UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE, ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI

Report finale per progetto PS-GO 2017 OLIONOSTRUM - biodiversità e innovazione per un olio EVO di qualità

Responsabile Scientifico: Prof. Alessandro Parenti

Team di ricerca: Dr. Piernicola Masella, Dr. Giulia Angeloni, Dr. Lorenzo Guerrini, Dr. Agnese Spadi, Dr. Ferdinando Corti, prof. Enrico Cini, prof. Fabio Baldi

Introduzione

Il progetto Olionostrum è iniziato a gennaio 2019. Parte sostanziale del progetto è l'allestimento di un impianto prototipo per l'estrazione dell'olio extra vergine di oliva, caratterizzato dalla presenza di numerosi e importanti elementi d'innovazione. Nel presente documento è sintetizzato lo stato di avanzamento del progetto in riferimento alla realizzazione dell'impianto, all'implementazione degli elementi prototipali, alla messa in opera e relative prove operative della campagna olearia 2019.

Nel periodo intercorso tra gennaio e dicembre 2019, l'attività ha riguardato sostanzialmente l'ideazione delle soluzioni prototipali, la loro integrazione nell'impianto, la progettazione dell'impianto stesso ed il suo allestimento.

I tempi di realizzazione dell'impianto si sono dimostrati più lunghi rispetto a quanto preventivato, tanto che l'impianto è stato montato ed è risultato operativo solo nella prima a fine Novembre 2019.

Le informazioni raccolte durante la campagna sono comunque state utilizzate nella successiva attività di revisione e progettazione, svolta nei primi mesi del 2020 fino alla stesura del presente documento.

In questo periodo sono quindi stati revisionati/rivisti alcuni degli elementi prototipali, mentre altri sono stati progettati/realizzati per la prima volta.

Il secondo anno di prove è stato ampiamente sfruttato, data sia la stagione favorevole sia la presenza di ogni macchina e di quasi tutti gli elementi prototipali da testare già da metà di Ottobre 2020.

Quindi, nei mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre 2020 sono stati testati almeno da un punto di vista operativo e di funzionamento impiantistico tutti gli elementi prototipali introdotti nell'impianto di produzione. Inoltre, per alcuni elementi sono state condotte ulteriori prove specifiche, che saranno largamente discusse e argomentate nei paragrafi successivi.

La struttura della relazione è divisa nei due anni di prove operative condotte dal gruppo di ricerca del DAGRI, con degli accenni alle fasi di progettazione e di sviluppo dei prototipi.

Si ritiene utile richiamare brevemente gli elementi prototipali dell'impianto di estrazione, ricordando che il flusso di lavoro del processo di trasformazione delle olive in olio consiste nelle fasi consecutive di:

1. pulizia delle olive (defogliazione e lavaggio);
2. frangitura (rottura delle olive per l'ottenimento di una pasta omogenea);
3. gramolazione (rimescolamento continuo della pasta di olive);
4. estrazione centrifuga (decanter orizzontale)
5. filtrazione.

Per la fase di *pulizia delle olive*, nella proposta progettuale (ultima versione revisionata ed aggiornata) erano stati individuati i seguenti elementi prototipali:

- frantumazione delle foglie, per la riduzione del volume occupato dalle stesse e facilitarne la decomposizione in campo;
- sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua di lavaggio delle olive, per il risparmio dell'acqua (riduzione della frequenza di rinnovo) e per salvaguardare le olive da eventuali contaminazioni biologiche;
- sistema di termostatazione dell'acqua di lavaggio, per regolarne la temperatura e sfruttarla come fluido di scambio termico con le olive.

Per la fase di *frangitura*:

- lavoro a potenza costante grazie a dispositivo di regolazione dell'alimentazione delle olive, funzionante in retroazione sulla base dell'assorbimento di corrente del motore elettrico;
- velocità di rotazione degli organi frangenti variabile e modulabile;
- termostatazione della camera di frangitura, tramite scambiatore di calore integrato;
- scambiatore di calore con alloggiamenti per monitoraggio gas di testa sopra la pasta;
- dispositivo per il dosaggio controllato di ossigeno nella pasta.

Per la fase di *gramolazione* sono stati ideati e progettati i seguenti elementi prototipali:

- sistema di gramolazione in continuo su più elementi singoli e indipendenti di scambio termico/rimescolamento;
- velocità di rimescolamento variabile per ogni elemento;
- alloggiamenti e sensoristica per la caratterizzazione dello spazio di testa sopra la pasta in gramolazione.

Per la fase di *estrazione centrifuga*:

- doppio sistema di pescaggio dell'olio;
- sistema di inertizzazione del tamburo rotante;
- sistema inertizzato/protetto per la raccolta dell'olio in uscita al decanter.

Per la fase di *filtrazione*:

- - pre-filtro in acciaio inox integrato nel filtro a piastre e cartoni filtranti.

Primo anno di prove

Realizzazione ed allestimento dell'impianto prototipo

A fine novembre 2019 è stata ultimata la struttura portante dell'impianto prototipo, volendo indicare con essa l'effettiva realizzazione di tutte le macchine principali necessarie al funzionamento operativo dell'impianto. Una rappresentazione schematica dell'impianto è mostrata in Figura1, dove sono anche indicate le diverse fasi del processo (estratto di un elaborato progettuale).

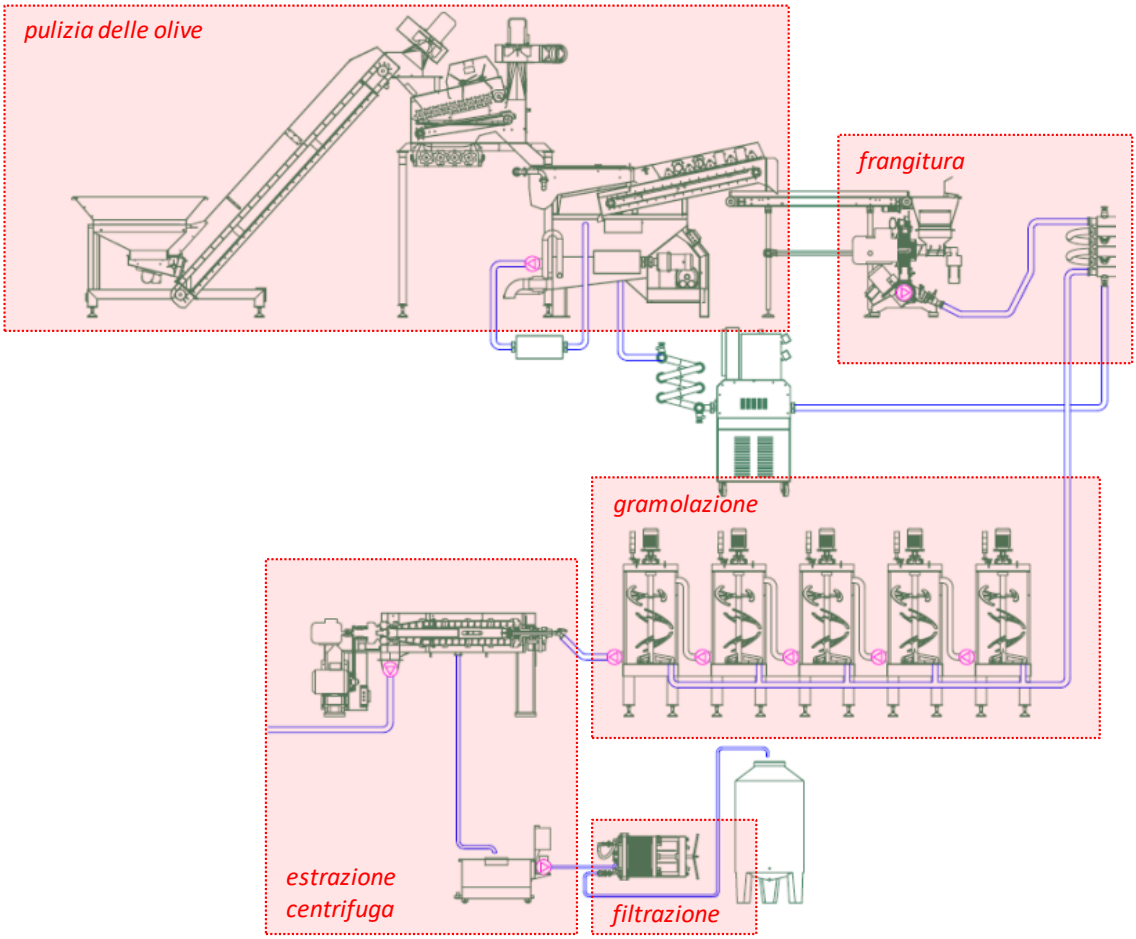


Figura 1. Rappresentazione schematica dell'impianto prototipo (estratto di uno degli elaborati progettuali).

Nella prima decade del mese successivo, dicembre2019, l'impianto risultava allestito ed operativo presso i locali messi a disposizione dai partner di progetto. In Figura 2 sono riportate alcune immagini raccolte durante le fasi di allestimento dell'impianto. In particolare, nelle due immagini in alto è possibile osservare alcuni particolari delle macchine preposte alla defogliazione e lavaggio delle olive. Le due immagini centrali rappresentano l'apparato di gramolazione, inquadrato da due diverse angolazioni. Nell'immagine in basso a

sinistra è possibile vedere la centrifuga orizzontale (decanter) per l'estrazione dell'olio. Infine, l'immagine in basso a destra rappresenta il quadro di controllo dell'impianto montato a pannello.

Figura 2. Alcuni particolari dell'impianto di estrazione.

Per quanto l'allestimento dell'impianto fosse pressoché completo, solo alcuni degli elementi prototipali risultavano effettivamente implementati o utilizzabili.

