organi frangenti
- Organi frangenti “riutilizzabili”



- * Per ottimizzare la **RESA** ➔ pezzatura più fine a inizio campagna e più grossa con stadio di maturazione avanzato. Evitare tutto ciò che produce emulsione.
- * Con effetti sulle **CARATTERISTICHE ORGANOLETTICHE** ➔ gradi di frangitura più grandi riducono l'intensità di amaro e di astringenza. Azioni taglienti e gradi di frangitura ridotti esaltano aromi e profumi su olive con stadio di maturazione precoce.



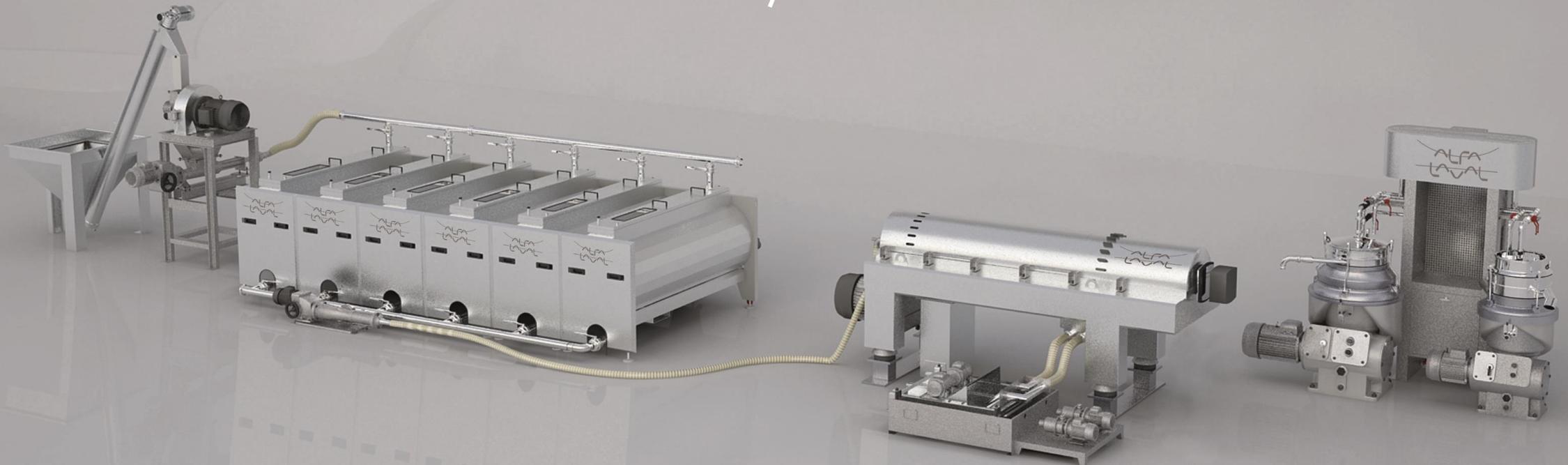


Il condizionamento termico delle paste di olive

Perchè il condizionamento termico delle paste di olive

- Incremento termico della pasta di olive con la frangitura
- Introduzione di ossigeno nella pasta di olive con la frangitura
- Ridotta efficienza termica della gramolazione per il riscaldamento graduale della pasta di olive fino ad una temperatura massima prefissata

1. Ottenere la massima qualità possibile dell'olio extravergine durante il periodo di raccolta precoce, salvaguardando gli obiettivi di resa estrattiva
2. Velocizzare il tempo di processo durante il periodo di raccolta tardiva, salvaguardando il più possibile la qualità dell'olio extravergine e preservando gli obiettivi di resa



L'importanza degli enzimi endogeni per qualità e resa



PECTINOLITICI (Cellulasi, Pectinasi, Emicellulasi)

Degradano le strutture delle pareti cellulari favorendo la coalescenza dell'olio in fase di gramolatura.

Fanno parte delle idrolasi assieme a Glicosidasi (trasformano le sostanze fenoliche in agliconi) e Lipasi (catalizzano l'idrolisi dei gliceridi producendo acidi grassi liberi).

Massima attività con $T > 25^{\circ}\text{C}$



LIPOSSIGENASI

Favorisce la formazione di sostanze volatili responsabili dell'aroma dell'olio.

Fa parte delle ossidoriduttasi



POLIFENOLOSSIDASI, PEROSSIDASI

Determinano l'ossidazione e quindi la riduzione della frazione fenolica dell'olio durante il processo di estrazione.

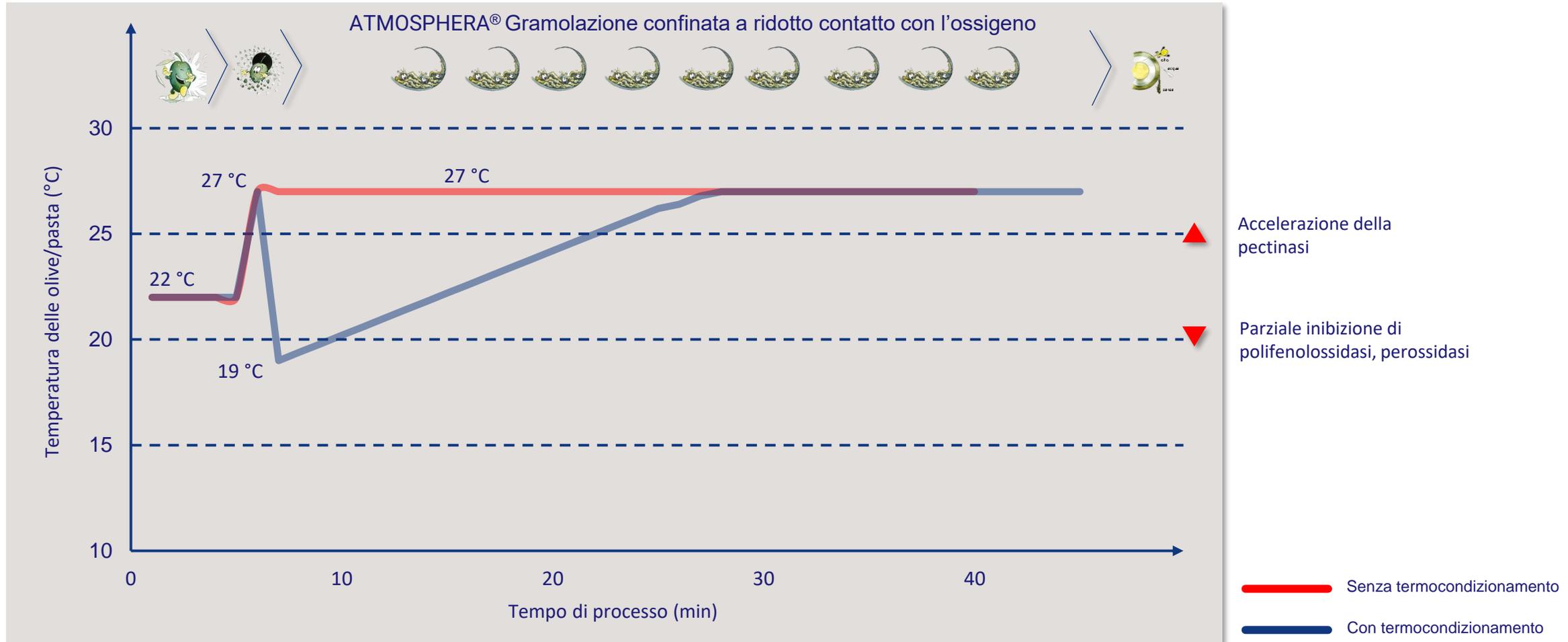
Fa parte delle ossidoriduttasi

Attività molto elevata con ossigeno e $T > 20^{\circ}\text{C}$

Controllare l'attività enzimatica attraverso temperatura e ossigeno



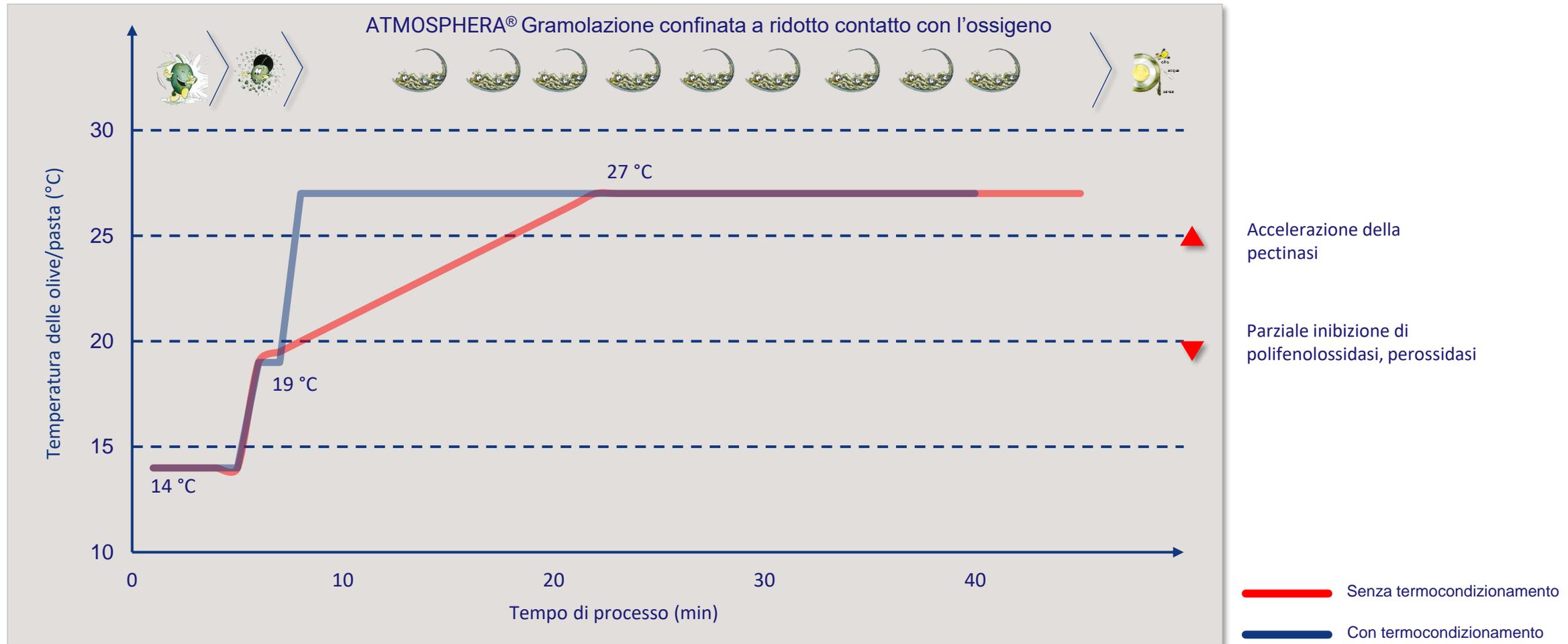
- Esempio: temperatura delle olive in ingresso: 22°C



Il controllo enzimatico attraverso il controllo della temperatura



– Esempio: temperatura delle olive in ingresso: 14°C



Più qualità in due STEP

- Il termocondizionamento (TCM) associato alla gramola ATMOSPHERA®

Termocondizionare la pasta di olive per “guidare” l’attività degli enzimi endogeni. Controllo assoluto della temperatura immediatamente dopo la frangitura, riduzione dell’ossigeno gestione del tempo in gramolazione.

STEP 1 - TCM

CONDIZIONAMENTO TERMICO

- Temperatura esatta immediatamente dopo la frangitura con lo **scambiatore di calore ViscoLine™**
- Inibizione enzimi ossidativi mediante rapido abbassamento termico della pasta con olive “calde”
- Accelerazione enzimi pectinolitici mediante rapido riscaldamento della pasta con olive “fredde”

STEP 2 - ATMOSPHERA®

GRAMOLAZIONE CONFINATA

- Inibizione enzimi ossidativi mediante ridotta presenza di ossigeno per limitare la degradazione dei composti aromatici e fenolici
- Favorire attività della lipossigenasi e pectinasi per liberare l’olio dalle emulsioni e preservare i composti aromatici
- Fornire tempo, azione meccanica e controllo temperatura per la scelta della relazione RESA/QUALITA’

RISULTATI (Brevetto Alfa Laval)

QUALITA’

- Aumento del contenuto fenolico fino a un massimo del 96% con raccolte precoci
- Aumento della frazione aromatica fino ad un massimo del 20% con raccolte precoci

TEMPO

- Riduzione dei tempi di estrazione a parità di resa estrattiva con raccolte tardive

Scambiatore tubolare (anulare) controcorrente

- ViscoLine™ - TCM



Uscita acqua "esterna"

Uscita acqua "interna"

Ingresso prodotto

Uscita prodotto

Entrata acqua "interna"

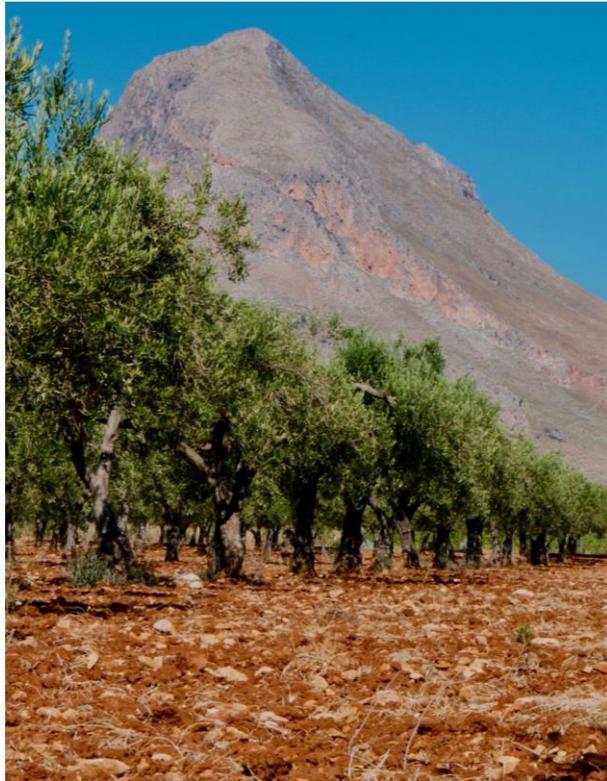
Entrata acqua "esterna"

Gap pasta di olive 21-40 mm



Alternative? Non alla stessa efficienza

– La ricerca di soluzioni alterantive alla TCM Alfa Laval



Sulle OLIVE

- **Raccolta notturna:** vietata per la protezione dell'avifauna
- **Celle frigo:** Investimento/spazio/efficienza
- **Acqua di lavaggio delle olive:** efficienza

Sulla PASTA di olive

- **Frangitore refrigerato:** efficienza
- **Scambiatore tubo in tubo co-corrente:** efficienza
- **Coclea di trasporto incamicciata:** efficienza
- **Acqua fredda alle gramole:** efficienza



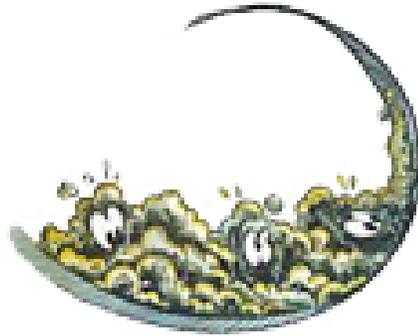
La gramolazione

* Obiettivo:

- Produrre nella pasta la maggior quantità possibile di olio libero (coalescenza)

* Azioni:

- Meccanica;
- Enzimatica.



* Condizioni necessarie:

- Disegno degli agitatori, velocità di rotazione, scambio termico delle camice;
- Tempo di gramolazione (30 – 50 min);
- Temperatura (24 – 32°C).



Interno della gramola



Pasta di olive dopo la frangitura



Pasta di olive dopo la gramolazione

“Paste facili” e “paste difficili”



Le gramole ATMOSPHERA®



The Best Environment for High Performances

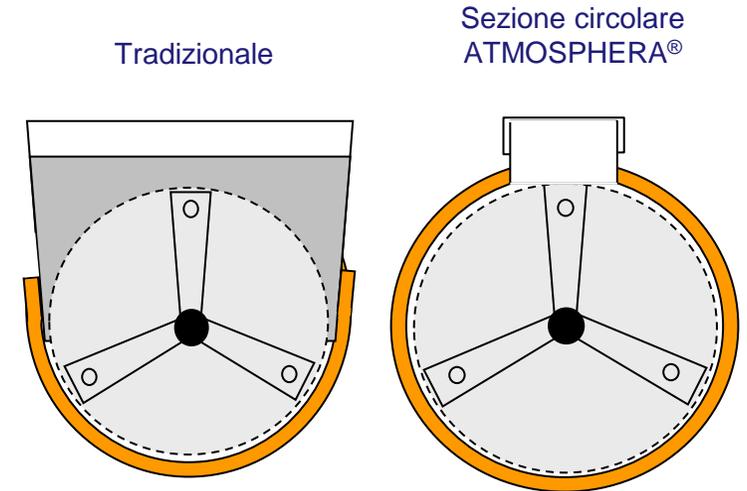


Environment under monitored temperature
Environments under monitored climate can help getting a better quality of life. Even the quality of olive oil can be noticeably improved by a micro-climate expressly devised in order to improve the quality of the enzymes yield in the delicate process they run during the olive oil separation process. Once more, Alfa Laval represents the state-of-the-art in terms of process development.