Di seguito vengono analizzate le diverse fasi, evidenziandone l'effettiva operatività ed il grado di implementazione dei diversi elementi prototipali per la campagna 2019, per poi indicare l'ulteriore stato di sviluppo delle soluzioni prototipali alla data della presente relazione.

Pulizia delle olive

La linea di pulizia, montata e operativa a dicembre 2019 (vedi Figura 3), risultava priva degli elementi prototipali. Mancavano dunque il frantumatore di foglie, il sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua, il sistema di termostatazione dell'acqua.

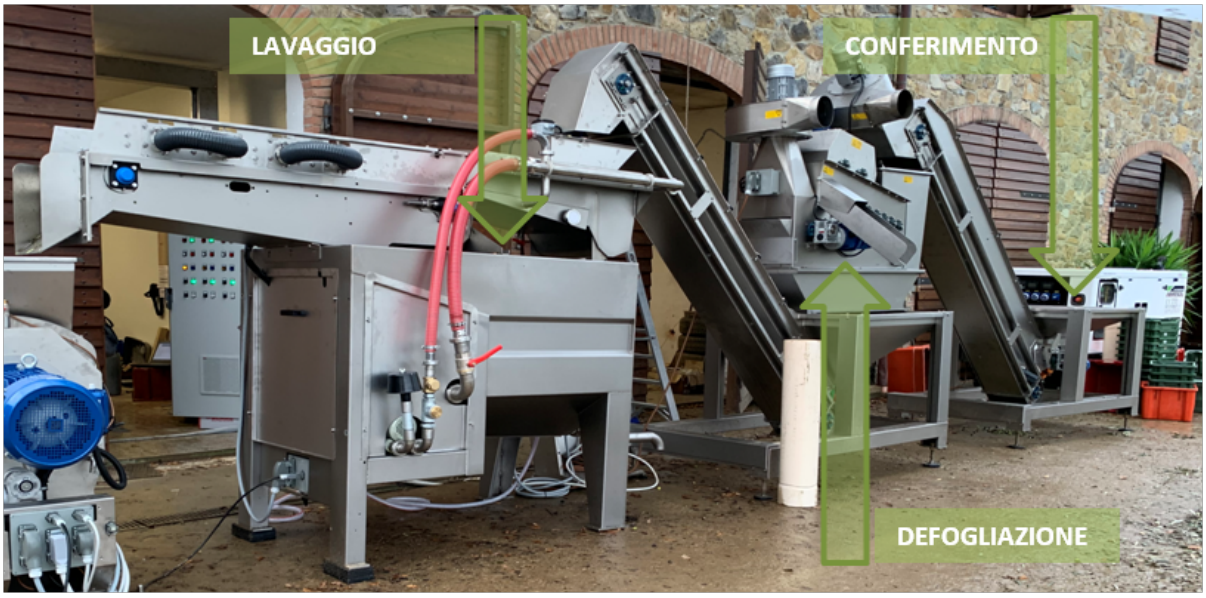


Figura 3. Linea di pulizia delle olive.

Gli stessi elementi sono comunque in una fase avanzata di sviluppo.

In particolare:

- il frantumatore di foglie è ultimato e deve unicamente essere montato a valle della defogliatrice;

- il sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua è stato progettato e le diverse parti sono state reperite sul mercato o realizzate ex novo per l'opportuno assemblaggio; sinteticamente, sarà implementato un sistema in ricircolo (portata di circa 1000-1500L/h tramite pompa opportunamente dimensionata), dotato di bypass, su una batteria di elementi filtranti con quattro stadi successivi di filtrazione (quattro housing in pvc da 20 pollici, disposti in serie con tagli nominali decrescenti da 500-100-20-5um). Il gruppo di filtrazione appena descritto sarà poi completato, a valle, da un elemento di sterilizzazione consistente in una lampada UV da 55W di potenza ed in grado di lavorare fino a circa 1700 L/h (portata massima);

- la termostatazione dell'acqua sarà ottenuta mediante uno scambiatore a immersione a piastre, coadiuvato da uno scambiatore a piastre saldobrasate; questi due elementi sono comunque in fase di ulteriore valutazione e dimensionamento.

Frangitura

Il frangitore, pienamente operativo, si trova a un punto medio/avanzato di sviluppo. Già a dicembre 2019 erano infatti presenti "l'incamiciatura" della camera di frangitura e un ulteriore scambiatore di calore sagomato ad U posto a valle degli organi frangenti (vedi l'immagine sottostante in Figura 4). Quest'ultimo elemento scambiatore mostrava già le predisposizioni per il futuro allacciamento della sensoristica (gas di testa sopra la pasta appena franta). Il sistema di gestione in retroazione della portata, era anch'esso presente ed integrato nel quadro di comando della macchina, così come il dispositivo di regolazione (VFD) della velocità di rotazione.

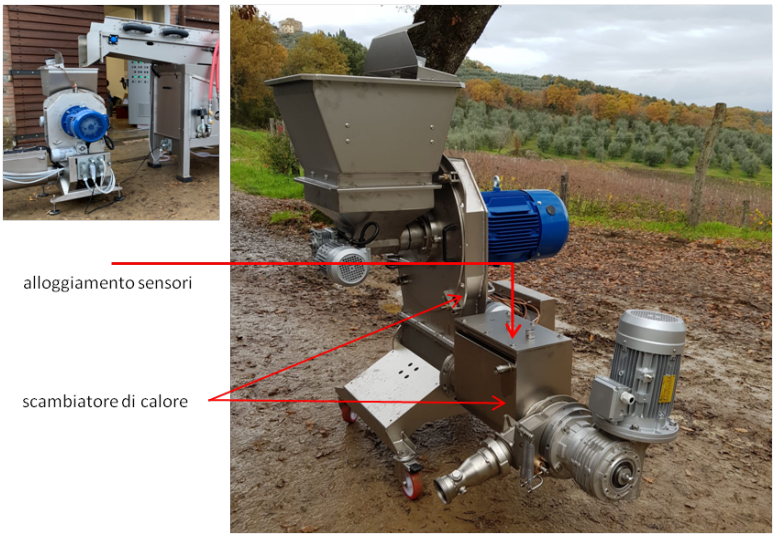


Figura 4. Frangitore prototipo.

La macchina risultava quindi quasi completa degli elementi prototipali, mancando unicamente l'alloggiamento per la candela porosa con il relativo sistema di dosaggio dell'ossigeno e la sensoristica per il monitoraggio dello spazio di testa. Per il primo punto, è stato assemblato l'elemento di distribuzione dell'ossigeno scegliendo una candela porosa (sparger) in acciaio sinterizzato montata in modo coassiale e concentrico rispetto ad un tubo inox di contenimento, raccordato tra frangitore e tubazione di mandata della pasta alle gramole. Il dispositivo di dosaggio dell'ossigeno non è stato ancora definito, avendo individuato due possibili soluzioni alternative:

- l'utilizzo di un compressore alimentare (oil-less) opportunamente dimensionato ed interfacciato ad un flussimetro per il dosaggio;

- l'utilizzo di una bombola di aria compressa alimentare, dotata di opportuno riduttore di pressione e flussimetro.

Infine, per quanto riguarda la scelta ed interfacciamento della sensoristica si rimanda alla sezione sulla gramolazione.

Gramolazione

Per la campagna 2019 la linea prototipo di gramolazione era pressoché ultimata. È possibile osservarne alcuni particolari nelle immagini riportate in Figura 5. Nell'immagine in alto a sinistra risaltano chiaramente due linee di motori elettrici indipendenti, una posizionata più in alto rispetto all'altra, due motori per ognuno degli elementi tubolari di gramolazione (5 camere di gramolazione, 10 motori in tutto). La linea superiore corrisponde ai motori deputati al rimescolamento della pasta tramite l'azionamento di un albero rotante (aspo) interno alla camera di gramolazione. Ogni motore è dotato di dispositivo VFD per la regolazione elettronica della velocità di rimescolamento.

Figura 5. Gramole prototipo.

La seconda linea di motori è invece deputata alla movimentazione della pasta tra le gramole (riempimento e svuotamento) e verso il decanter centrifugo nel caso dell'ultima gramola (quella più prossima al decanter), grazie all'azionamento di altrettante pompe. La pompa dedicata all'alimentazione del decanter è dotata di regolatore di velocità VFD per permettere una regolazione fine della portata di lavoro della centrifuga. Gli altri motori dispongono invece di variatore meccanico di velocità. Nell'immagine in alto a destra è possibile vedere un particolare della chiusura superiore di uno dei 5 elementi di gramolazione. Si tratta di una portella circolare in acciaio inox dotata degli alloggiamenti per i sensori di livello della pasta e della temperatura. Sono anche presenti le predisposizioni per la connessione con i sensori di concentrazione gassosa dello spazio di testa. Nell'immagine in basso sono mostrati alcuni degli elementi di gramolazione con la portella aperta. In questo caso è evidente la piastra metallica radiale che serve per incernierare superiormente l'albero di rimescolamento. Tutti gli elementi di gramolazione sono dotati di intercapedine per la circolazione di un fluido per il condizionamento termico (raffreddamento o riscaldamento).

Tutta la linea sarà dotata di elettrovalvole e sensoristica opportunamente interfacciate al quadro elettrico/elettronico di comando dell'impianto. In particolate sarà possibile gestire separatamente ogni elemento di gramolazione sia per il livello della velocità di rimescolamento, che per la temperatura di condizionamento (temperatura dell'acqua in ricircolo nell'intercapedine).

Unico elemento prototipale assente nel dicembre 2019 erano i sensori deputati alla misurazione della composizione gassosa dello spazio di testa sopra la pasta in gramolazione.

Nel periodo intercorso fino al momento della stesura del presente documento, i sensori di cui sopra sono stati selezionati per finalità e caratteristiche tecniche, così come è stato anche progettato il dispositivo per il loro alloggiamento e la relativa soluzione per l'interfacciamento agli elementi di gramolazione. Sinteticamente, sono stati individuati dei sensori per i seguenti composti gassosi: ossigeno, anidride carbonica, etanolo, composti organici volatili. I sensori saranno alloggiati in una cella di misura a tenuta stagna, esterna alle camere di gramolazione. È stato previsto di utilizzare un unico gruppo di sensori comune a tutti gli elementi suscettibili di misurazione, dotando il dispositivo di alloggiamento di opportune valvole ed innesti rapidi, in modo tale da poter effettuare le misurazioni innestando e disinnestando il dispositivo di volta in volta in funzione dell'elemento dell'impianto che si desidera monitorare, ossia il frangitore (a livello dello scambiatore di calore opportunamente conformato come descritto nella sezione precedente) e l'uno o l'altro dei 5 elementi tubolari di gramolazione. La cella di misura sarà dotata di una pompa di ricircolo per i gas dello spazio di testa e di interfaccia elettronica per la gestione dei sensori e la registrazione delle misure.

Infine, è utile ricordare che i gruppi termici deputati al condizionamento della materia prima in lavorazione presenti nella campagna 2019 non erano, verosimilmente, quelli definitivi. Questi ultimi sono quindi in fase di allestimento.

Estrazione centrifuga

Il decanter centrifugo, mostrato in Figura 6, a dicembre 2019 era montato e operativo.

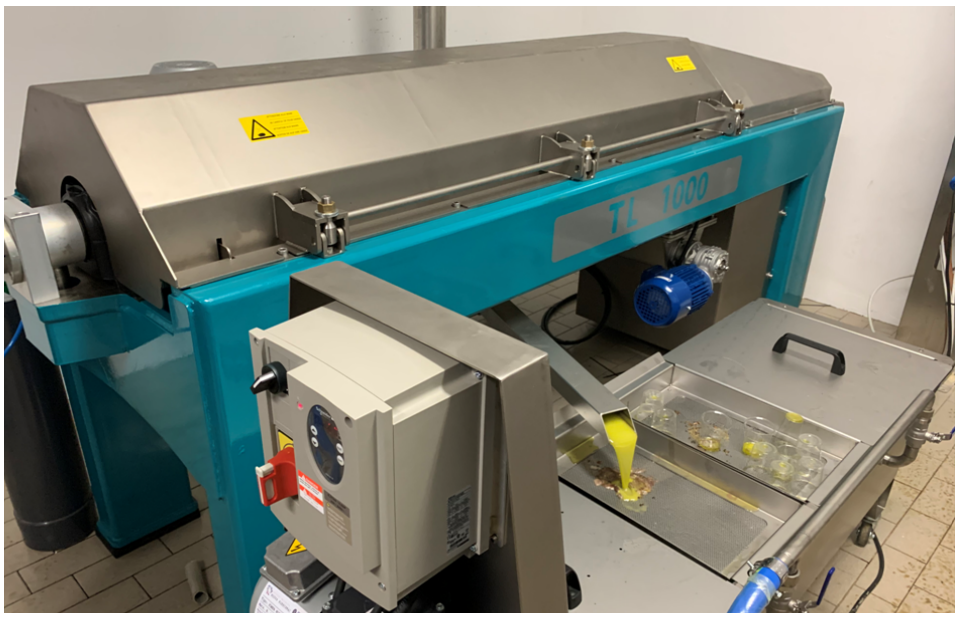


Figura 6. Decanter prototipo.

Gli elementi prototipali risultavano comunque solo parzialmente integrati. In particolare, il sistema di "doppio pescaggio" dell'olio dal tamburo rotante era presente.

Il sistema di inertizzazione, del quale è mostrato un particolare in Figura 7, era stato realizzato connettendo al decanter una bombola contenente azoto compresso alimentare (gas inerte), con l'interposizione di un riduttore di pressione ed attacco rapido.

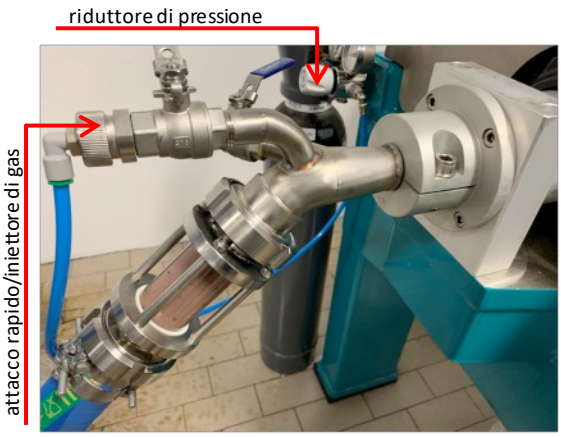


Figura 7. Decanter prototipo.

Questa soluzione non è però risultata funzionale in virtù delle caratteristiche del riduttore di pressione, inadatto per i valori di pressione estremamente ridotti indispensabili per evitare la rottura dell'anello liquido in separazione all'interno del tamburo rotante.

Al momento quindi, è stato selezionato un nuovo riduttore di pressione, mentre è in fase di allestimento un vaso di espansione del gas con il relativo sistema di adduzione opportunamente dimensionato per garantire portate di gas inertizzante utili alla protezione dall'ossigeno.

Infine, la vasca con protezione antiossidante per il recupero dell'olio in uscita al decanter non era presente nel dicembre 2019.

La stessa è al momento in fase di realizzazione.

Filtrazione

L'impianto è stato dotato di un filtro a piastre e cartoni filtranti (Figura 7).

Figura 8. Filtro pressa a piastre e cartoni.

Per quanto operativo, nella campagna 2019 il filtro risultava sprovvisto degli elementi prototipali.

Alla data del presente documento tali elementi sono in fase di realizzazione. In particolare, è stata reperita sul mercato la tela filtrante in acciaio inox con caratteristiche meccaniche adatte all'utilizzo come mezzo di filtrazione. La tela sarà alloggiata in telai in acciaio inox realizzati su misura. In questo modo saranno approntate alcune piastre filtranti che potranno essere inserite nel filtro pressa, disposte in serie rispetto ai convenzionali cartoni filtranti. L'insieme delle piastre filtranti prototipo andrà quindi a costituire un "pre-filtro" integrato, in grado di trattenere buona parte dei solidi presenti nell'olio e una certa quantità di acqua ("effetto filtrazione con deposito"). Le prestazioni del filtro miglioreranno di conseguenza.

Prove di estrazione

Aspetti operativi

Le verifiche operative sono state condotte in tre giornate di prova nel dicembre 2019, per un totale di 5 estrazioni. Come accennato nell'introduzione, il ritardo nell'allestimento dell'impianto da una parte e la ridotta disponibilità di olive dall'altra, non hanno permesso di svolgere prove di verifica funzionale e/o qualitativa nel numero e con il livello di approfondimento necessari. A sostegno di ciò, basti pensare che soltanto in 1 delle 5 prove di estrazione, l'ultima svolta in data 10 dicembre 2019, erano disponibili i dispositivi di condizionamento termico della pasta di olive (gruppo frigo e caldaia). Solo in questa prova è quindi stato possibile lavorare a temperatura controllata. Altro esempio utile era l'assenza di una bilancia per quantificare in modo accurato le olive in entrata alla trasformazione.

È difficoltoso quindi stimare la funzionalità dell'impianto con dei valori numerici, degli indici, che siano realmente affidabili, accurati, informativi.

In ogni caso è stato possibile raccogliere alcune informazioni importanti, sicuramente affidabili:

- nessuna macchina dell'impianto prototipo ha subito blocchi di lavoro o particolari problemi di funzionamento;

- il quadro di controllo è stato in grado di gestire l'automatismo della gramolazione in continuo, determinando in modo preciso i momenti di riempimento e svuotamento dei singoli elementi di gramolazione senza che si verificassero intasamenti o periodi di lavoro a vuoto;

- nonostante non sia stato possibile misurare in modo accurato le rese di estrazione, i valori stimati delle stesse sono ricaduti in un intervallo di validità tecnica accettabile, variando da un minimo del 7% ad un massimo del 17% circa.

Alcune indicazioni puntuali significative sono poi emerse dalla prova di estrazione condotta in data 10 dicembre, quando l'impianto era stato dotato sia del gruppo frigo, sia della caldaia di riscaldamento. In questo caso è stato dunque possibile condizionare termicamente la pasta di olive verso il livello desiderato di temperatura.

È utile ricordare che uno degli aspetti innovativi dell'apparato prototipo di gramolazione consiste, quanto meno nell'idea progettuale, nelle maggiori efficacia ed efficienza dello scambio termico, che dovrebbero permettere di portare la temperatura della pasta in estrazione al livello desiderato, al contempo più rapidamente e più precisamente rispetto ad un impianto tradizionale. Questo in funzione di tre aspetti:

- elevata superficie di scambio delle camere di gramolazione, grazie alla presenza di più elementi con rapporto di forma allungato (cilindri lunghi e stretti);

- possibilità di variare la velocità di rimescolamento dei singoli elementi;

- possibilità di gestire in modo indipendente i singoli elementi di gramolazione.

La verifica di queste potenzialità è stata approcciata proprio durante la prova di estrazione sopra accennata, scegliendo una temperatura target della pasta in alimentazione al decanter, quindi in uscita all'ultima gramola, pari a 24°C. In considerazione del livello di temperatura delle olive prima della frangitura, compreso tra i 9 e 12 °C, la temperatura di scambio degli elementi di gramolazione è stata impostata alternativamente a 30°C (primo, secondo e terzo elemento in riscaldamento) e 15 °C (secondo e quarto elemento in

raffreddamento rispetto a quello precedente). Per la prova erano a disposizione circa 1000kg di olive, suddivisi in tre aliquote da 330kg circa. Sono quindi state effettuate tre estrazioni successive monitorando l'evoluzione della temperatura del materiale in flusso all'interno dell'impianto, nei seguenti punti consecutivi:

- stoccaggio pre-frangitura (olive);

- post-lavaggio (olive in uscita alla lavatrice);

- frangitore out (pasta in uscita al frangitore);

- gramole out (pasta in uscita ai 5 elementi di gramolazione);

- olio (olio in uscita al decanter).