Vantaggi del disegno circolare

- * + 20% camicia riscaldante (■);
- * - 38% costo energetico per riscaldare;
- * Riduzione dei tempi di gramolazione;
- * Eliminazione delle «zone morte» (■);
- * Riduzione dello spazio di testa e del contatto con ossigeno



Sistema di lavaggio mediante sfere Alfa Laval Toftejorg SaniMidjet



Finestre illuminate di ispezione con antiappannaggio



Moduli indipendenti per meccanica e controllo temperatura



Olive Oil Booster



- Al massimo livello di ottimizzazione dei parametri operativi, la **resa industriale in olio** è fortemente condizionata dall'**estraibilità delle olive**;
- L'estraibilità dell'oliva è strettamente dipendente da:
 - **Fattori pedo-climatici**
 - **Umidità del frutto**
 - **Stato di maturazione**
 - **Cultivar**
- L'**ossigeno** e la **temperatura** nella pasta di olive durante la gramolazione (anche quella in ambiente confinato), condiziona i **parametri qualitativi** dell'olio ottenuto.

Il frantoio del futuro. Olive Oil Booster

Frangitore Doppio Taglio

TCM Visco Line™

Olive Oil Booster

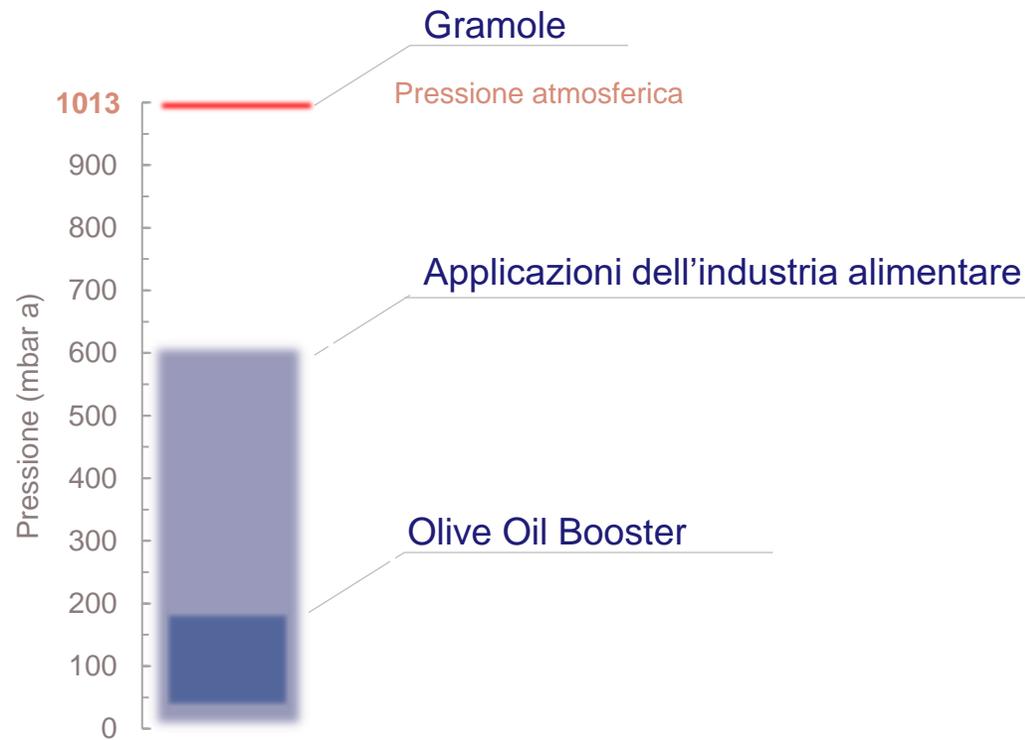
Decanter SIGMA/X

UVPX

Olive Oil Booster
contributes to the
sustainable future
of the oil mill

Che cos'è il vuoto?

Si definisce **vuoto** una regione di spazio in cui la **pressione gassosa è inferiore a quella atmosferica**



L'impiego del VUOTO nell'industria alimentare

- **E' impiegato in numerose operazioni** come il trasporto, trattamento, riempimento, confezionamento e igienizzazione.
- Permette enormi vantaggi in processi di trattamento con **prodotti alimentari sensibili alle temperature e all'ossigeno** e che non sarebbero ottenibili a pressione atmosferica;



Modulo di disareazione Alfa Laval - ALROX

Migliorare la qualità e aumentare il valore funzionale degli alimenti

Storicamente impiegato nei trattamenti di disareazione, canditura, disidratazione e recentemente, sempre di più **nell'impregnazione** per **aumentare il valore funzionale degli alimenti**



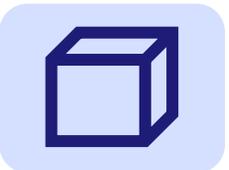
Impregnazione, canditura



Raffreddamento



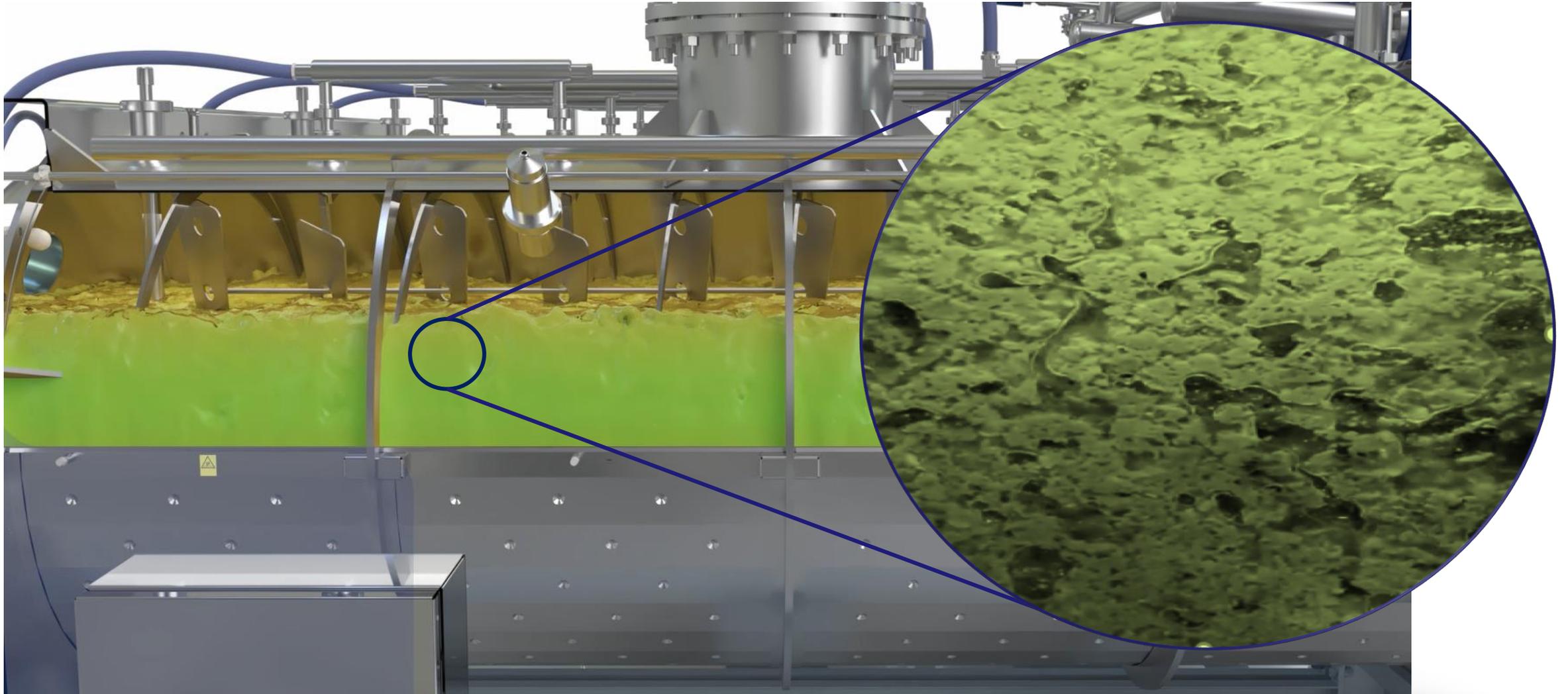
Essiccazione, disidratazione



Packaging, conservazione



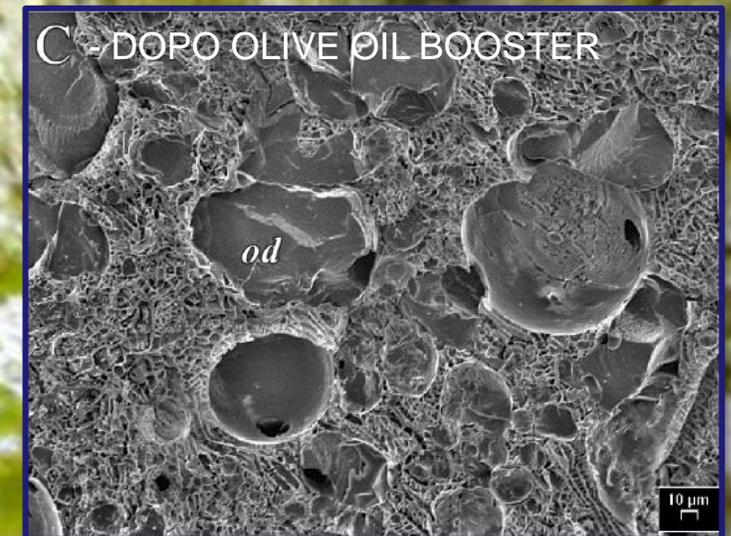
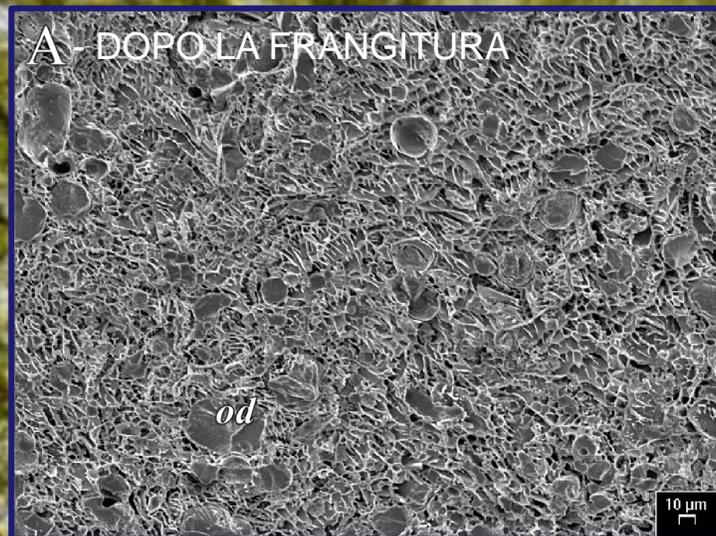
L'effetto del vuoto sulle polpe oleose di frutta



L'effetto del vuoto sulla pasta di olive - Coalescenza

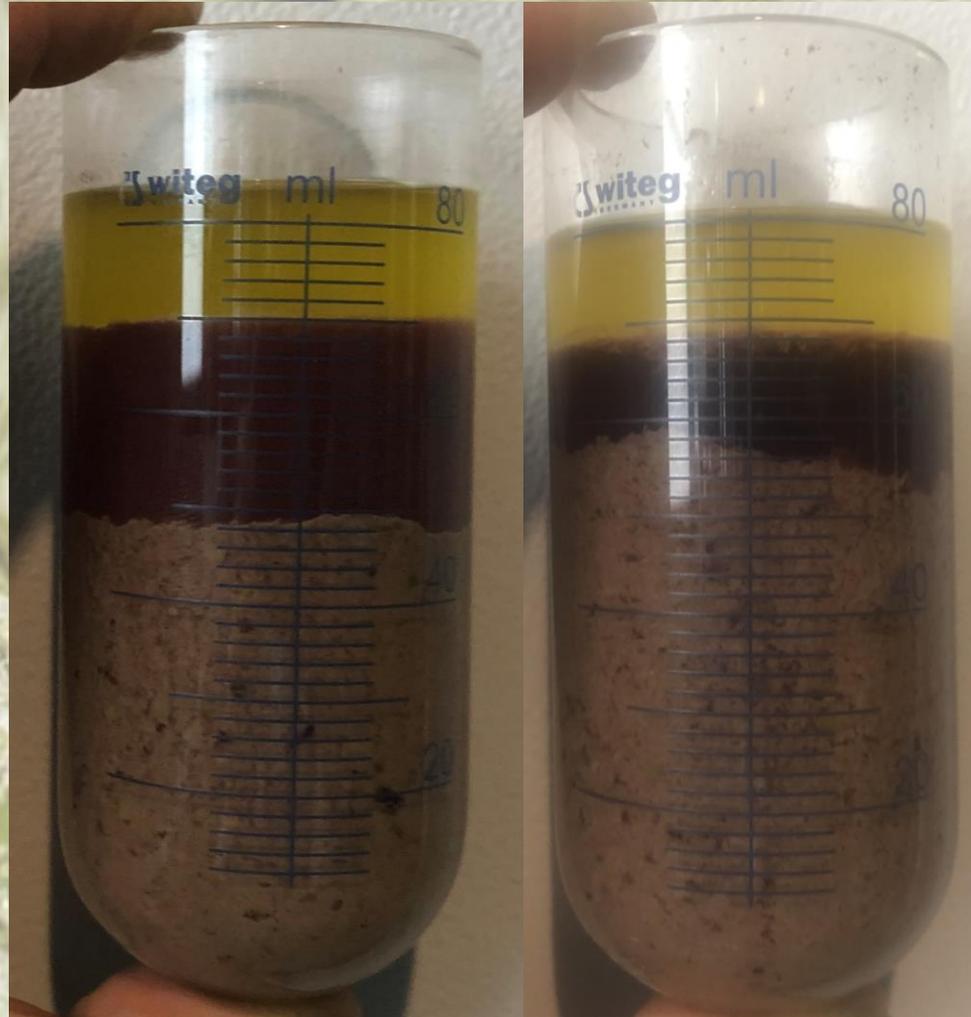
Studio al microscopio elettronico (cryo-scanning) di pasta di olive di CV Moraiolo processata a 25°C; *od*, gocce di olio.

Taticchi *et al.*, 2021. *Food Chemistry*



L'effetto del vuoto sulla pasta di olive - Separazione

Pasta di olive denocciolata e **trattata con Olive Oil Booster** per 45' e centrifugata con centrifuga a provette



Pasta di olive denocciolata e **gramolata** per 45' e centrifugata con centrifuga a provette

Effetti del vuoto sul processo estrattivo

- Olive Oil Booster



REOLOGIA E RESA

- Migliora **porosità e capillarità** della pasta;
- **Aumenta il flusso e la mobilità della fase oleosa** nello spazio cellulare e intracellulare;
- **Aumenta la coalescenza** e la produzione di “olio libero”;

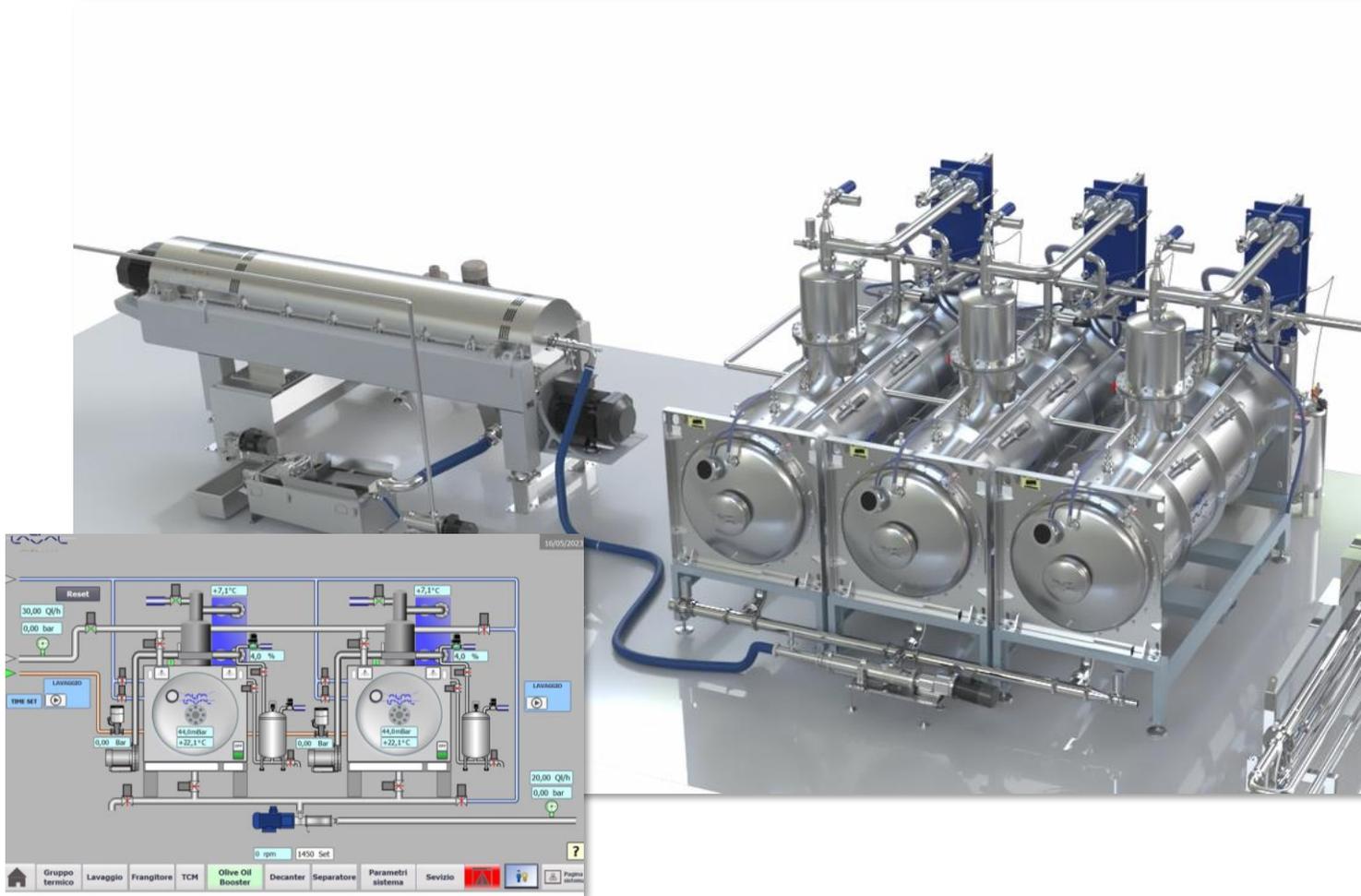
QUALITA'

- Maggiore **flusso oleoso** con miglior rilascio **della frazione fenolica** nell'olio
- **Disareazione** della pasta **inibisce gli enzimi ossidativi** e la degradazione fenolica
- Mantenere P/T evita l'evaporazione e **preserva i composti volatili** in ambiente totalmente ermetico.