Tutte le estrazioni sono state condotte nelle medesime condizioni, applicando un tempo di gramolazione complessivo di circa 25 minuti (5 minuti ad elemento) ed alimentando il decanter a una portata di circa 800 kg/h. Il quantitativo di olive a disposizione non ha permesso di indagare gli effetti del condizionamento del frangitore o di diversi livelli della velocità di rimescolamento.

Il grafico in Figura 9 riporta i valori di temperatura registrati durante le tre estrazioni, unitamente al valore medio calcolato (linea nera tratteggiata).

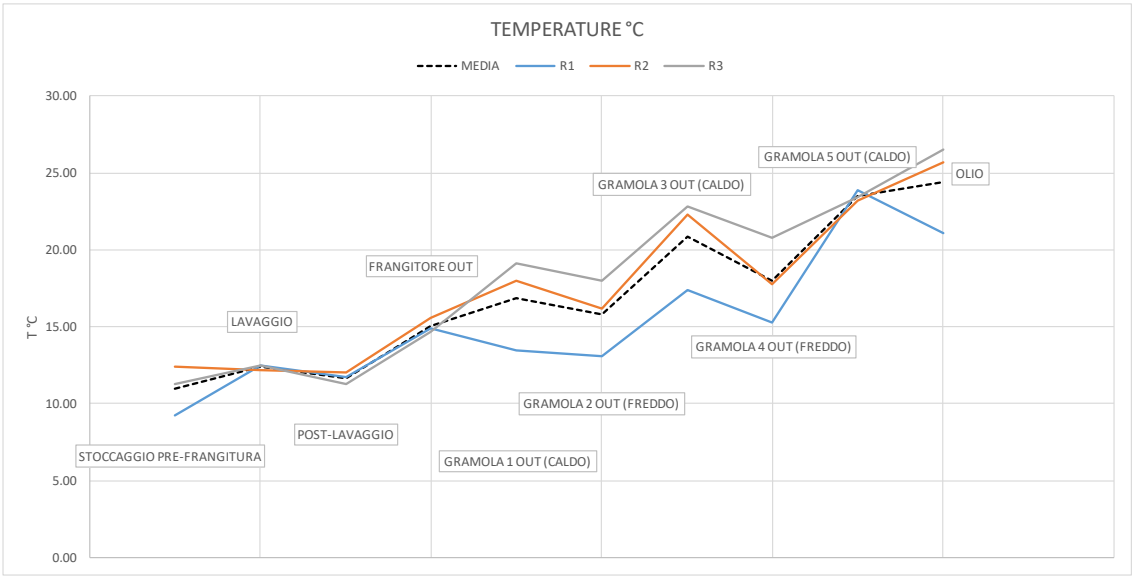


Figura 9. Andamento della temperatura del materiale (olive, pasta, olio) in diversi punti dell'impianto.

Quanto riportato in figura 9 permette di fare alcune importanti osservazioni:

- l'effetto complessivo ottenuto è stato quello di un riscaldamento della pasta che in circa 25 minuti passa in media da 15.1 a 23.5°C;

- il valore finale è molto vicino al valore desiderato di 24°C, con un errore pari a circa il 2% (23.5 contro 24°C) ed una variabilità altrettanto ridotta tra le estrazioni;

- per quanto la prova non rifletta un caso di lavoro reale, dove il senso di variazione della temperatura sarà verosimilmente univoco (o in riscaldamento o in raffreddamento), la stessa ha verificato la possibilità di gestire indipendentemente i singoli elementi di gramolazione che sono risultati in grado di modificare sostanzialmente la temperatura della pasta in gramolazione;

- la variabilità osservabile intorno alla media è legata essenzialmente all'andamento della prima estrazione, R1 sul grafico, che si differenzia dalle altre per una temperatura iniziale delle olive più bassa di circa 2 gradi e per un effetto di riscaldamento della prima gramola assente, anzi opposto dato che la pasta entra in gramola a 14.9°C, per uscirne a 13.5°C; purtroppo in questo caso le valvole per l'immissione di acqua di riscaldamento nell'intercapedine della gramola 1 erano rimaste chiuse, quindi la pasta ha scambiato calore con la camera di gramolazione più fredda (circa 10 gradi) perdendo calore; nonostante questo la pasta in uscita alla gramola5 approssima molto bene il valore impostato di 24°C, compiendo un salto termico cospicuo, pari a 8.6°C.

Queste indicazioni pongono le basi per le future verifiche operative della gramola prototipo. Osservando poi i dati riportati sempre i Figura 9, nelle fasi precedenti la gramolazione, quindi dalle olive in stoccaggio fino all'uscita della pasta dal frangitore, emergono ulteriori indicazioni:

- il contatto delle olive con l'acqua di lavaggio, che in questo caso non era condizionata, determina uno scambio di calore apprezzabile nel momento in cui sussiste un differenziale di temperatura altrettanto apprezzabile; questo è evidente nel confronto tra la prova R1 e le altre due prove; in R1 infatti, la temperatura delle olive era di 9.2°C contro i 12.5°C dell'acqua di lavaggio, quindi un differenziale termico superiore ai 3°C che durante il lavaggio ha contribuito ad innalzare la temperatura delle olive fino a 11.7 (delta termico 2.5°C); viceversa, sia nel caso di R2 che di R3, la temperatura delle olive era prossima a quella dell'acqua, attestandosi su 11.8 e 12.3°C come media delle due prove, rispettivamente; in questo caso il differenziale di temperatura estremamente ridotto di 0.5°C, probabilmente entro l'errore strumentale di misura, non ha determinato una variazione sostanziale della temperatura delle olive dopo il lavaggio;

- il frangitore determina un salto termico in riscaldamento pressoché costante per tutte e tre le prove e pari in media a 3.4°C.

Queste due ultime indicazioni confermano da una parte la reale possibilità di utilizzare la lavatrice come uno scambiatore di calore in modo tale da ottenere una quota parte del salto termico necessario ad arrivare alla temperatura di estrazione desiderata, dall'altra confermano la necessità di condizionare termicamente la camera di frangitura per evitare innalzamenti di temperatura non desiderati e incontrollati.

Aspetti qualitativi

Le prove di estrazione sono state condotte utilizzando olive di diversa origine, secondo lo schema seguente:

- Prova 1 – olive *Coratina*, provenienza Puglia;

- Prova 2 – olive a composizione varietale mista, provenienza Toscana – Az. Agr. Le Mura (Bucine, AR)

- Prova 3 – olive a composizione varietale mista, provenienza Toscana – Az. Agr. Le Mura (Bucine, AR)

- Prova 4 – olive a composizione varietale mista, provenienza Toscana – Aziende della Valdambra nel progetto Olinostrum (Bucine, AR; Casini, Petrolo, Le Mura, Perelli), campo sperimentale CNR

- Prova 5 – olive *Coratina*, provenienza Puglia;

Durante le cinque prove di estrazione sono stati quindi stati prodotti altrettanti oli di oliva, poi sottoposti ad analisi chimico/fisiche (Tabella 1) e sensoriale (Panel Test, Figura 10).

Tabella 1 Parametri chimico-fisici dei campioni di olio prodotti nella campagna 2019

Parametro	Prova1	Prova2	Prova3	Prova4	Prova5	**Media**	Dev. St.
acidità libera (% in peso di acido oleico)	0.20	0.18	0.21	0.27	0.20	**0.21**	0.03
numero di perossidi (meq.O2/kg)	4.3	4.0	5.5	6.1	3.4	**4.7**	1.1
k232	1.69	1.68	1.69	1.53	1.68	**1.65**	0.07
k268	0.16	0.15	0.13	0.10	0.16	**0.14**	0.03
dk	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00
biofenoli totali (mg/kg)	599	571	570	261	562	**513**	141

Un primo aspetto sicuramente degno di nota è che tutti i campioni rispettano i limiti dei parametri commerciali per l'Olio Extra Vergine di Oliva. Parametri che risultano ampiamente al disotto dei limiti di legge, con valori medi di acidità e numero di perossidi che valgono 0.21% e 4.7meqO2/kg, rispettivamente. In considerazione dello stadio avanzato della stagione, del decorso climatico sfavorevole (quanto meno in Toscana) e del tempo trascorso tra la raccolta e la lavorazione (sempre superiore alle 24 ore per questioni logistiche non superabili, quali il ritardo di installazione delle macchine o il trasporto delle olive dalla Puglia), quest'ultimo risultato non era scontato. Più che soddisfacenti, anche in relazione a quanto appena discusso, sono risultate le concentrazioni in composti fenolici. In una sola prova è stata infatti ottenuta una concentrazione ridotta di questi composti, molto probabilmente in virtù delle caratteristiche delle olive di partenza. Ipotesi, quest'ultima, supportata dai valori più elevati di acidità e numero di perossidi registrati nella prova. Le concentrazioni fenoliche delle altre prove sono sempre risultate superiori ai 500mg/kg. Se nel caso delle olive cultivar *Coratina* (prove 1 e 5) questo era un risultato probabile (si tratta di una varietà caratterizzata naturalmente da una concentrazione fenolica molto alta), per le olive originarie della Valdambra, sempre tenendo conto di quanto descritto circa la particolarità della stagione e le tempistiche di raccolta/lavorazione, il risultato raggiunto non può che essere ritenuto soddisfacente.

Il particolare dei singoli composti fenolici è mostrato in Tabella 2

Tabella 2 Profilo fenolico dei campioni di olio prodotti nella campagna 2019

Composto	Prova1	Prova2	Prova3	Prova4	Prova5
Idrossitirosolo	1.0	2.0	3.0	2.0	2.0
Tirosolo	4.0	4.0	3.0	7.0	5.0
Acido Vanillico+ Acido Caffeico	3.0	3.0	3.0	1.0	2.0
Vanillina	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0
Acido Para-coumarico	1.0	3.0	3.0	1.0	2.0
Idrossitirosilacetato	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Acido Ferulico	5.0	3.0	3.0	1.0	2.0
Acido Orto-coumarico	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Aglicone Decarbossimetiloleuropeina forma dialdeidica ossidata	31.0	15.0	44.0	10.0	29.0
Aglicone Decarbossimetiloleuropeina forma dialdeidica	88.0	96.0	143.0	16.0	93.0
Oleuropeina	55.0	33.0	17.0	20.0	59.0
Aglicone Oleuropeina forma di aldeidica	28.0	10.0	8.0	7.0	54.0
Aglicone Decarbossimetilligstroside forma dialdeidica ossidata	38.0	20.0	14.0	13.0	32.0
Aglicone Decarbossimetilligstroside forma dialdeidica	53.0	56.0	39.0	11.0	54.0
Pinoresinolo, 1 acetossi-pinoresinolo	90.0	72.0	52.0	39.0	85.0
Acido Cinnamico	12.0	5.0	3.0	4.0	18.0
Aglicone Ligstroside forma di aldeidica	9.0	3.0	6.0	1.0	8.0
Aglicone oleuropeina forma aldeidica e idrossilica ossidata	16.0	21.0	14.0	5.0	10.0
Luteolina	14.0	10.0	17.0	7.0	9.0
Aglicone oleuropeina forma aldeidica e idrossilica	69.0	117.0	67.0	19.0	36.0
Aglicone Ligstroside forma aldeidica e idrossilica ossidata	47.0	51.0	40.0	19.0	25.0
Apigenina	9.0	9.0	11.0	9.0	11.0
Metil-luteolina	15.0	20.0	48.0	41.0	12.0
Aglicone Ligstroside forma aldeidica e idrossilica	8.0	14.0	28.0	25.0	10.0

I profili fenolici dei 5 campioni appaiono sostanzialmente simili, ad eccezione della Prova 4, che ancora una volta sembra differenziarsi dagli altri campioni. Non è invece possibile evidenziare una differenza macroscopica imputabile alla differente origine varietale, ossia *Coratina* e varietà della Valdambra.

Quattro dei 5 campioni di olio raccolti durante le prove sono stati sottoposti ad assaggio organolettico da parte di ANAPOO (Associazione Nazionale Assaggiatori Professionisti Olio di Oliva). I risultati sono mostrati sotto forma grafica in Figura 10.

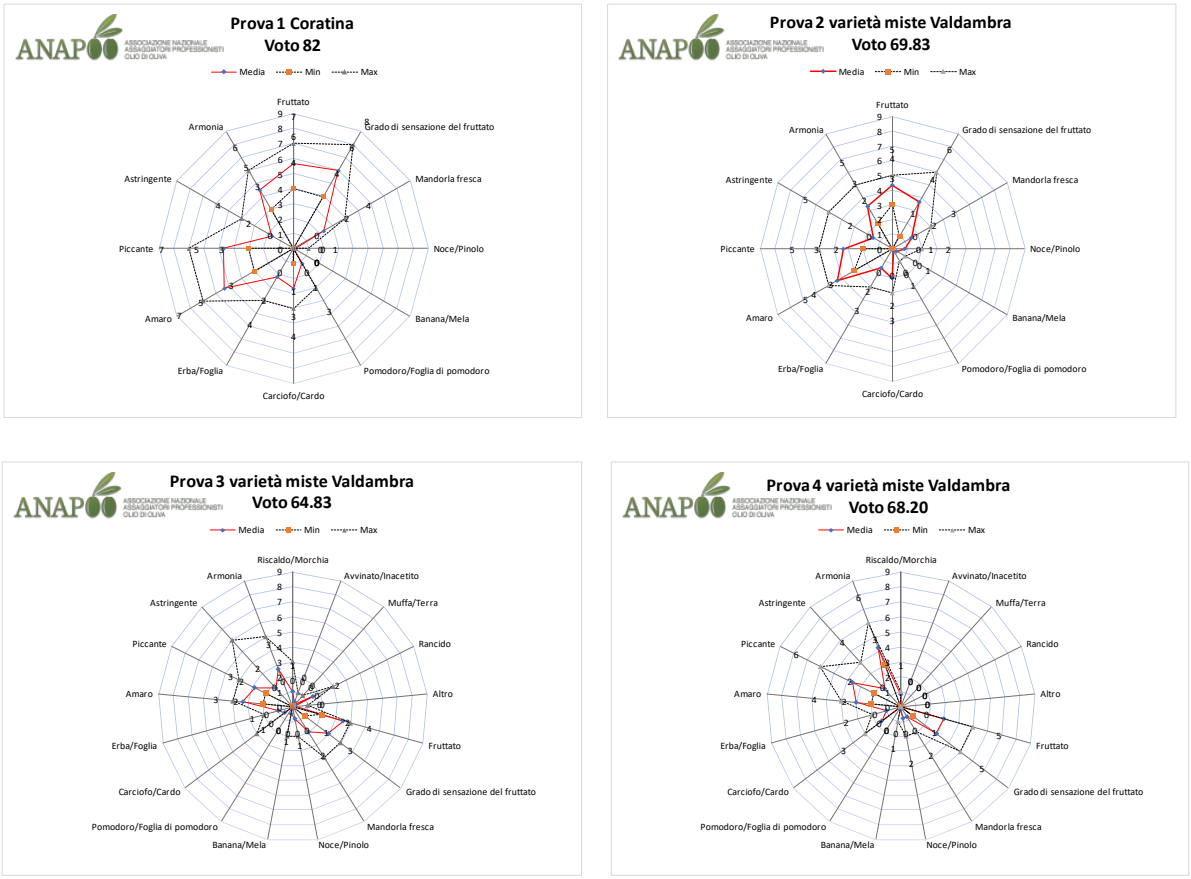


Figura 10. Punteggi organolettici degli oli prodotti durante la campagna 2019.

Le prime due prove pur considerando oli di differente origine varietale, mostrano profili organolettici sostanzialmente simili. La differenza tra i due campioni può essere ricercata essenzialmente nell'intensità generale dei diversi attributi, che appaiono più marcati nella Prova 1 *Coratina*. In termini qualitativi, quest'ultima prova mostra anche alcuni sentori di pomodoro assenti nella Prova 2, che invece mostra degli accenni di noce/pinolo. Il voto complessivo attribuito alla Prova 1 è comunque risultato il più elevato. Agli oli delle prove 3 e 4, pur mostrando un profilo complessivo simile a quello della Prova 2, sono stati attribuiti dei difetti, anche se di intensità ridotta. In particolare, ad entrambe le prove è stato attribuito "1" di riscaldo/morchia, mentre alla Prova 3 è stato anche attribuito "2" di rancido. La presenza di questi difetti va sicuramente ricercata nella qualità delle olive in ingresso alla trasformazione, probabilmente in funzione del tempo intercorso tra raccolta e lavorazione.

Secondo anno di progetto:

Realizzazione ed allestimento dell'impianto prototipo

Stato di Avanzamento - Concluso

Per quanto l'allestimento dell'impianto fosse pressoché quasi completo già nel primo anno di progetto, alcuni degli elementi prototipali necessitavano di essere implementati.

Di seguito vengono analizzate le diverse fasi, evidenziandone l'effettiva operatività ed il grado di implementazione dei diversi elementi prototipali inseriti nei primi mesi del secondo anno di progetto e resi disponibili per la campagna 2020.

Pulizia delle olive

La linea di pulizia, montata e operativa a dicembre 2019 è stata dotata degli elementi prototipali. Nello specifico sono stati inseriti il frantumatore di foglie (Figura 1), il sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua e il sistema di termostatazione dell'acqua (Figura 2).

Il biotrituratore di foglie è stato allestito nei primi mesi del 2020, con l'obiettivo di diminuire notevolmente il volume delle foglie di olivo consentendone una migliore gestione sia in termini di manodopera, facilitandone le operazioni di smaltimento, sia in termini di ingombro e stoccaggio. Infine, ma non di ultima importanza, in termini ambientali l'utilizzo di materiale frantumato permette una più rapida degradazione nel terreno.

Il sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua è un sistema in ricircolo (portata di circa 1000-1500L/h tramite pompa opportunamente dimensionata), dotato di bypass, su una batteria di elementi filtranti con quattro stadi successivi di filtrazione (quattro housing in pvc da 20 pollici, disposti in serie con tagli nominali decrescenti da 500-100-20-5um). Il gruppo di filtrazione appena descritto è poi completato, a valle, da un elemento di sterilizzazione consistente in una lampada UV da 55W di potenza ed in grado di lavorare fino a circa 1700 L/h (portata massima).

La termostatazione dell'acqua è stata realizzata mediante uno scambiatore a immersione a piastre.