SOSTENIBILITA'

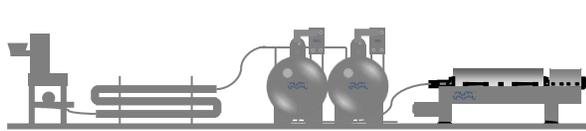
- **Incremento della capacità** di lavorazione del Decanter;
- **Riduzione dei consumi di acqua** di diluizione nel caso di lavorazioni a tre fasi;
- Un minore contenuto di impurezze nell'olio ottenuto dal Decanter **migliora le prestazioni della centrifuga verticale** in termini di chiarifica e intervalli di pulizia

Olive Oil Booster: gestione semplice ed automatica

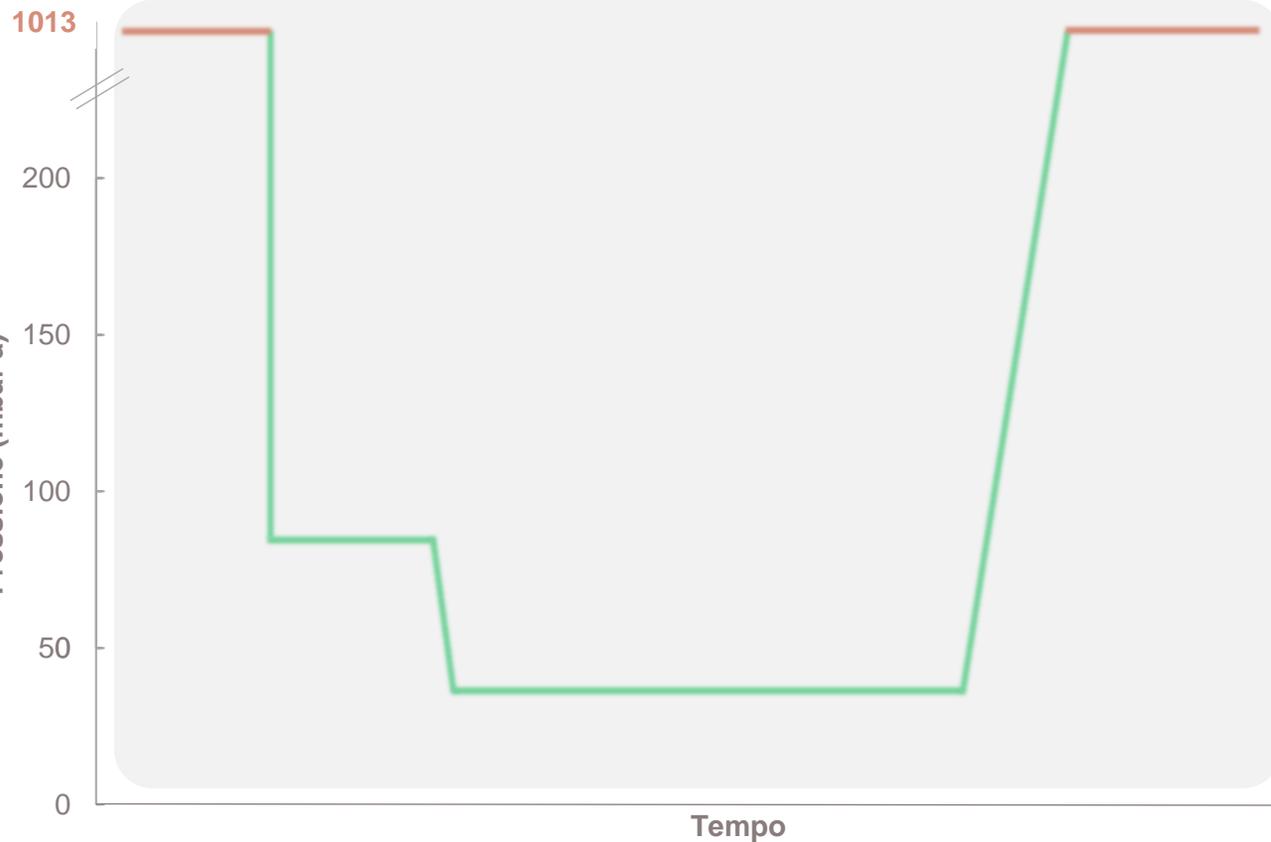


- Moduli preassemblati con **pompa del vuoto e condensatore**;
- Gestione automatica dei parametri operativi:
 - Tempo;
 - **Rapporto pressione/temperatura**;
- Assistenza da remoto

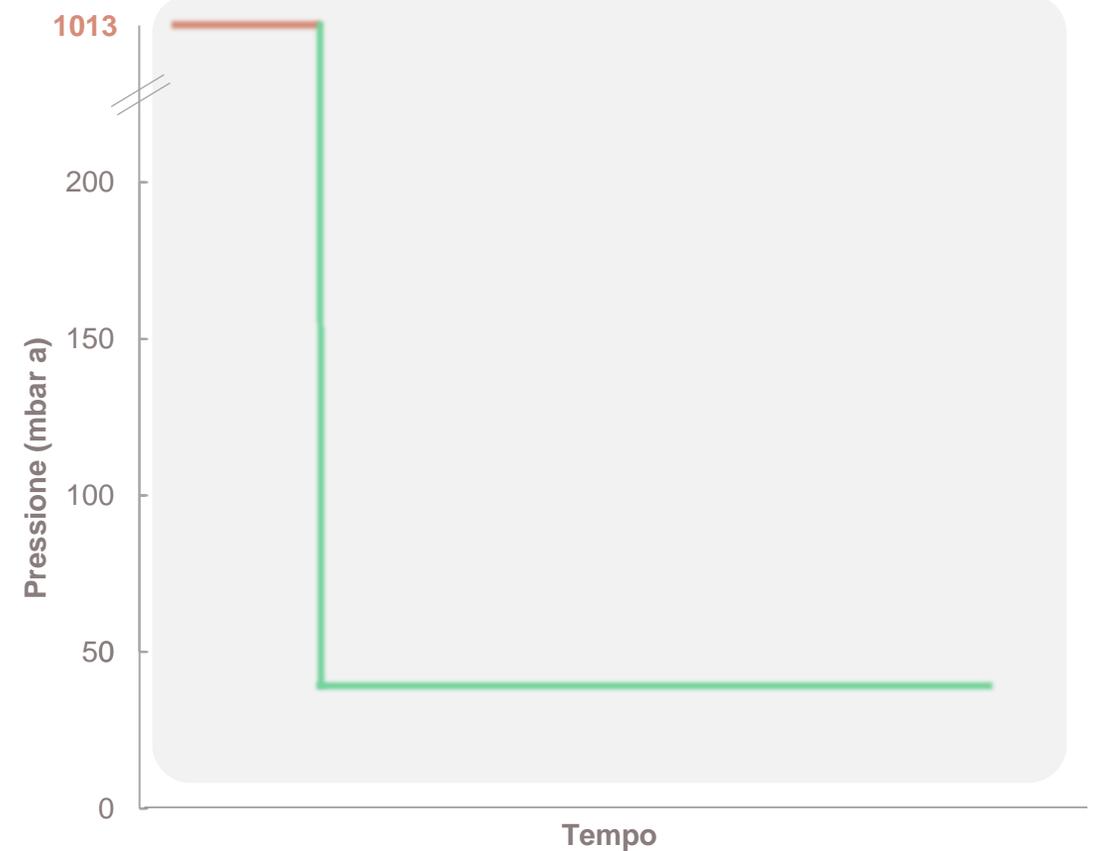
Metodo di lavorazione e configurazioni



Frangitura ViscoLine™ Carico Gramolazione Olive Oil Booster Scarico



Frangitura ViscoLine™ Carico/Gramolazione Olive Oil Booster/Scarico



Le installazioni



Le installazioni



Sustain the growth of the Olive Oil Business



Olive Oil Booster



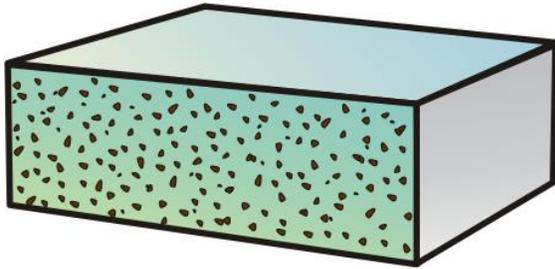
Per approfondire

- **Taticchi et al., 2021.** High vacuum-assisted extraction affects virgin olive oil quality: Impact on phenolic and volatile compounds. [Food Chemistry](#), 342: 128369
 - **Veneziani et al., 2022.** High vacuum applied during malaxation in oil industrial plant: Influence on virgin olive oil extractability and quality. [Innovative Food Science and Emerging Technologies](#), 79: 103036.
 - **Veneziani et al., 2022.** High vacuum technology applied to mechanical extraction process of virgin olive oil. [Congresso SSSG 2022](#) “Oli e grassi alimentari: innovazione e sostenibilità nella produzione e nel controllo”. Perugia 15-17 giugno.
-
- **Costagli G., Covarelli F., 2022.** Il frantoio del futuro – la tecnologia Alfa Laval Olive Oil Booster e le nuove sfide di sostenibilità. [Alfa Laval Webinar](#), 2022
 - **Costagli G., 2021.** L’alto vuoto entra in frantoio, con buone notizie per la redditività degli impianti oleari. [TN](#) 16.04.2021
 - **Costagli G., 2023.** La gramolazione in alto vuoto conferma le aspettative e si proietta nel futuro sostenibile del frantoio. [TN](#) 21.04.2023
 - **Jareño N., 2023.** El Olive Oil Booster protagoniza Folive 2023. [Almazaras](#) IA31: 32-36.



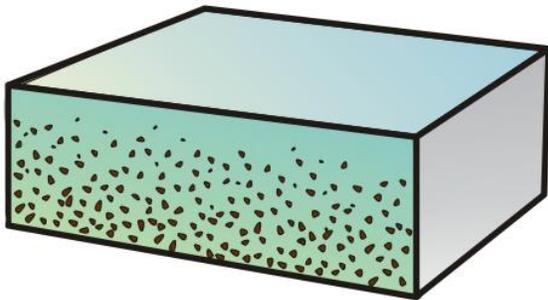
Basi teoriche della separazione

La separazione per gravità

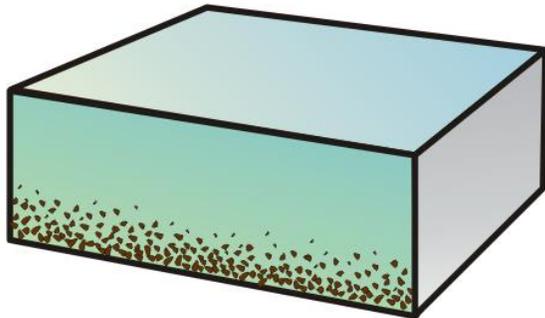


- Contenitore riempito di un liquido con all'interno particelle solide.
- La densità (ρ) delle particelle solide è maggiore della densità del liquido

$$\rho_{\text{particelle}} > \rho_{\text{liquido}}$$

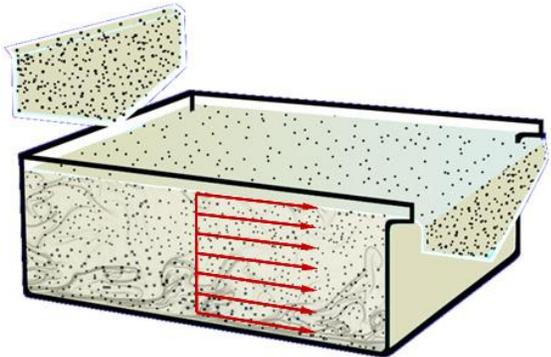
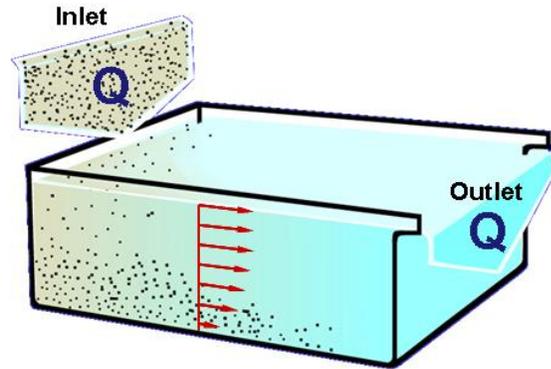


- Le particelle (solido) più pesanti, sottoposte alla forza di gravità, iniziano la loro sedimentazione verso il fondo del recipiente.



- Le particelle (solido) più leggere impiegano più tempo per sedimentare.
- Maggiore è il tempo per la sedimentazione e migliore è la separazione

Flusso laminare e turbolento

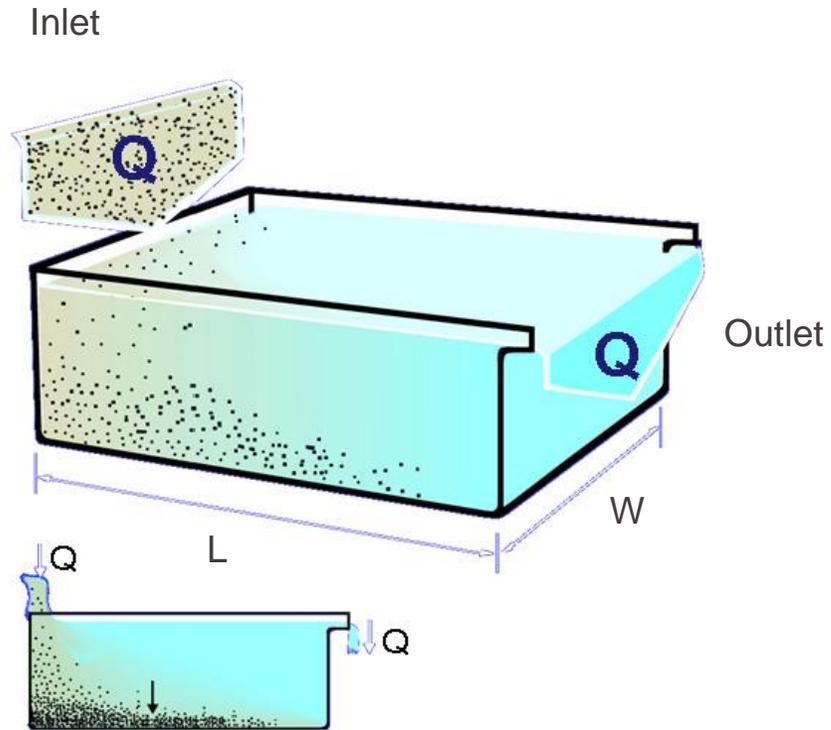


- Immaginatoci adesso un contenitore con flusso continuo nel quale si alimenta da un lato e si recupera dal lato opposto per stramazzo. Q = portata del flusso;
- Con Q moderato, la velocità del flusso andrà diminuendo all'aumentare della profondità del contenitore;
- Tale flusso è conosciuto come "flusso laminare".

- Con Q elevato, la velocità del flusso sarà uguale per l'intero fluido su tutta la superficie;
- Tale flusso è conosciuto come "flusso turbolento".

Solamente un flusso laminare consente alle particelle più pesanti di sedimentare. Esiste dunque un limite di flusso per la centrifuga oltre il quale non si mantiene il flusso laminare e dunque non si ha separazione.