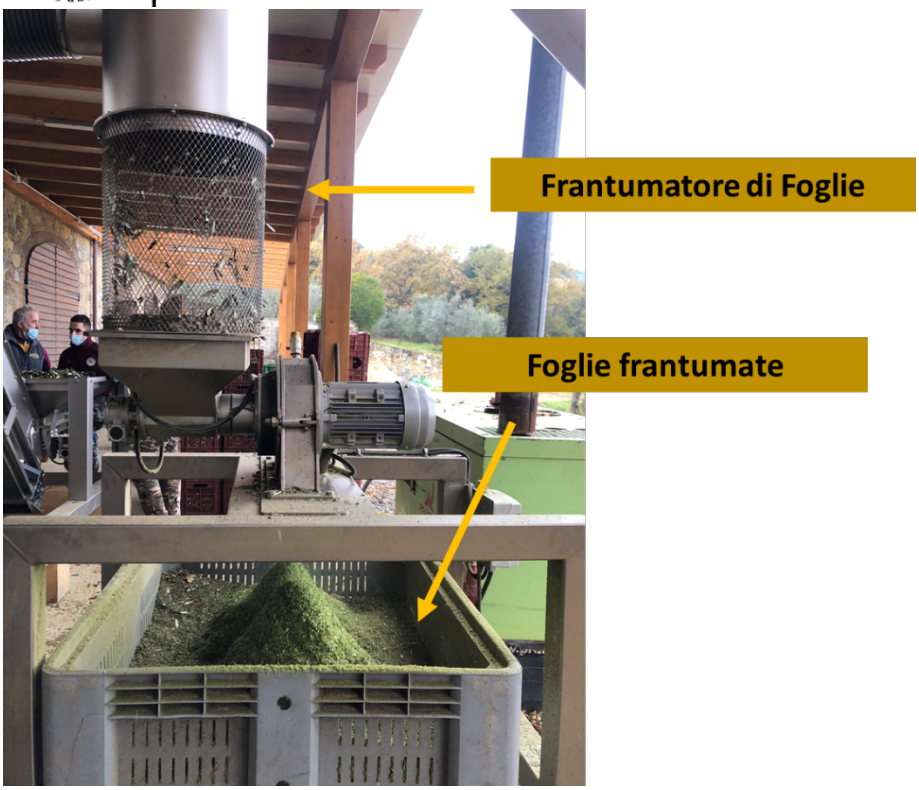


Figura 1: Frantumatore di foglie e raccolta delle foglie frantumate

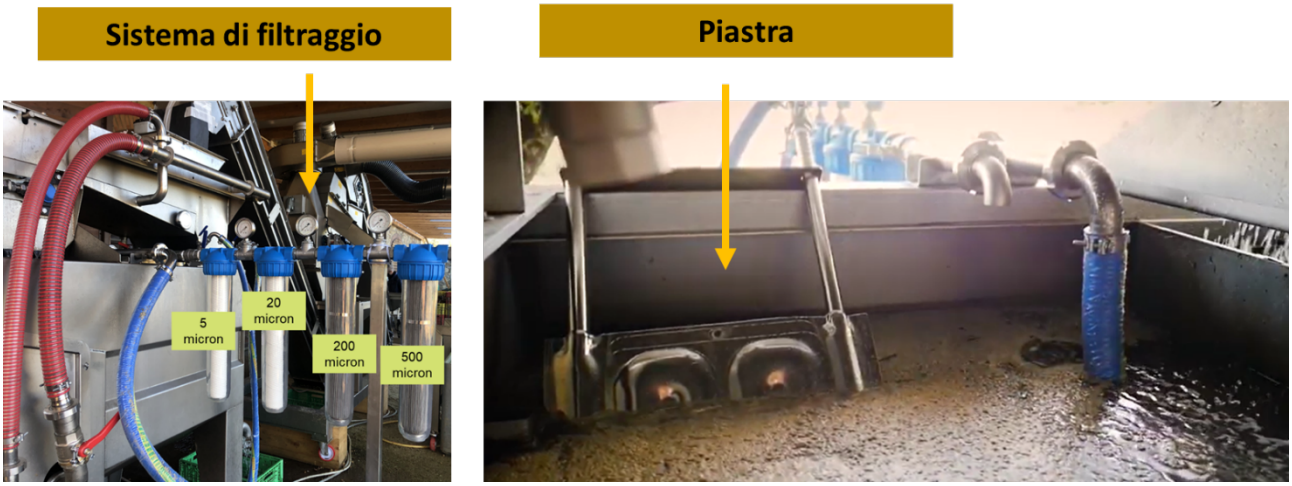


Figura 2: Sistema di purificazione/sanificazione dell'acqua e di termostatazione.

Frangitura

Il frangitore, pienamente operativo già nella campagna 2019, si trovava a un punto medio/avanzato di sviluppo. Già a dicembre 2019 erano infatti presenti "l'incamiciatura" della camera di frangitura

e un ulteriore scambiatore di calore sagomato ad U posto a valle degli organi frangenti (vedi l'immagine sottostante in Figura 3).

Figura 3. Frangitore prototipo 2019, Frangitore prototipale completato 2020.

La macchina risultava quindi quasi completa degli elementi prototipali già nel primo anno di progetto, mancando unicamente l'alloggiamento per la candela porosa con il relativo sistema di dosaggio dell'ossigeno e la sensoristica per il monitoraggio dello spazio di testa.

Per il primo punto, è stato assemblato l'elemento di distribuzione dell'ossigeno scegliendo una candela porosa (sparger) in acciaio sinterizzato montata in modo coassiale e concentrico rispetto ad un tubo inox di contenimento, raccordato tra frangitore e tubazione di mandata della pasta alle gramole. Per la distribuzione dell'ossigeno è stato scelto di utilizzare un compressore alimentare (oil-less) opportunamente dimensionato ed interfacciato ad un flussimetro per il dosaggio controllato (Figura 3).

Gramolazione

Per la campagna 2019 la linea prototipo di gramolazione era pressoché ultimata.

Unico elemento prototipale assente nel dicembre 2019 erano i sensori deputati alla misurazione della composizione gassosa dello spazio di testa sopra la pasta in gramolazione.

Figura 4. Gramole prototipo 2019, Gramole prototipo completato 2020.

I sensori sono stati selezionati per finalità e caratteristiche tecniche, così come è stato anche progettato il dispositivo per il loro alloggiamento e la relativa soluzione per l'interfacciamento agli elementi di gramolazione. Sono stati individuati dei sensori per i seguenti composti gassosi: ossigeno, anidride carbonica, etanolo, composti organici volatili (Figura 5).

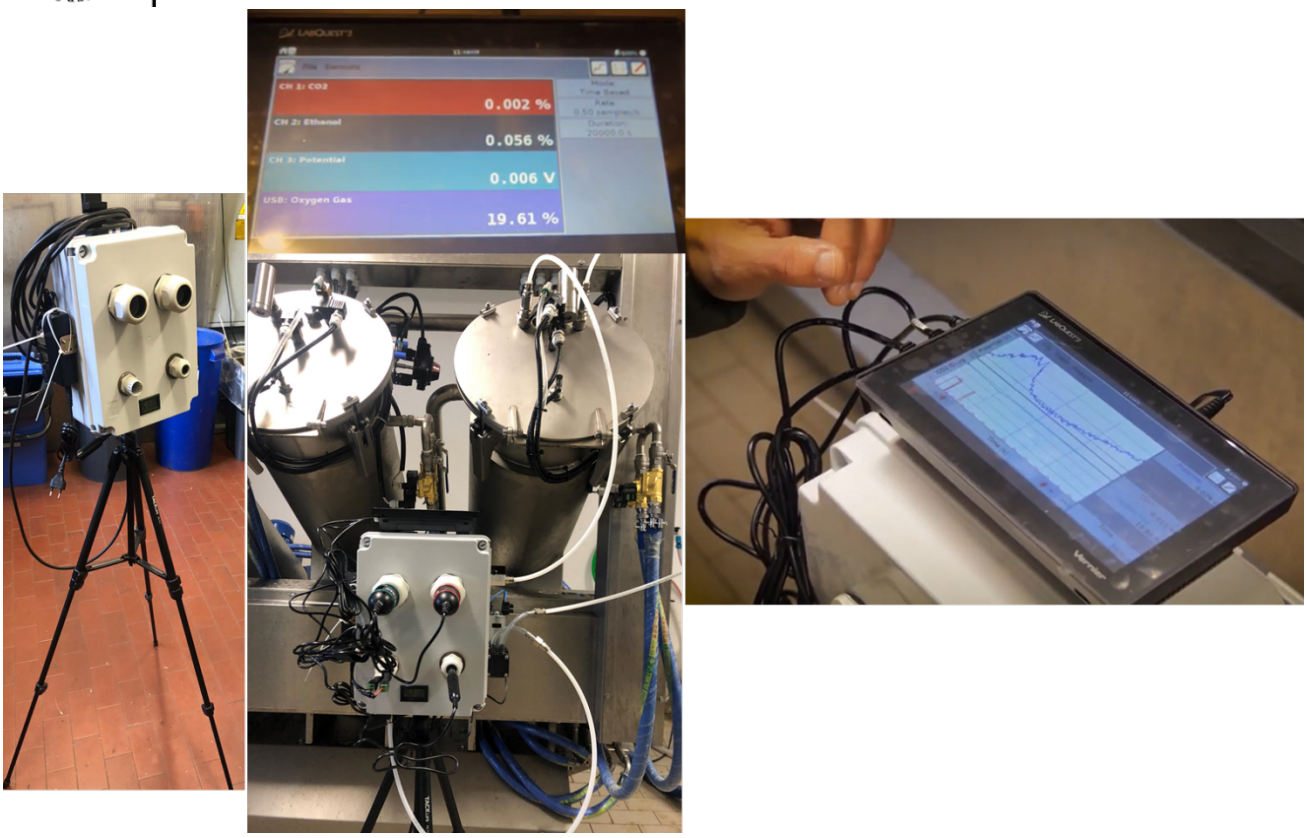


Figura 5. Allestimento e configurazione dei Sensori

I sensori sono stati alloggiati in una cella di misura a tenuta stagna, esterna alle camere di gramolazione. È stato previsto di utilizzare un unico gruppo di sensori comune a tutti gli elementi suscettibili di misurazione, dotando il dispositivo di alloggiamento di opportune valvole ed innesti rapidi, in modo tale da poter effettuare le misurazioni innestando e disinnestando il dispositivo di volta in volta in funzione dell'elemento dell'impianto che si desidera monitorare, ossia il frangitore (a livello dello scambiatore di calore opportunamente conformato come descritto nella sezione precedente) e l'uno o l'altro dei 5 elementi tubolari di gramolazione. La cella di misura è dotata di una pompa di ricircolo per i gas dello spazio di testa e di interfaccia elettronica per la gestione dei sensori e la registrazione delle misure.