Capacità di flusso di un serbatoio continuo



- Se chiamiamo con Q_c il flusso limite al quale si ha una separazione ottimale, possiamo formulare la seguente equazione sulla capacità di flusso:

$$Q_c = V_g A$$

- La capacità di flusso di un serbatoio continuo di separazione per gravità è proporzionale alla velocità di sedimentazione (V_g) e all'area del contenitore (A).

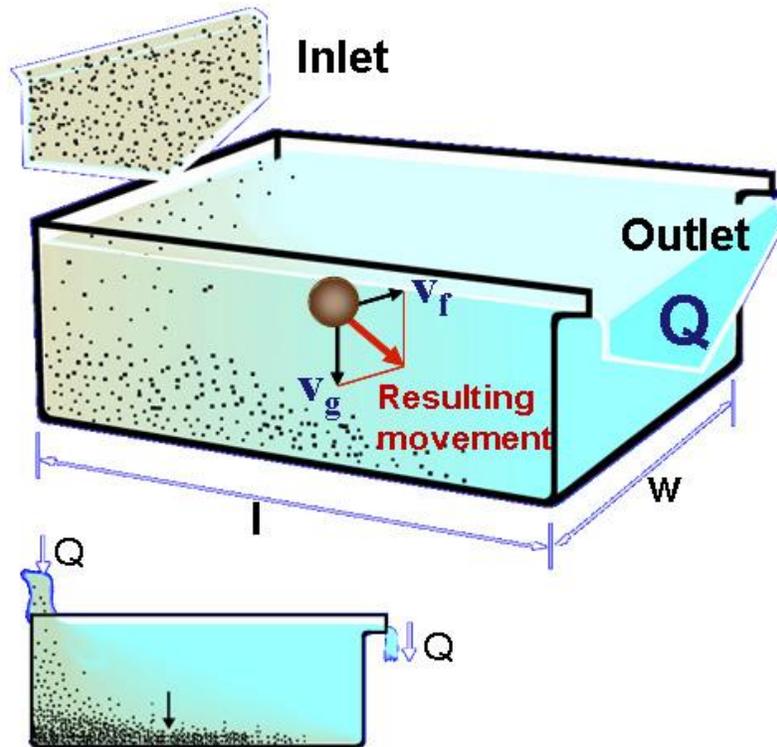
$$Q_c = V_g A$$

Q_c = portata (m^3/s)

V_g = Velocità gravitazionale di sedimentazione

A = Area di sedimentazione ($L \times W$) (m^2)

La velocità di sedimentazione



- Nella formula del Q_c è rappresentata solamente la componente verticale del movimento delle particelle solide;
- Nella realtà la forza che muove le particelle è diagonale e risultante di due forze:
 - La velocità gravitazionale di sedimentazione (V_g);
 - La velocità di flusso (V_f).

Legge di Stokes - Sedimentazione

La velocità gravitazionale di sedimentazione (V_g) decide quanto è rapida una separazione sottoposta a gravità. Ma non è unicamente la gravità che stabilisce la velocità di sedimentazione.

- **Dimensione delle particelle.** Tanto è maggiore la dimensione, tanto più è rapida la sedimentazione;
- **Differenza di densità.** Maggiore è la differenza di densità e più rapida è la sedimentazione;
- **Viscosità.** Misura della resistenza al flusso di un fluido. Influenza fortemente la velocità di sedimentazione.

$$V_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} g$$

V_g = Velocità gravitazionale di sedimentazione (m/s)

d = diametro delle particelle (m)

ρ_p = densità delle particelle (Kg/m³)

ρ_l = densità della fase liquida (Kg/m³)

η = viscosità della fase liquida (cP)

g = accelerazione di gravità (m/s²)

Legge di Stokes - Un esempio pratico



$$V_g = \frac{(8 \cdot 10^{-6} m)^2 (1050 - 1000) Kg/m^3}{18 \cdot 10^{-3} Kg/m/s} \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 1,7 \cdot 10^{-6} = 6 \text{ mm/h}$$

Le **particelle di lievito** precipiteranno nel fondo del contenitore dell'acqua ad una **velocità di 6 mm/h**. La gravità da sola non è molto efficiente!



La centrifuga Decanter per il frantoio

1962 - La rivoluzione tecnologica del frantoio "moderno"



- **1940s** – Sviluppo della Centrifuga Decanter
- **1962** – Primo Frantoio "Moderno" in Italia con Decanter a tre fasi (Brevetto Alfa Laval)

REPUBBLICA ITALIANA
Ministero
dell'Industria e del Commercio
UFFICIO CENTRALE DEI BREVETTI
per Invenzioni, Modelli e Marchi

BREVETTO PER INVENZIONE
INDUSTRIALE 675801

— class

C 11 b

Aktiebalaget Separator a Stoccolma (Svezia)

Data di deposito: 27 settembre 1962

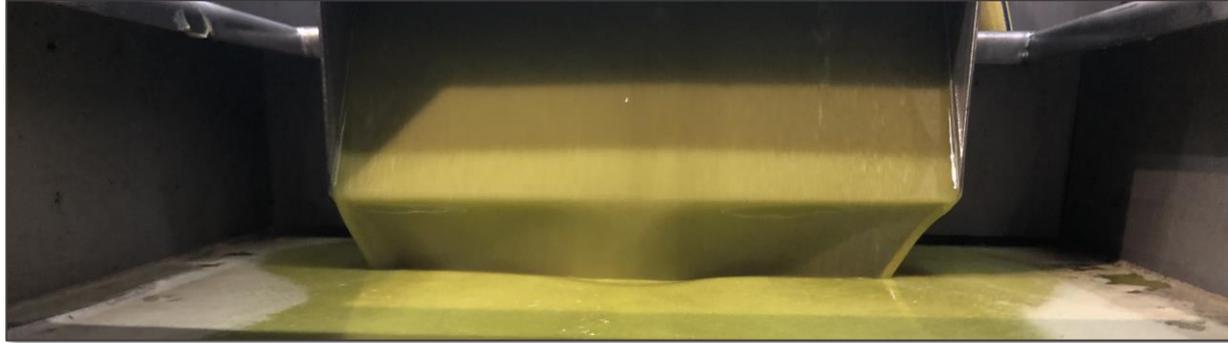
Data di concessione: 20 novembre 1964

Sistema a funzionamento continuo per recuperare olio da una pasta costituita da sostanze vegetali finemente suddivise



Un impianto ALFA-LAVAL «Centriolive» Industriale, installato presso l'Hotelico Gonnelli di Cascia Reggello (Firenze), portata 200/250 q.li nelle 24 ore.

1992 – L'introduzione della tecnologia a due fasi



- **1992** – Introduzione in Spagna del Decanter con tecnologia a due fasi

 **OLIVAR Y ACEITE DE OLIVA**

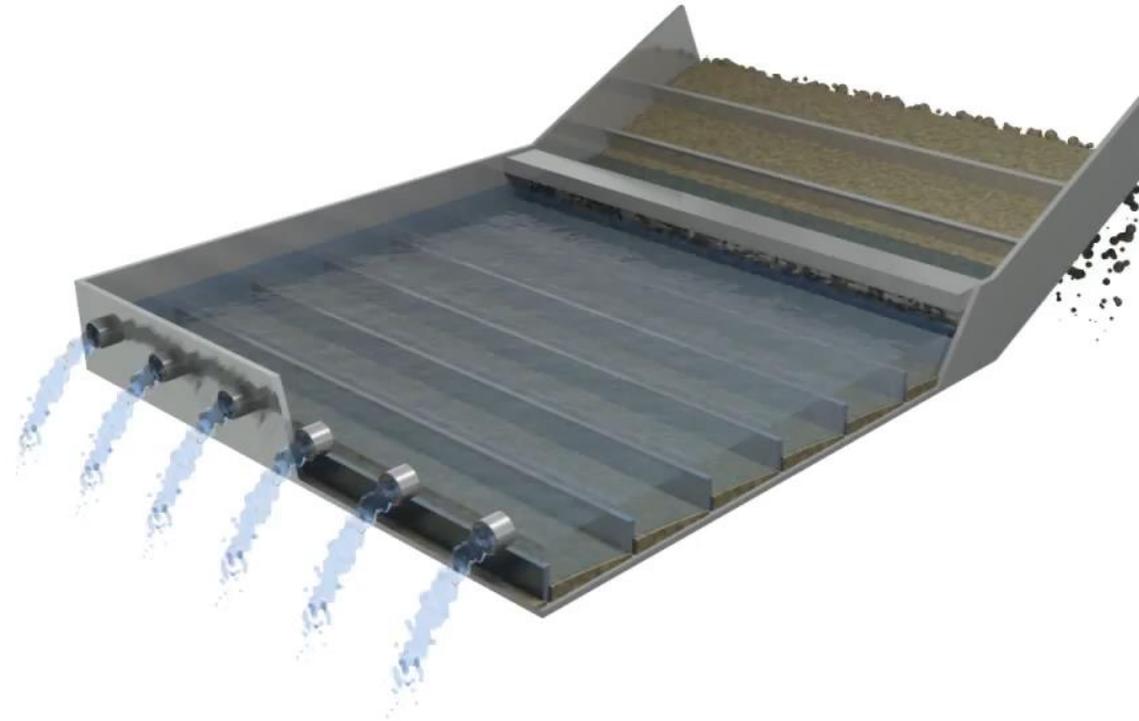
Sigue la revolución técnica
en nuestras almazaras

Extracción de aceite de oliva mediante sistemas continuos de 2 fases

Consideraciones obtenidas en la
campaña 1992/93

Por: M. Hermoso Fernández*, M. Uceda Ojeda*, J. González Delgado* y J. Morales Bernardino**.

Dalla decantazione alla centrifugazione



© 2011 Alfa Laval

Legge di Stokes – Separazione centrifuga

La velocità di separazione (V_s) decide quanto è rapida una separazione sottoposta all'azione ruotante di una centrifuga. Ma non è unicamente la forza centrifuga che stabilisce la velocità di separazione.

- **Dimensione delle particelle.** Tanto è maggiore la dimensione, tanto più è rapida la separazione;
- **Differenza di densità.** Maggiore è la differenza di densità e più rapida è la separazione;
- **Viscosità.** Misura della resistenza al flusso di un fluido. Influenza fortemente la velocità di separazione.

$$V_s = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} r\omega^2$$

V_s = Velocità di separazione (m/s)
 d = diametro delle particelle (m)
 ρ_p = densità delle particelle (Kg/m³)
 ρ_l = densità della fase liquida (Kg/m³)
 η = viscosità della fase liquida (cP)
 ω = velocità angolare del tamburo (rad/s)
 r = raggio del tamburo (m)
 n = velocità del tamburo (rpm)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Legge di Stock – Centrifugazione



$$V_s = \frac{(8 \cdot 10^{-6} m)^2 (1050 - 1000) Kg/m^3}{18 \cdot 10^{-3} Kg/m/s} \times 0,255 \left(\frac{2\pi \cdot 3244}{60} \right)^2 = 18000 \text{ mm/h}$$



Le **particelle di lievito** immerse in acqua e sottoposte alla forza centrifuga di un decanter con un tamburo di diametro 510 mm e che ruota ad una velocità di 3244 rpm, si separano ad una **velocità di 5 mm/s**.

L'importanza della centrifugazione



Separazione per gravità

Forza trainante: $1g$

$$V_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} g$$

$$= 6 \text{ mm/h}$$



Separazione centrifuga

Forza trainante: $r\omega^2$

$$V_s = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} r\omega^2$$

$$= 18000 \text{ mm/h}$$

La separazione centrifuga è 3000 volte più efficiente !!

Parametri di efficienza di una centrifuga Decanter

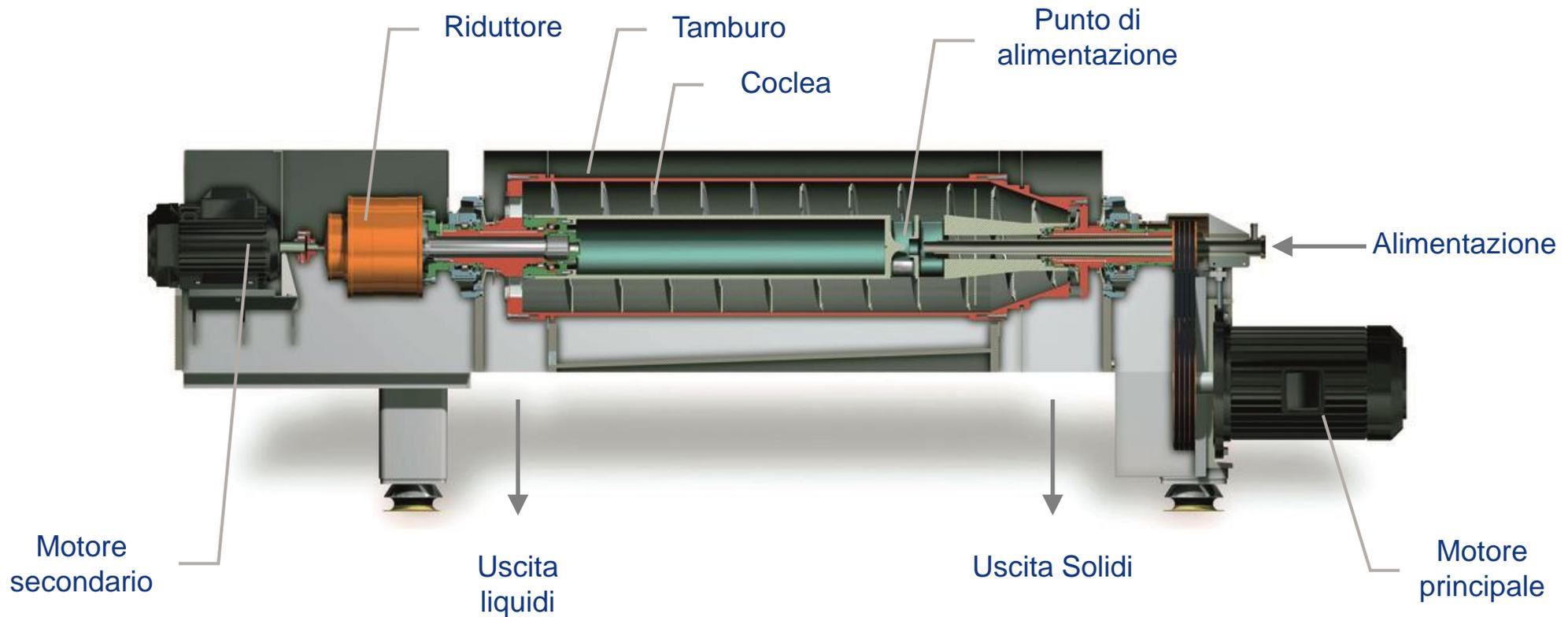
- **Forza G** = Conosciuta come **RCF** (Relative Centrifugal Force). Indica di quante volte la velocità di sedimentazione di una particella è più grande nella separazione centrifuga rispetto alla separazione per decantazione.

$$G = \frac{\omega^2 r}{g}$$

- G è direttamente proporzionale al diametro e alla velocità di rotazione;
- Macchine con G inferiori ad altre non necessariamente sono meno performanti perchè esistono altri parametri da prendere in considerazione come **Area equivalente (A_e)** e **fattore Sigma (Σ)**;
- **I fenomeni idrodinamici** che si determinano in un **Decanter** sono complessi
 - La coclea di trasporto solidi provoca turbolenze e "forza" il liquido a compiere un percorso elicoidale;
 - Subito sotto il pelo libero dei liquidi si formano eventi vorticosi;
 - Il trasporto in continuo dei solidi influenza il processo di sedimentazione;
 - La turbolenza che si genera nella zona di alimentazione, con possibile ri-sospensione dei solidi separati, e la bassa concentrazione di solidi verso la zona di uscita liquidi può far performare meglio un tamburo più lungo, a parità di altri aspetti dimensionali teorici.

La centrifuga Decanter

- Componenti principali



Due e tre fasi. Tecnologie a confronto

Decanter Serie X
Tre fasi a risparmio di acqua



Decanter Serie SIGMA/Y
Due fasi

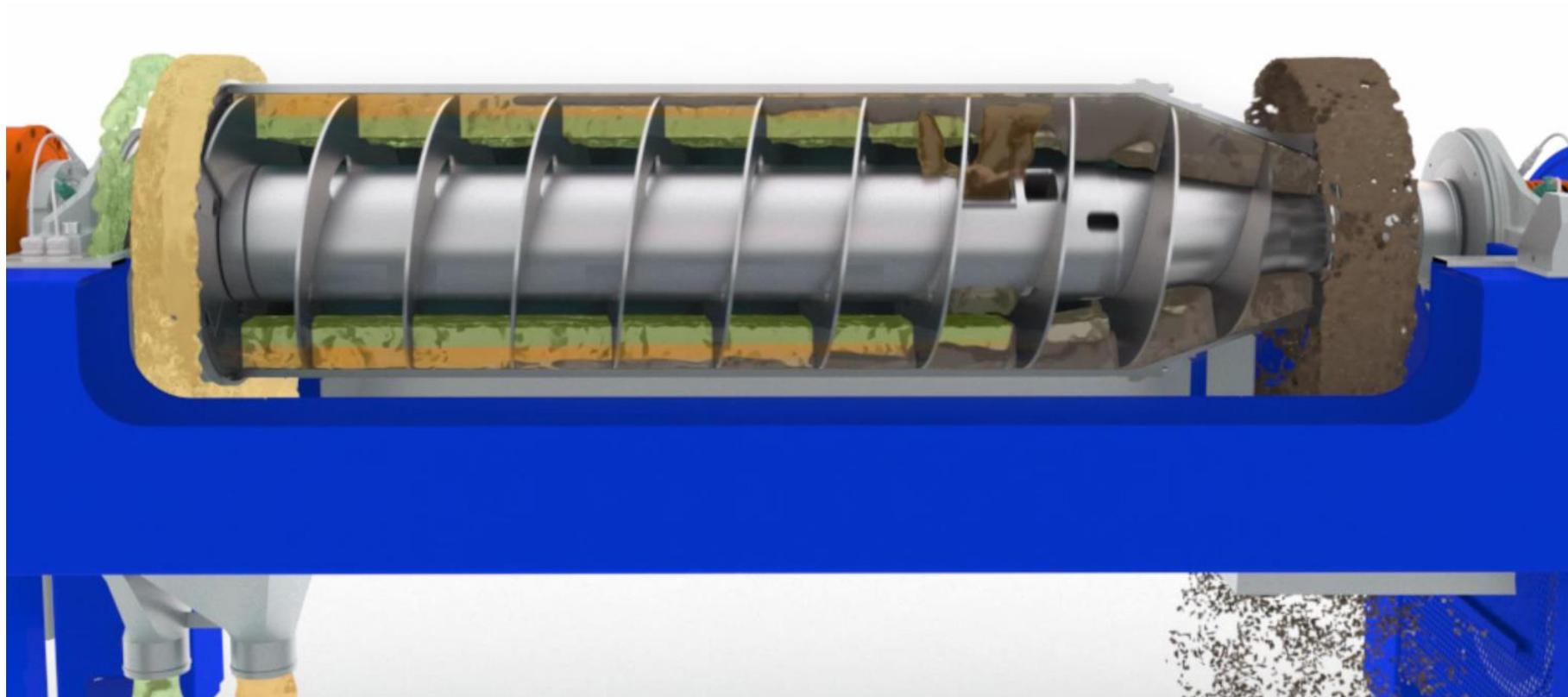


- ❖ La pasta di olive, dopo la gramolazione, viene immessa nella centrifuga vicino alla zona di uscita della fase solida;
- ❖ La forza centrifuga separa le tre fasi per differenza di peso specifico: olio, acqua vegetale e solidi (sansa)

- ❖ La pasta di olive, dopo la gramolazione, viene immessa nella centrifuga vicino alla zona di uscita della fase liquida;
- ❖ La forza centrifuga separa le tre fasi per differenza di peso specifico: olio, acqua vegetale e solidi. Queste ultime escono assieme (sansa umida)

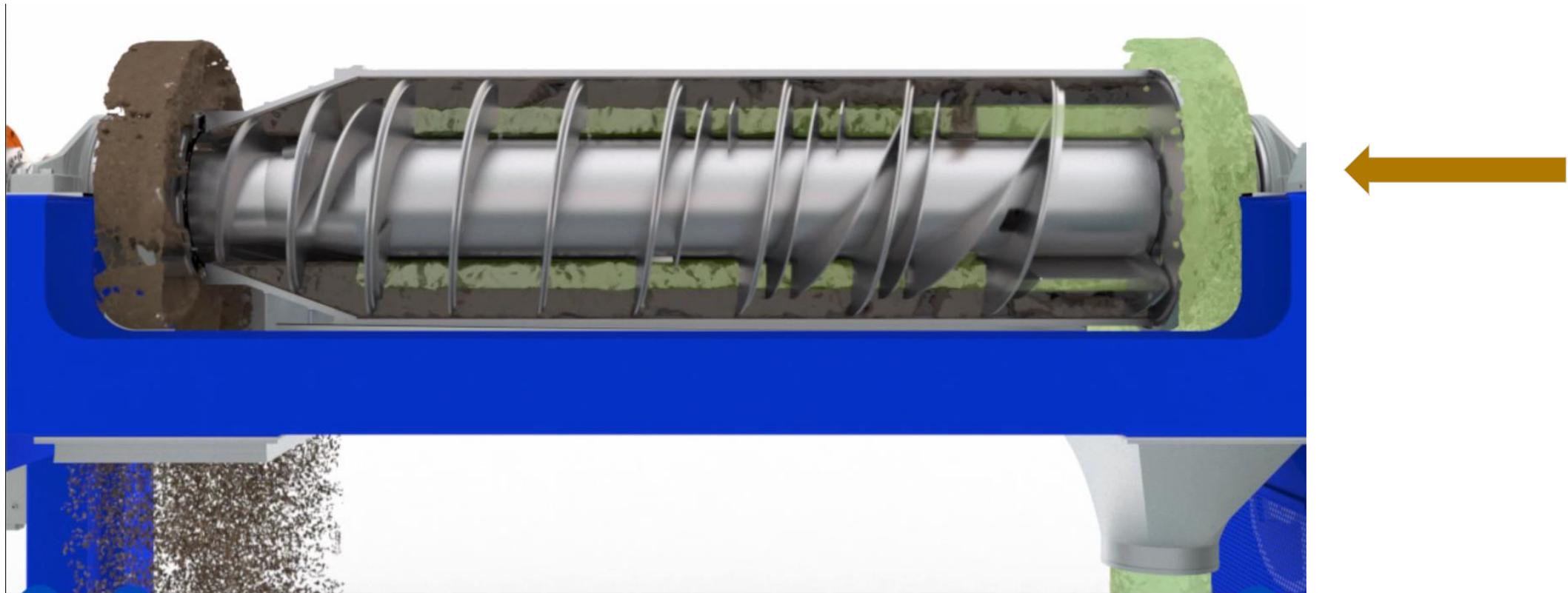
Centrifuga Decanter – tre fasi

- Principi operativi



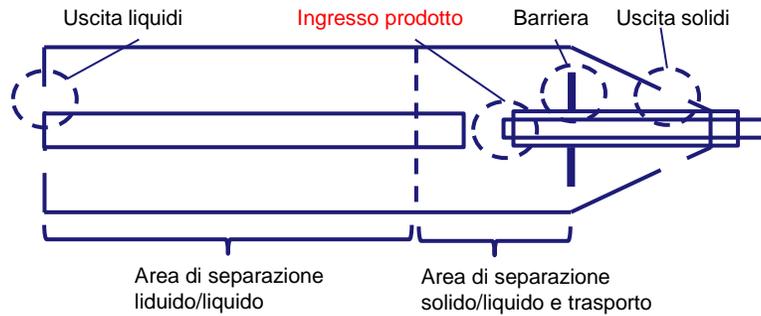
Centrifuga Decanter – due fasi

- Principi operativi



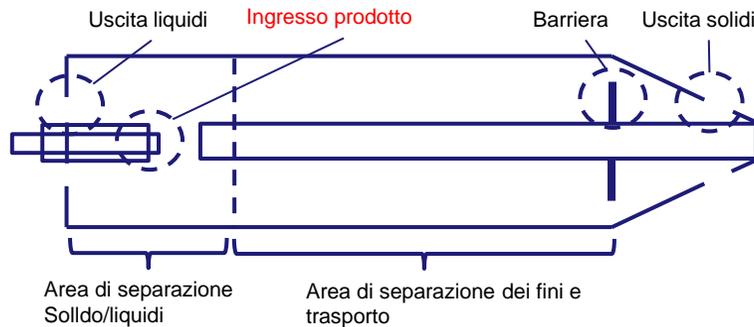
Configurazioni del Decanter

- Tre uscite vs due uscite



SERIE X - Tre uscite (convertibile a due)

- * Coclea «trailing»: stesso senso di rotazione del tamburo e a n. di giri differenti
- * Bassi Δn per avere una fase acquosa fluida e separata



SERIE SIGMA - Due uscite

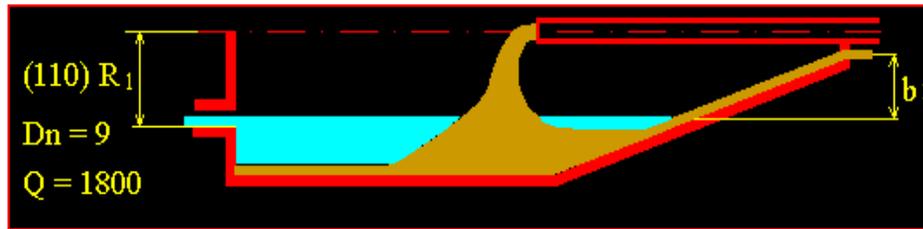
- * Coclea «leading»: senso di rotazione della coclea opposta a quella del tamburo e a n. di giri differenti;
- * Alti Δn per avere una fase acquosa con la sansa;
- * Spirale extra per il convogliamento dell'olio verso l'uscita.



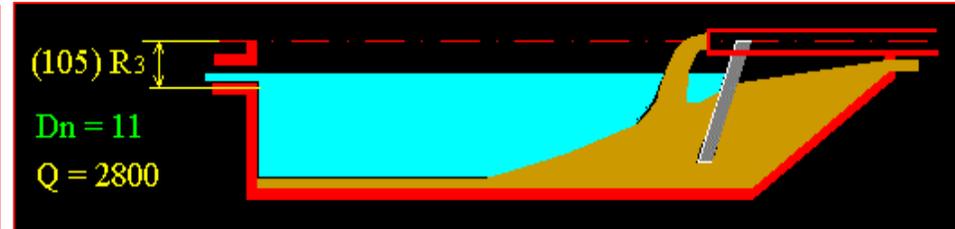
Il Decanter a tre uscite a ridotto impiego di acqua

- Confronto vs Decanter a tre uscite convenzionali

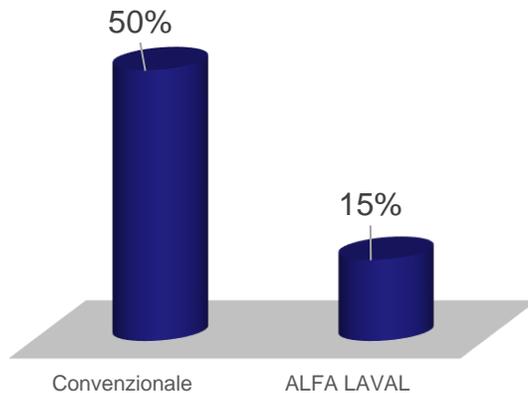
CONVENZIONALE



ALFA LAVAL



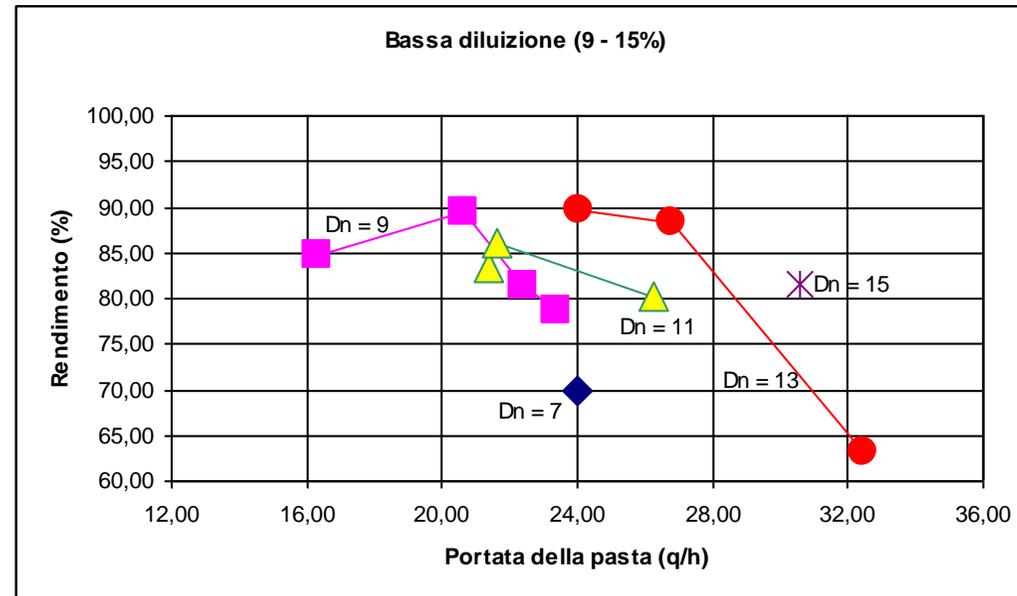
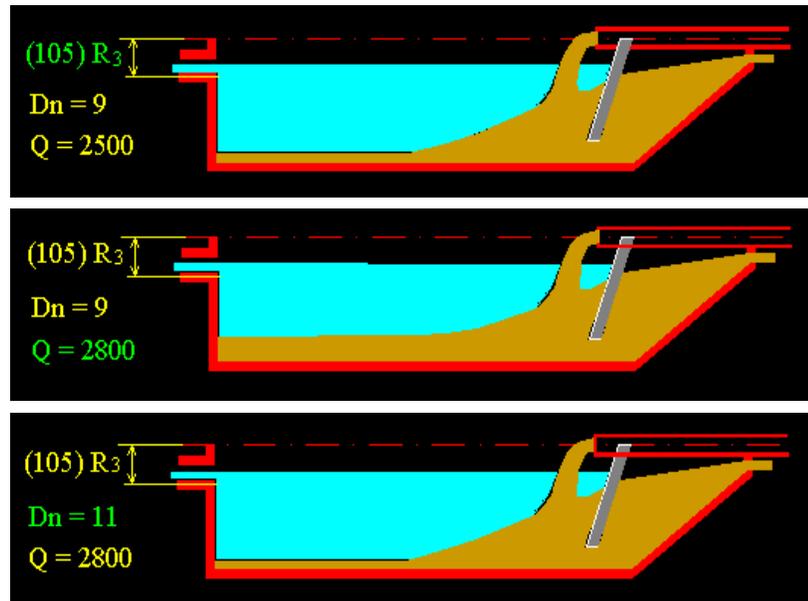
Consumo di acqua del decanter a tre uscite



- ❖ Ampla flessibilità di regolazione;
- ❖ Qualità equivalente a quella ottenuta con la regolazione a due uscite;
- ❖ Riduzione dei costi di consumo e di smaltimento rispetto al tre uscite convenzionale.

L'impiego della Velocità Differenziale (Dn) nella regolazione a tre uscite

- La conduzione del Decanter



- La regolazione della velocità differenziale permette di mantenere la macchina alla massima efficienza (portata oraria, resa, chiarifica e bassa diluizione) al variare delle caratteristiche delle paste di olive;
- Il controllo del funzionamento ottimale si valuta dall'osservazione delle condizioni di uscita dei liquidi sul filtro vibrante (acqua vegetale e mosto oleoso).

L'impiego della Velocità Differenziale (Dn) nella regolazione a due uscite

– La conduzione del Decanter



- La Velocità Differenziale è mantenuta «alta» per convogliare la fase acquosa con la sansa;
- Il controllo del funzionamento ottimale si valuta dall'osservazione delle condizioni di uscita del mosto oleoso sul filtro vibrante

I parametri di regolazione

- Portata oraria (Kg/h)
- Acqua di diluizione (l/h)
- Velocità differenziale Δn (n)
- Livelli uscita liquidi (mm)
- Temperatura della pasta (°C)
- Temperatura dell'acqua (°C)

I parametri di controllo

- Residuo grasso nella sansa (% p.s.)
- Umidità della sansa (%)
- Solidi sospesi nell'acqua* (% v.v.)
- Residuo grasso nell'acqua* (% p.s.)
- Torbidità dell'olio da umidità e impurezze (% v.v.)