Estrazione centrifuga

Il decanter centrifugo, mostrato in Figura 6, a dicembre 2019 era montato e operativo.

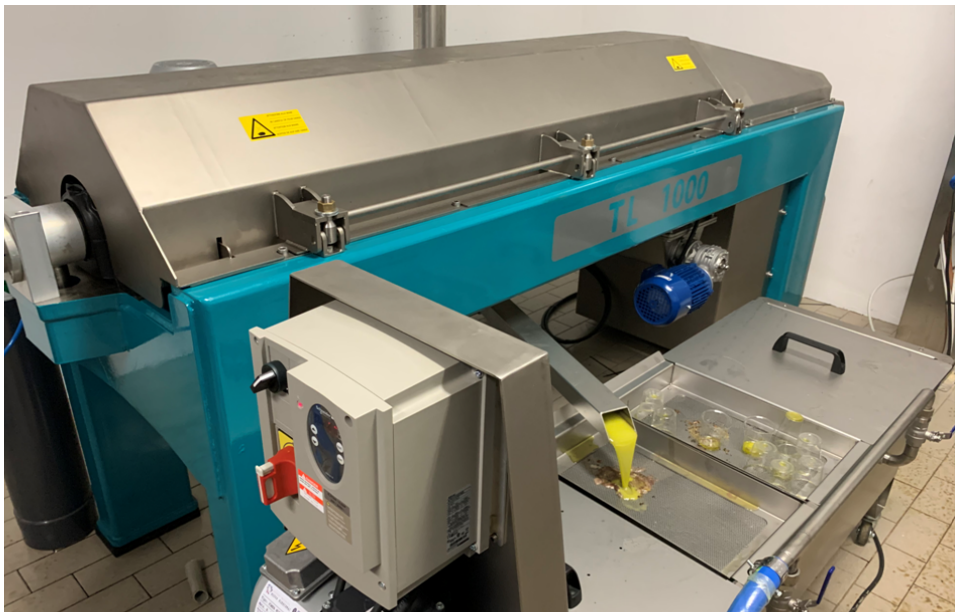


Figura 6. Decanter prototipo.

Gli elementi prototipali risultavano comunque solo parzialmente integrati. In particolare, il sistema di “doppio pescaggio” dell’olio dal tamburo rotante era presente.

Il sistema di inertizzazione, del quale è mostrato un particolare in Figura 7 (a sinistra), era stato realizzato connettendo al decanter una bombola contenente azoto compresso alimentare (gas inerte), con l’interposizione di un riduttore di pressione ed attacco rapido.

Figura 7. Sistema di inertizzazione prototipo 2019, e prototipo completato 2020.

Durante i primi mesi del 2020, è stato selezionato un nuovo riduttore di pressione con il relativo sistema di adduzione opportunamente dimensionato per garantire portate di gas inertizzante utili alla protezione dall'ossigeno.

Filtrazione

L'impianto è stato dotato di un filtro a piastre e cartoni filtranti (Figura 8).

Figura 8. Filtro pressa a piastre e cartoni 2019, prototipo ultimato 2020.

Per quanto operativo, nella campagna 2019 il filtro risultava sprovvisto degli elementi prototipali.

Nel corso dei primi mesi del 2020 sono stati realizzati gli elementi prototipali. In particolare, è stata allestita una tela filtrante in acciaio inox con caratteristiche meccaniche adatte all'utilizzo come mezzo di filtrazione. La tela è stata alloggiata in telai in acciaio inox realizzati su misura. Le piastre filtranti così ottenute sono state inserite nel filtro pressa, disposte in serie rispetto ai convenzionali cartoni filtranti. L'insieme delle piastre filtranti prototipo è una sorta di "pre-filtro" integrato, in grado di trattenere buona parte dei solidi presenti nell'olio e una certa quantità di acqua ("effetto filtrazione con deposito").

Da un punto di vista di gestione e di sostenibilità del frantoio, le tele filtranti a differenza dei cartoni possono essere riutilizzate previa pulizia accurata, e quindi consentono di ridurre la quantità e i costi dei rifiuti da smaltire, costi da sostenere interamente con un impianto di filtrazione composto al 100% da cartoni.

Prove operative 2020 e risultati Finali ottenuti

Le verifiche operative sono state condotte in diverse giornate di prova nella campagna del 2020. Le prove effettuate, che saranno spiegate nei paragrafi successivi, si possono ritenere esaustive e non necessitano di ulteriori verifiche operative in quanto sono state messe a punto in maniera rigorosa e seguendo opportune metodologie scientifiche.

La fase riguardante le verifiche operative sull'impianto può ritenersi quindi conclusa per quanto riguarda la raccolta dati e la definizione dei protocolli operativi più idonei. Per alcune prove è necessaria una valutazione più approfondita dei risultati che è stata conclusa per la fine del progetto.

In figura 9 sono riportate schematicamente le prove effettuate nel periodo ottobre-dicembre 2020.

Le prove si sono divise in prove generiche sul funzionamento dell'impianto che hanno visto coinvolte diverse componenti prototipali introdotte. Altre tre prove invece, eseguite in maniera più approfondita e sistematica da un punto di vista scientifico, hanno visto coinvolti tre elementi prototipali specifici. In particolare, sono state effettuate prove riguardanti: la possibile valorizzazione dei sottoprodotti del frantoio con tecniche di estrazione in idrodistillazione; gli effetti del dosaggio dell'ossigeno sulla pasta in uscita dal frangitore; una stima dello scambio termico del sistema gramole.

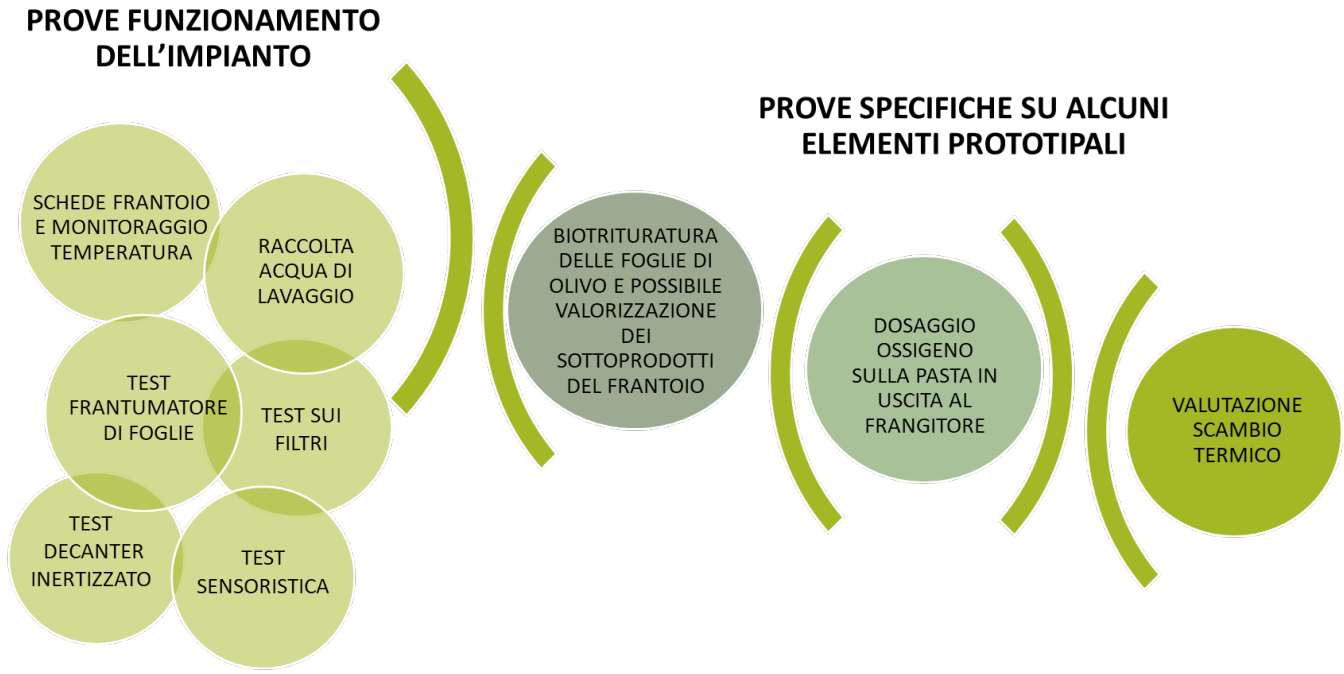


Figura 9. Schema Riassuntivo delle prove effettuate nel secondo anno di progetto.

Prove di verifica sul funzionamento dell'impianto

- **Schede frantoio e monitoraggio della temperatura su tutto l'impianto.**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati - Conclusa

Uno degli aspetti innovativi dell'apparato prototipo di estrazione consiste, quanto meno nell'idea progettuale, nelle maggiori efficacia ed efficienza di scambio termico, che dovrebbero permettere di portare la temperatura della pasta in estrazione al livello desiderato, al contempo più rapidamente e più precisamente rispetto ad un impianto tradizionale.