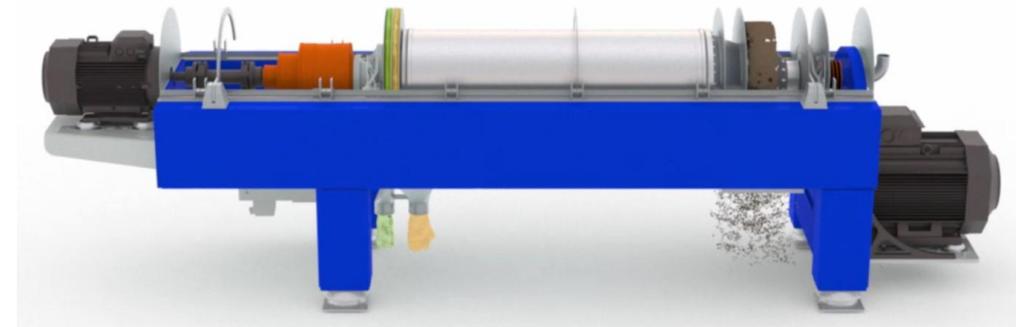
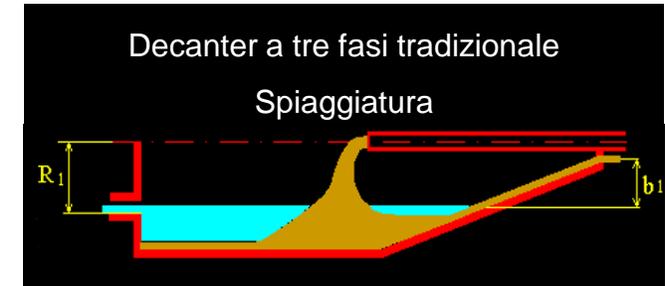
* In caso di regolazione a tre fasi



Decanter a tre fasi Alfa Laval – Serie X



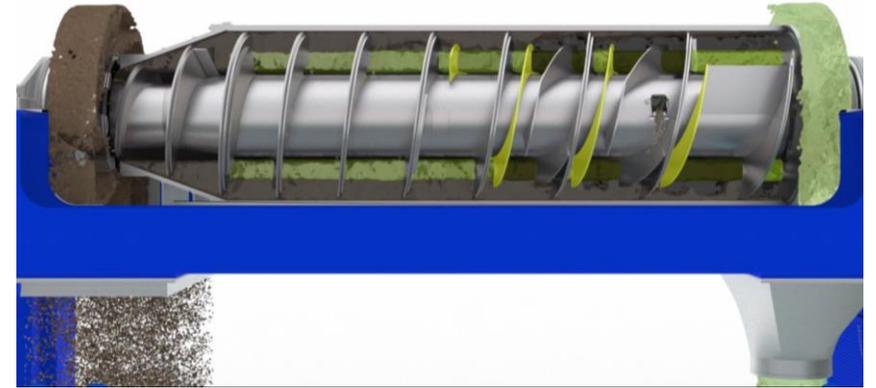
- * Disegno (VDP) con cono corto, barriera solidi e velocità differenziale
 - ❖ Ampia zona separazione liquido-liquido
 - ❖ Ridotto impiego di acqua di diluizione (10-20%)
- * Disegno esclusivo delle uscite liquidi per minimizzare il riscaldamento dell'olio
- * Ridotto consumo energetico con motore secondario controllato da VFD
- * Software automatico per il lavaggio a bassi giri del tamburo
- * Alta resistenza all'usura nella zona di alimentazione e nello scarico dei solidi



Decanter a due fasi Alfa Laval – Serie Sigma/Y



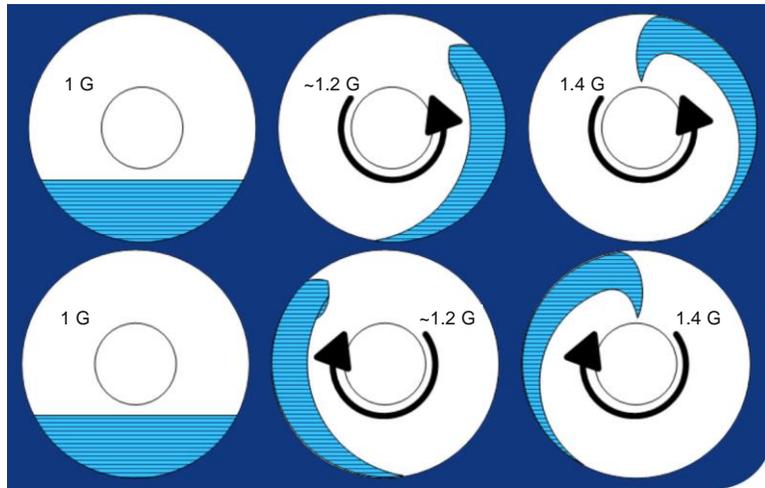
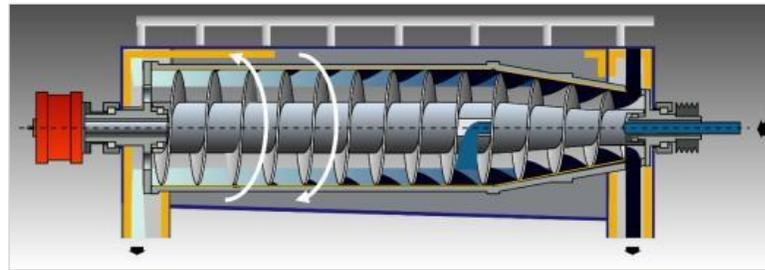
- * Disegno esclusivo della coclea
 - ❖ Canale di convogliamento olio
 - ❖ Extra spirale di allontanamento solidi
- * Zona di alimentazione lontana dallo scarico solidi con alto tempo di residenza
- * Disegno esclusivo delle uscite liquidi per minimizzare il riscaldamento dell'olio
- * Ridotto consumo energetico con motore secondario controllato da VFD
- * Software automatico per il lavaggio a bassi giri del tamburo
- * Alta resistenza all'usura nella zona di alimentazione e nello scarico dei solidi



Cleaning-in-Place – Tutti i Decanter BASIC Alfa Laval



– Lavaggio automatico interno del tamburo e della coclea

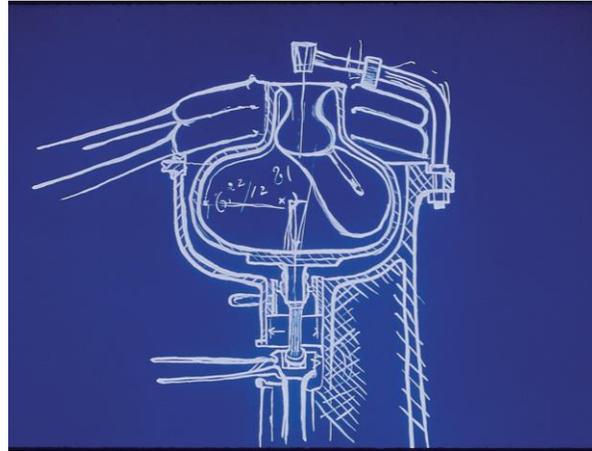
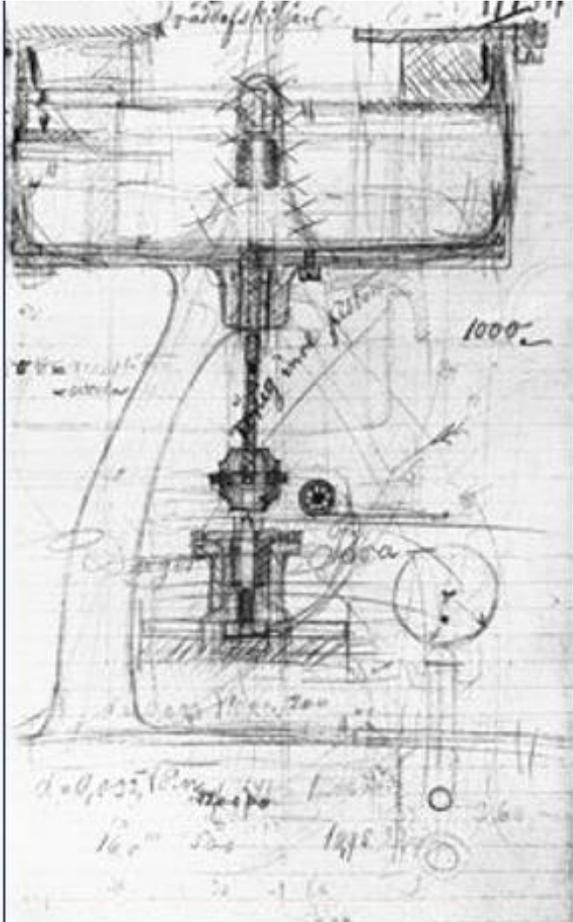


- Sequenza CIP a bassa velocità: il tamburo ruota a velocità molto bassa;
- Il tamburo cambia senso di rotazione frequentemente creando onde di acqua e turbolenze dentro al tamburo;
- La sequenza si ripete più volte;
- La durata e la frequenza è regolabile in funzione delle necessità



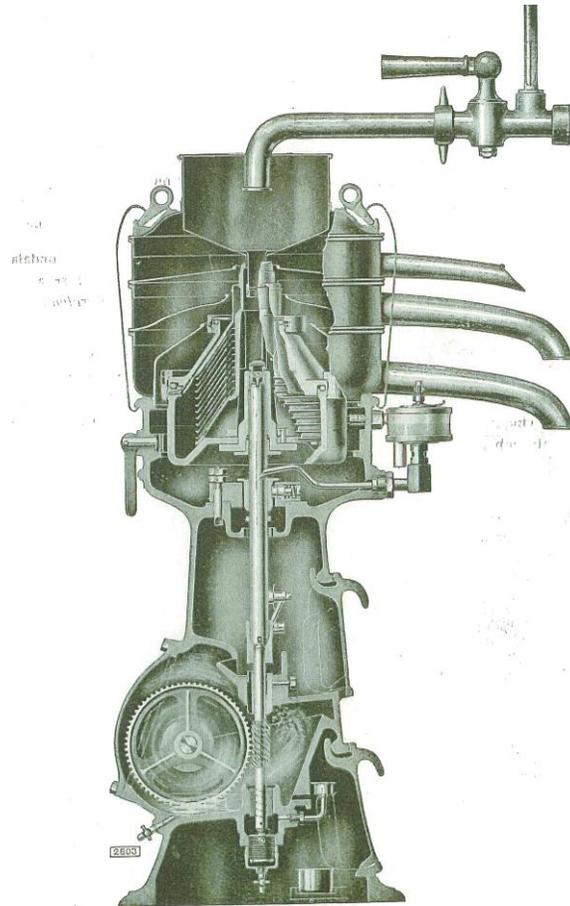
La centrifuga verticale per il frantoio

1878 - L'invenzione della centrifuga



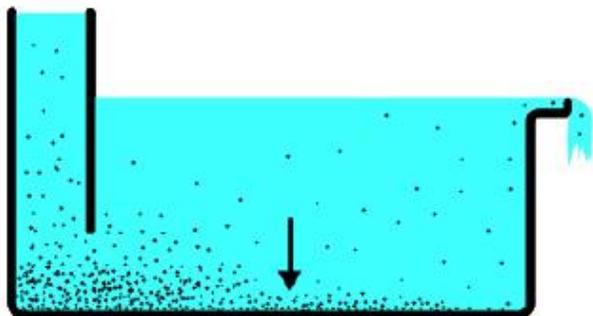
1878 – Gustaf de Laval brevetta la prima scrematrice per il latte basata sulla forza centrifuga. Sulla base di questo e altri 92 brevetti (tra i quali quello della turbina a vapore), nasce e si sviluppa la multinazionale svedese oggi conosciuta come Alfa Laval.

1927 - La centrifugazione entra in frantoio

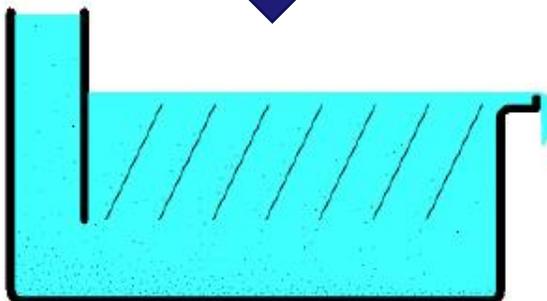


1927 – La prima centrifuga verticale per la pulizia del mosto oleoso proveniente dalla pressa. Il primo lavoro scientifico che valida i benefici della tecnologia fu pubblicato nel 1928 dal Dr Frezzotti, allora direttore dell'Istituto Sperimentale di Olivicoltura ed Oleificio di Spoleto.

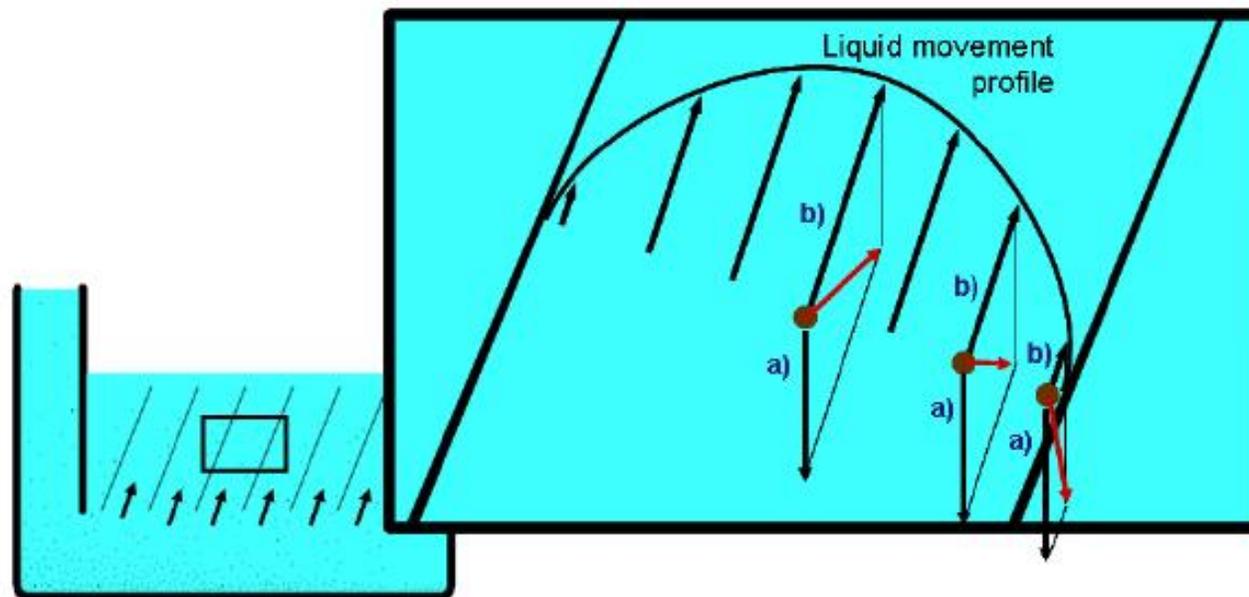
Migliorare la separazione



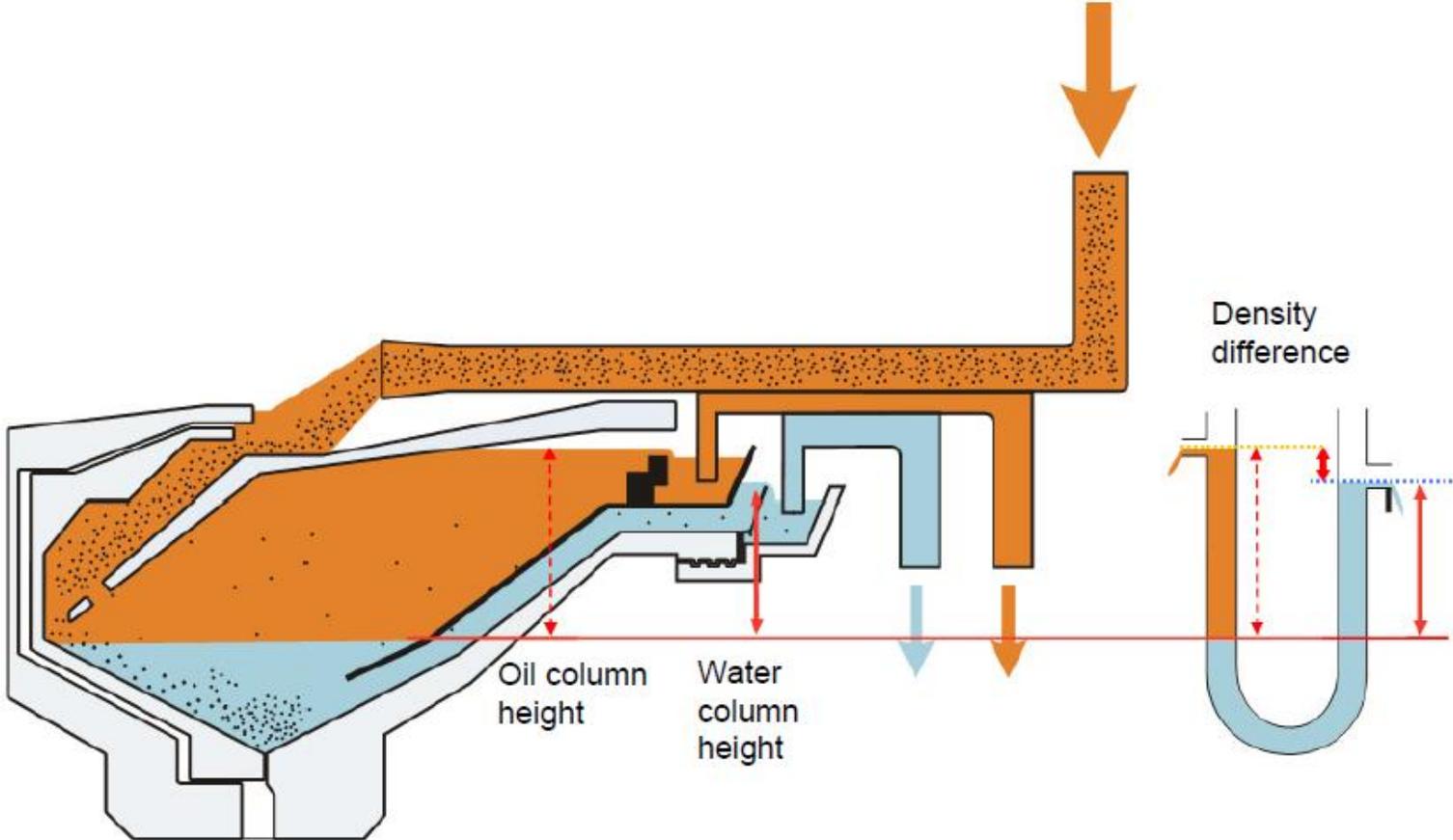
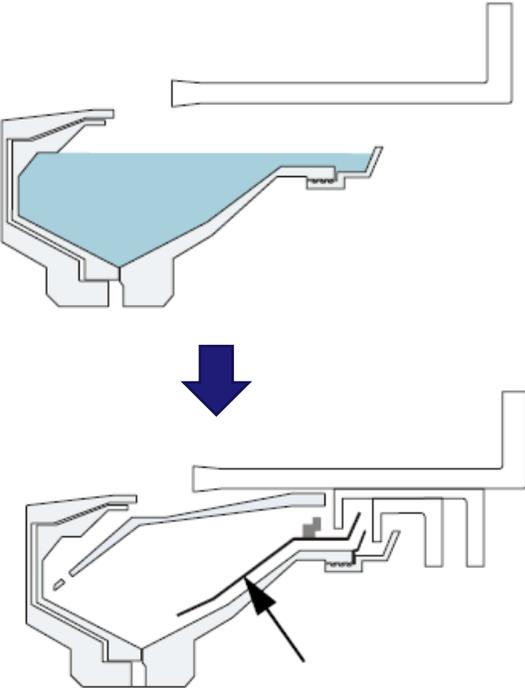
Separazione per gravità in un flusso continuo



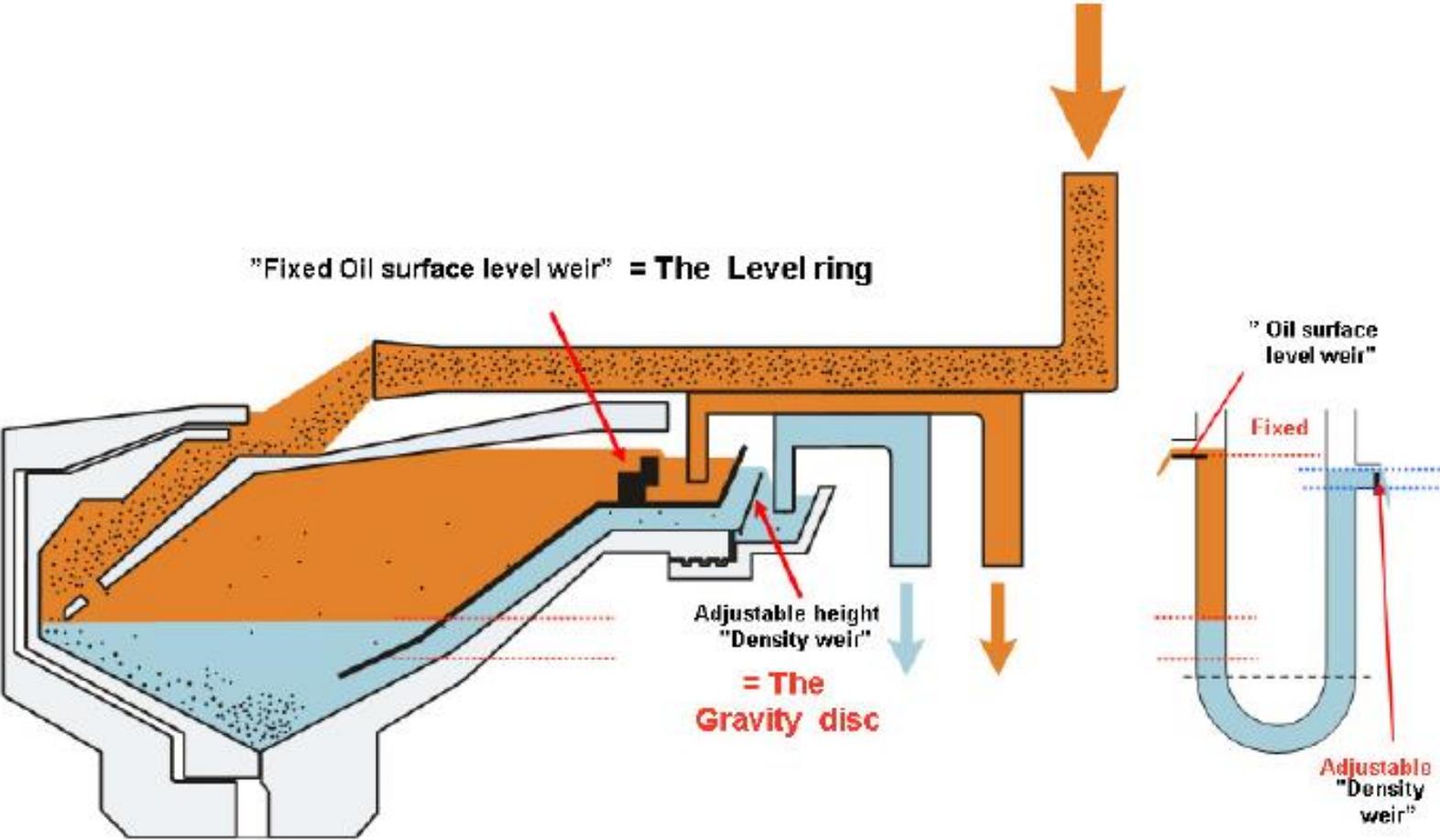
Aumento della superficie di decantazione



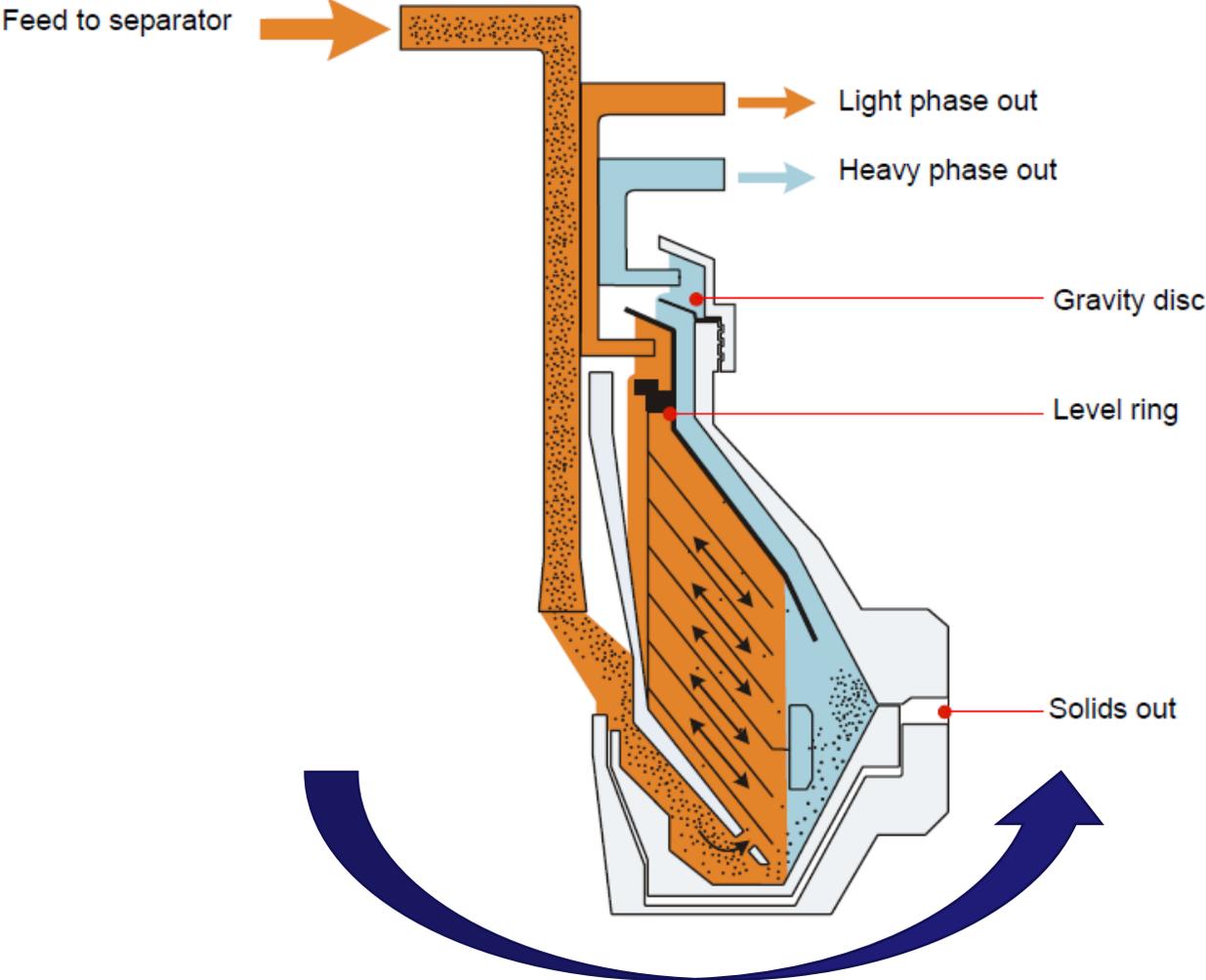
La centrifuga verticale a dischi – Basi teoriche



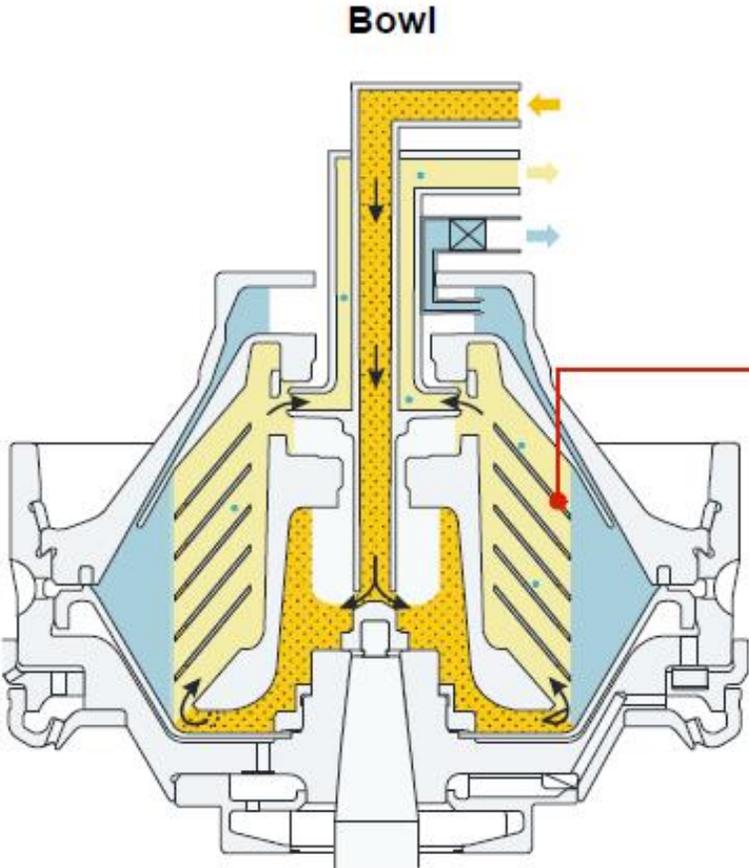
La centrifuga verticale a dischi – Basi teoriche



La centrifuga verticale a dischi – Basi teoriche

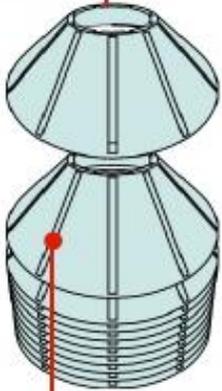


La centrifuga verticale a dischi – Componenti principali

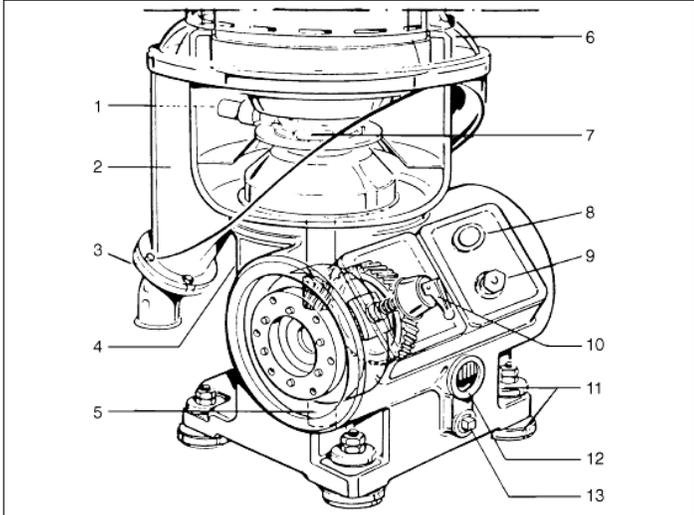
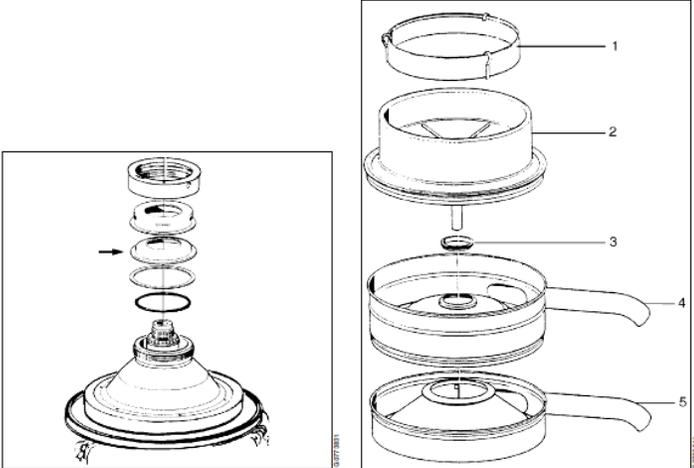


Short settling paths,
large settling area.

Disc-stack



Caulk(s) 0,4-0,8 mm



Chiarifica del mosto oleoso dalle **impurezze**

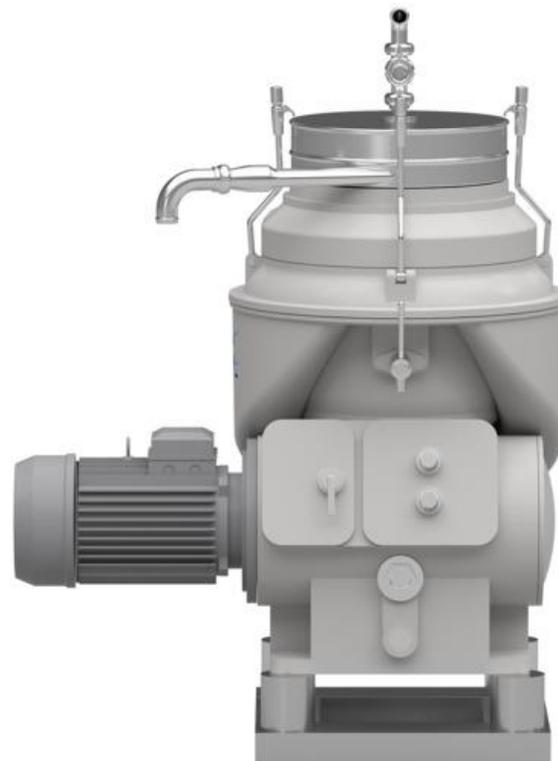
Portata in ingresso

Livello uscita acqua

Acqua di diluizione

Interventi di sparo

Interventi di pulizia



In base a dimensione tamburo



Definizione dell'interfaccia per massima chiarifica



Al 3-5% rispetto alla portata del mosto oleoso con stessa temperatura



Quando la camera fanghi è piena di solidi al 50% e comunque con intervalli non superiori ad 1 ora



Pulizia **periodica** dei dischi di separazione effettuabile manualmente o con unità automatica di lavaggio;



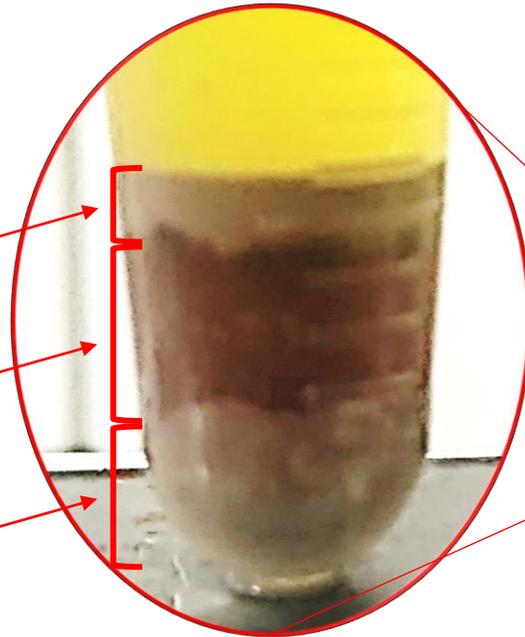
Il mosto oleoso prodotto dal Decanter

Il mosto oleoso prodotto dal decanter contiene **impurezze per circa il 3-5%** con alta variabilità e valori **massimi fino al 15%**;

Solidi sedimentabili "leggeri"

Acqua

Solidi sedimentabili "pesanti"



Uscita mosto oleoso decanter



@4100 rpm 10'

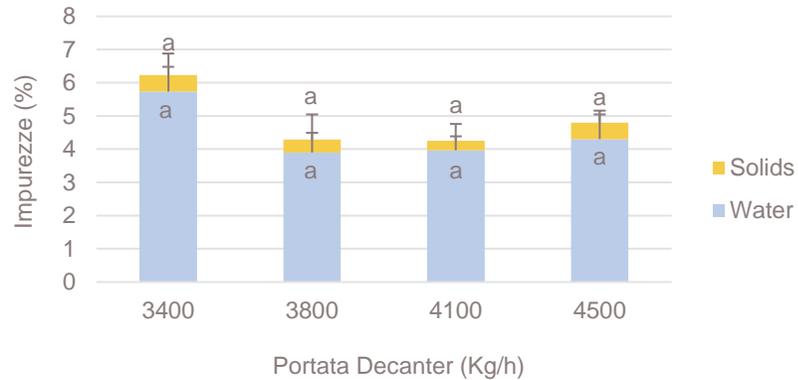


La centrifuga verticale rimuove **impurezze fino a valori < 0,3%** in condizioni ottimali;

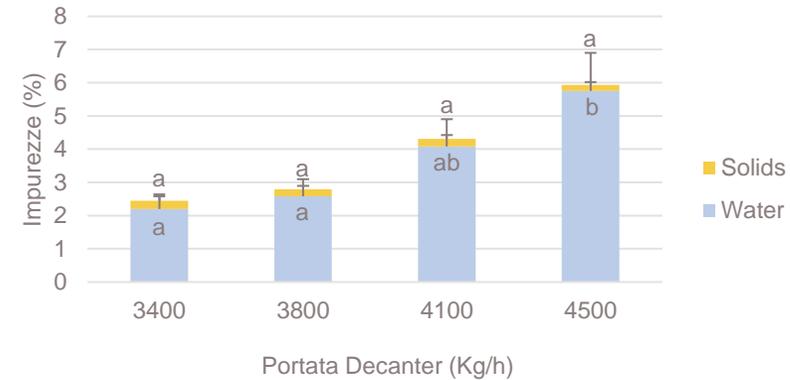
L'effetto di chiarifica della centrifuga verticale

- Esempio da cultivar Arbequina

Mosto oleoso ottenuto dal decanter
8 dicembre

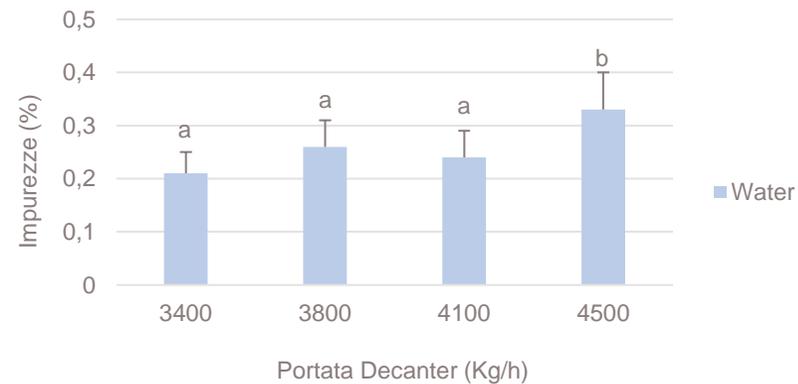


Mosto oleoso ottenuto dal Decanter
15 dicembre

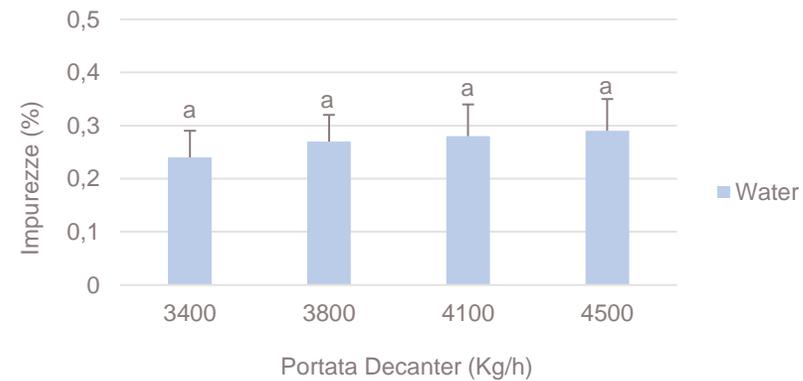


Uscita mosto oleoso Decanter

Olio ottenuto dalla centrifuga verticale
8 dicembre



Olio ottenuto dalla centrifuga verticale
15 dicembre



Uscita olio Centrifuga Verticale

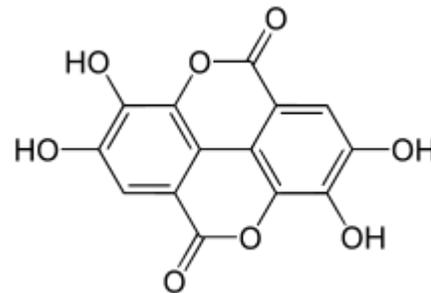
Boudebouz *et al.*, 2021

Da cosa è data la riduzione del contenuto in polifenoli totali nell'olio chiarificato dal separatore rispetto al mosto oleoso del decanter ?

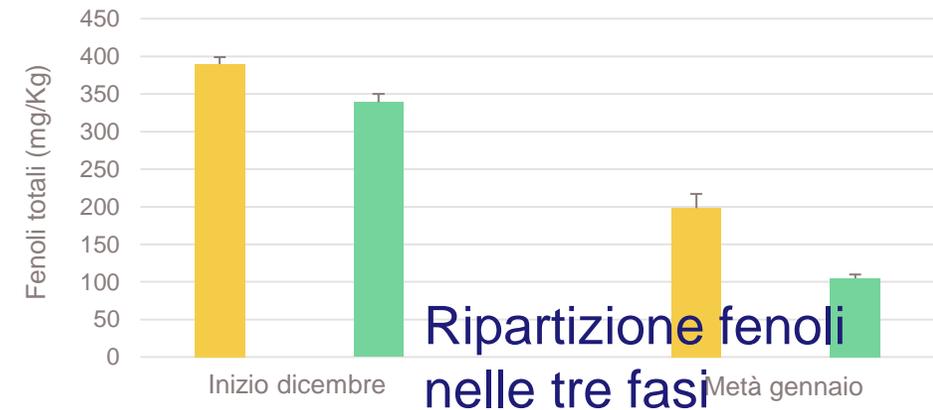
Eccessiva aggiunta acqua di diluizione



Diversità fenolica



Fenoli totali: mosto oleoso vs olio



Ripartizione fenoli nelle tre fasi

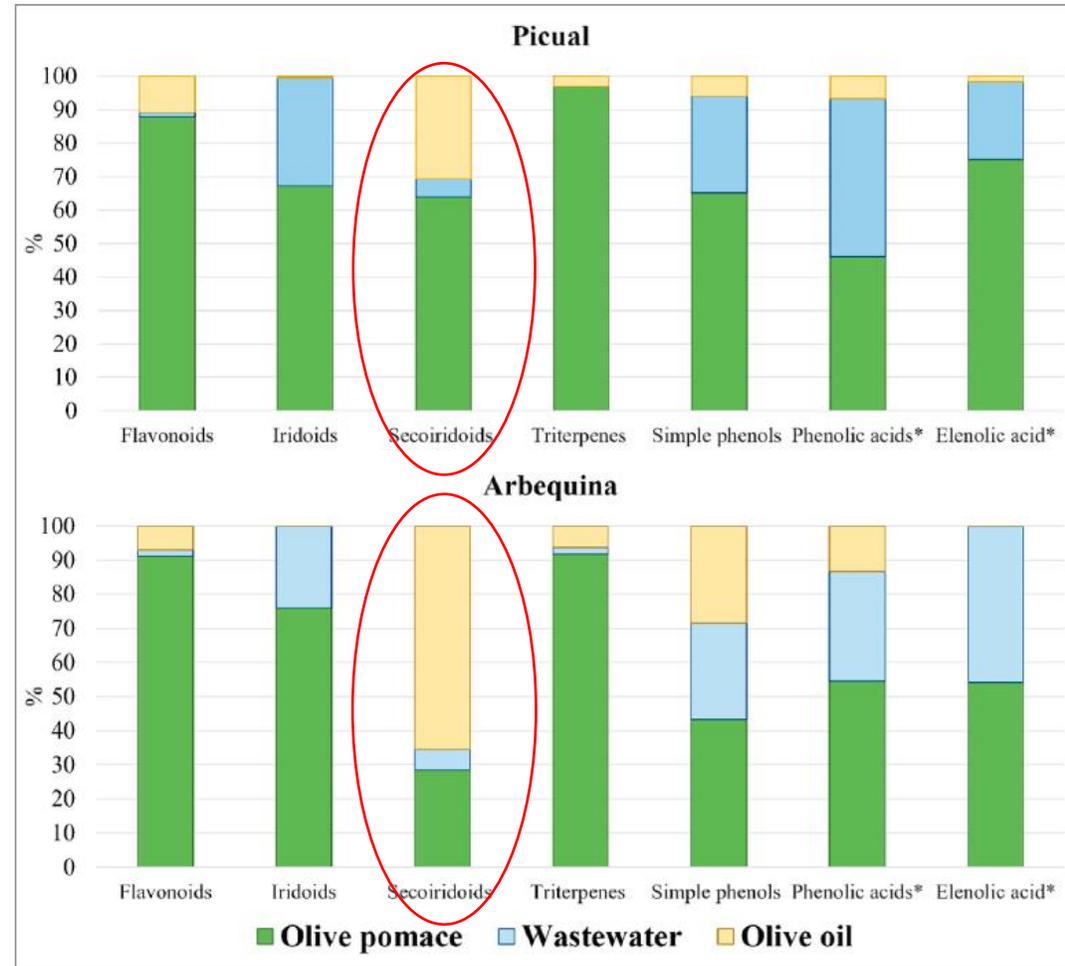
■ Mosto oleoso dal Decanter ■ Olio dalla Centrifuga Verticale*



Il coefficiente di ripartizione dei composti fenolici

Principale ripartizione dei polifenoli in acqua di vegetazione e sansa

Bassa percentuale dei polifenoli che migrano nell'olio

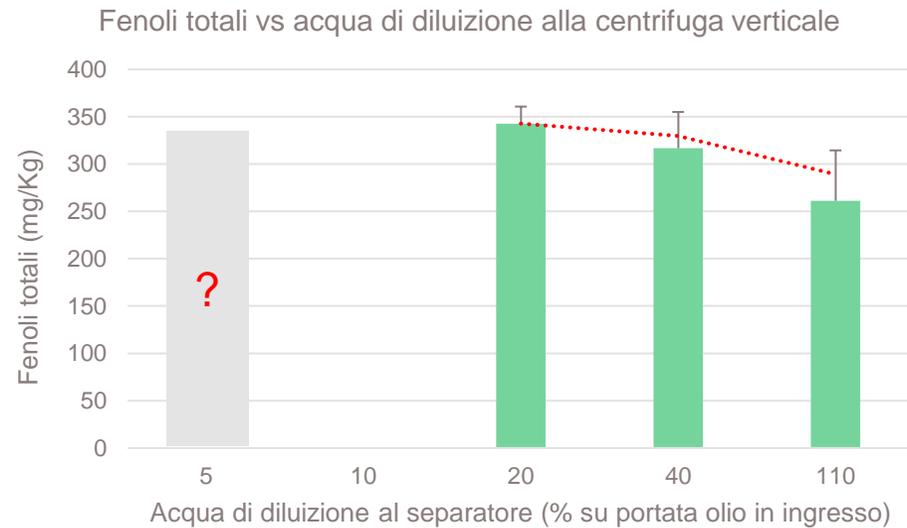


Lo scopo della chiarifica nella centrifuga verticale è quello di **rimuovere solidi e acqua** ed è dunque naturale che venga **rimossa la corrispondente porzione di composti fenolici dal mosto oleoso** che si trasforma in olio.

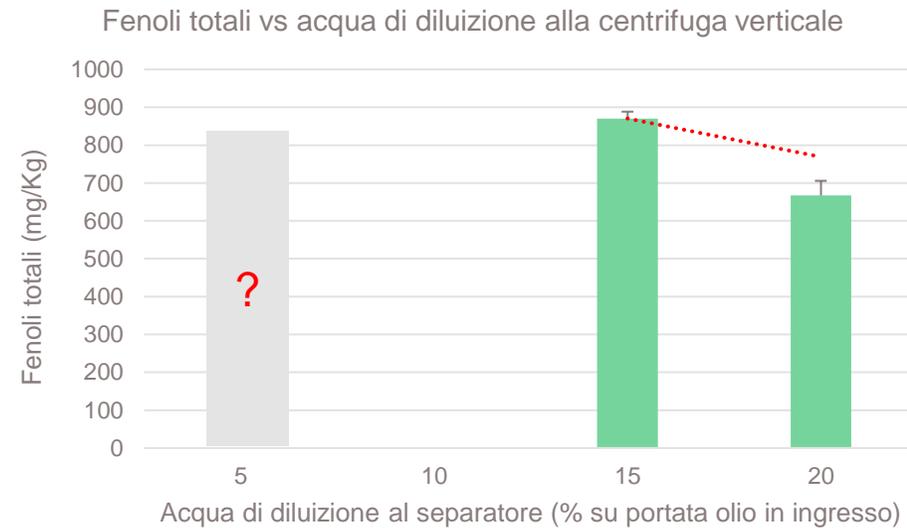
Criado-Navarro *et al.*, 2022

L'importanza della giusta diluizione sul contenuto fenolico

- **Relazione tra la quantità di acqua** impiegata per la diluizione del mosto oleoso alla centrifuga verticale **e il contenuto fenolico nell'olio;**
- Sia nella pratica che nelle ricerche scientifiche, si continua ad utilizzare **quantità di acqua superiori a quelle suggerite dalle case costruttrici.**
- Esistono ricerche che dimostrano come, con quantità di **acqua di diluizione < 10% non si hanno effetti negativi della centrifuga verticale** sul contenuto in composti fenolici nell'olio (Alcalá *et al.*, 2016; Gila *et al.*, 2017)



Zambrano *et al.*, 2021



Redondo-Redondo *et al.*, 2020

L'effetto della centrifugazione verticale sull'ossidazione



- Alcune ricerche scientifiche attribuiscono alla centrifuga verticale la **dissoluzione di ossigeno con conseguenti fenomeni ossidativi sull'olio** prodotto (Masella *et al.*, 2009; Parenti *et al.*, 2012; Guerrini *et al.*, 2016);
- Prove di centrifugazione **in ambiente ermetico dimostrano una riduzione di tali fenomeni** (Masella *et al.*, 2012);
- La centrifuga verticale aperta entra in **contatto con l'olio per pochi secondi** e lavora in un **ambiente aperto** (decanter, pompe di trasferimento, raccolta dell'olio, filtrazione, etc...)
- Tuttavia, tutti i confronti qualitativi, sono effettuati tra mosto oleoso dal decanter e olio chiarificato dalla centrifuga verticale. **Sarebbe più congruo confrontare l'effetto sull'olio chiarificato tra tecnologie alternative;**
- Il maggiore investimento in una **centrifuga ermetica** in frantoio, andrebbe valutato in relazione all'effettivo beneficio sulla qualità dell'olio.

Olio velato stabile. Una alternativa di impiego della centrifuga verticale

- Il trattamento di centrifugazione in “post-produzione”, permette una **stabilizzazione generale dell’EVO velato** (“torbidità leggera”), riducendo la la formazione del deposito nella bottiglia;
- La "torbidità leggera" è dovuta principalmente a **microgocce di acqua** mentre i solidi in sospensione (tracce di elementi vegetali) si riducono al minimo;
- L’evoluzione degli indici di qualità durante la vita utile simulata, dimostra che **non c’è un effetto negativo sulla stabilità ossidativa degli oli velati rispetto a quelli filtrati.**

Veneziani *et al.*, 2018



- **La chiarifica dell'olio mediante centrifuga verticale è un'operazione imprescindibile** in frantoio. Con un mosto oleoso con contenuto di impurezze variabili, si ottiene un olio chiarificato, filtrabile e conservabile;
- **L'efficienza di separazione** deve prendere in esame il livello uscita acqua, le portate in ingresso, le temperature di processo, gli intervalli di sparo e gli intervalli di pulizia.
- Controllando la portata e la temperatura in ingresso dell'acqua di diluizione non si hanno perdite di **composti fenolici nell'olio** chiarificato con la centrifuga verticale;
- Il contributo all'**ossidazione dell'olio** della centrifuga verticale è limitato. L'introduzione di una centrifuga verticale ermetica andrebbe valutata in un rapporto costi/benefici
- Il passaggio "post-produzione" dell'olio in centrifuga verticale, consente la **produzione di oli velati stabili** con una vita utile equiparabile a quella degli oli filtrati.

Seguici!



Visita il nostro sito web e scopri i nostri prodotti e le nostre iniziative e Webinar
www.alfalaval.it

Visita il nostro canale YouTube e scopri di più sui nostri prodotti e le esperienze dei nostri clienti
<https://www.youtube.com/user/alfalaval>  **YouTube**

Seguici sui social

<https://www.linkedin.com/company/alfa-laval/mycompany/>



<https://www.facebook.com/AlfaLavalAB/>



https://twitter.com/Alfa_Laval?s=20