Durante la campagna di prove 2020 sono state redatte dal DAGRI e compilate nei giorni di prova delle schede, rinominate Schede Frantoio, con l'obiettivo di raccogliere informazioni riguardanti principalmente la temperatura di lavorazione in tutte le fasi operative. Il monitoraggio e la raccolta dati di temperatura iniziavano dal momento della raccolta delle olive (o dallo stoccaggio) e terminavano con i dati di temperatura dell'olio prodotto.

In figura 10 si riporta in dettaglio la scheda frantoio

SCHEDA FRANTOIO

- **Azienda:**
- **Codice campione (da prelevare in doppio per analisi):**
- **Data e ora di raccolta (inizio e fine)**
- **Temperatura alla raccolta:**
- **Modalità di raccolta (manuale, agevolata, meccanica):**
- **Varietà:**
- **Modalità stoccaggio olive → contenitori: bins o cassette,**

  → locali: chiuso, all'aperto, cella frigo)

Fase del processo	Operazione	Misure effettuate
Arrivo olive	Pesare olive (Olive+Foglie) Temperatura olive	
Frantumatore di foglie	Pesare le foglie separate (Stima del quantitativo di foglie per kg di olive tramite pesata di bins)	
Lavaggio olive	Segnare la temperatura dell'acqua e il numero di scarichi	
Frangitore	Misurazione temperatura: in entrata in uscita	
Gramola	Misurazione temperatura: in entrata in uscita	
Decanter	Misurazione temperatura: entrata (pasta) in uscita (olio) la portata della pompa; pesare l'olio estratto (resa)	

Figura 10. Scheda Frantoio

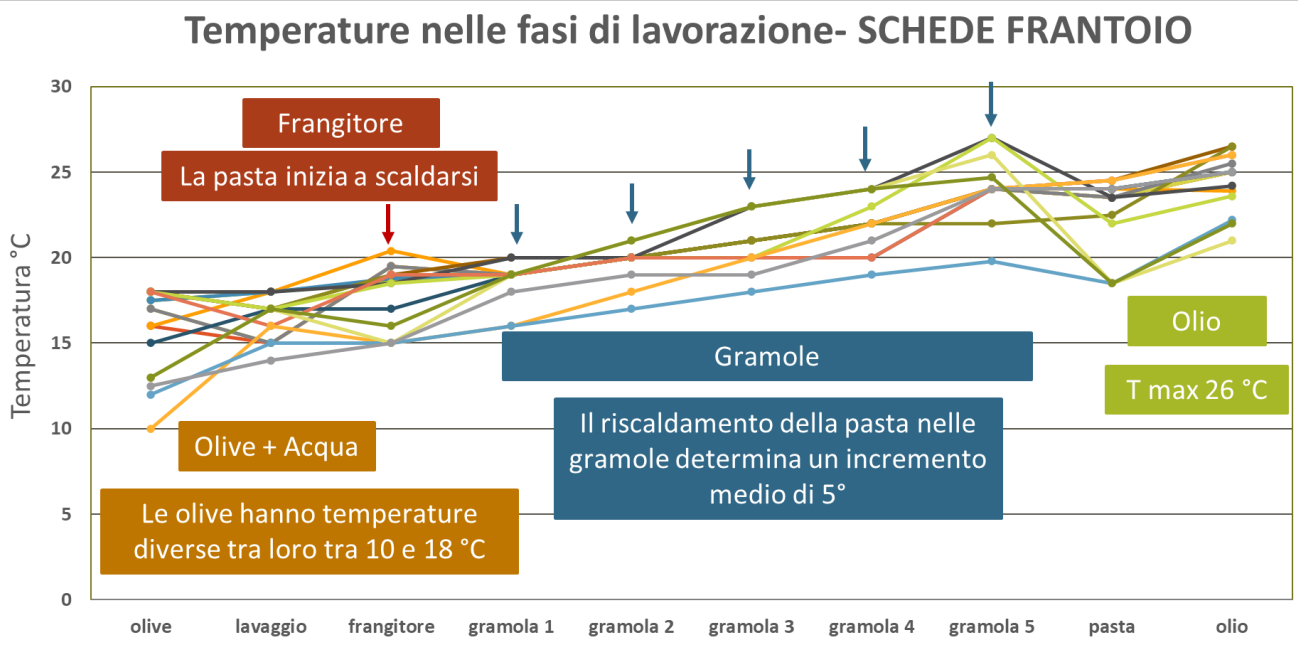


Figura 11. Monitoraggio Temperatura nelle fasi di lavorazione

Dai dati registrati durante le giornate di prova nei mesi di ottobre e novembre è stato possibile produrre un grafico da cui si possono trarre le seguenti informazioni:

- c'è una buona variabilità delle temperature all'interno delle varie fasi di lavorazione. Questo dato è da imputarsi principalmente al periodo di raccolta dati che comprendeva la fine del mese di ottobre (caratterizzato da temperature più miti) e la fine di novembre (mese caratterizzato invece da temperature più rigide), oltre ovviamente alla variabilità associata alle varie partite di olive da lavorare.

- il contatto delle olive con l'acqua di lavaggio determina uno scambio di calore apprezzabile con una variazione di temperatura di circa 3 °C.

- il frangitore determina un salto termico in riscaldamento pressoché costante per tutte e le prove e pari in media 4°C.

Queste due ultime indicazioni confermano da una parte la reale possibilità di utilizzare la lavatrice come uno scambiatore di calore in modo tale da ottenere una quota parte del salto termico necessario ad arrivare alla temperatura di estrazione desiderata, dall'altra confermano la necessità di condizionare termicamente la camera di frangitura per evitare innalzamenti di temperatura non desiderati e incontrollati.

- l'effetto complessivo ottenuto è stato quello di un riscaldamento della pasta che in circa 25 minuti passa in media da un minimo di 18 °C a un massimo di 27°C;

- le rese in olio sono ricadute in un intervallo di validità tecnica accettabile, variando da un minimo del 8,4 % per le prime prove ad un massimo del 15,5% circa (Figura 12).

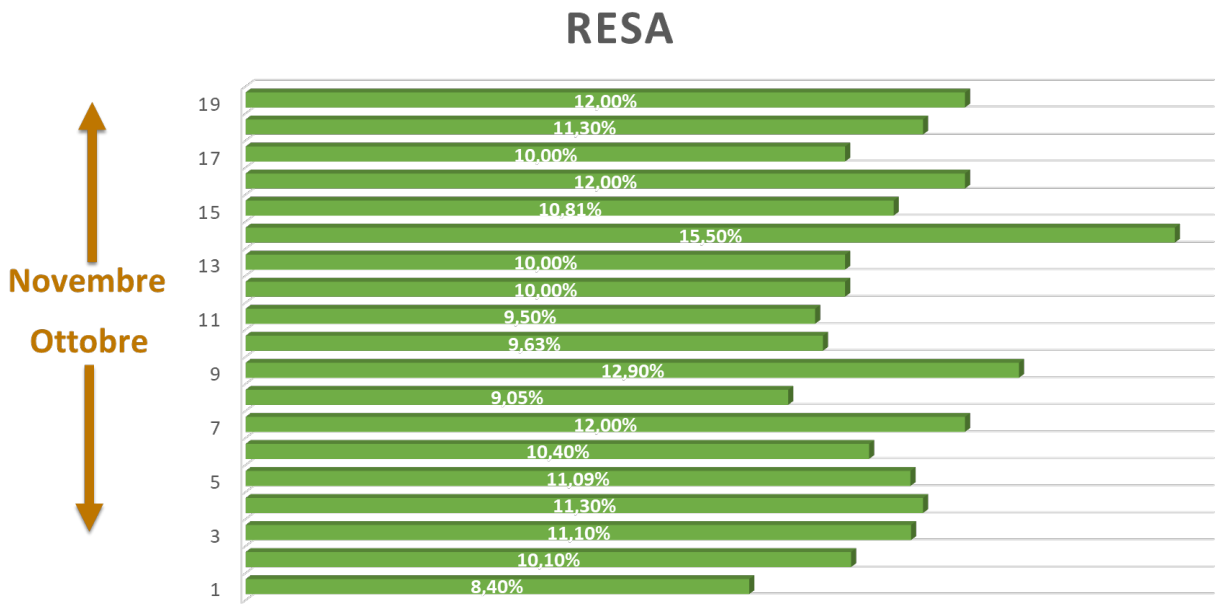


Figura 12. Rese in olio (in frantoio) ottenute nelle varie giornate di prove di funzionamento del frantoio.

Sono state prelevate diverse partite di sansa e di olive per stimare l'efficienza estrattiva dell'impianto, che è risultata pari a circa 80 ±1.3%.

A latere del monitoraggio effettuato, in alcuni giorni di prova sono stati effettuati altri due rilevamenti delle temperature in tutto il processo in due momenti della campagna 2020 molto distanti.

Il primo grafico riportato nella figura sottostate riguarda il periodo di novembre 2020 circa a metà campagna, mentre il secondo grafico si riferisce alle temperature registrate in un giorno di dicembre quindi a fine campagna. I due momenti sono riportati in quanto rappresentativi della variabilità climatica e quindi soprattutto termica che ci può essere all'interno della stessa campagna.

Dai grafici evince che per arrivare ad una temperatura finale dell'olio attorno a 25°C il salto termico da fare nel mese di dicembre è stato maggiore. Infatti, per il mese di dicembre caratterizzato da temperature delle olive in ingresso di circa 7 °C contro i 13°C medi di novembre, è stato necessario aumentare un po' la temperatura negli step successivi.

Si può osservare una maggior variabilità delle temperature all'interno delle varie gramole nel grafico del mese di dicembre (barre di errore più grandi), dovuta anche al diverso stato di maturazione\qualitativo delle olive che essendo a fine campagna presentavano ampia variabilità tra le varie partite.

Il salto termico maggiore è stato ottenuto impostando temperature crescenti per le cinque gramole, come si può vedere anche nel grafico stesso.

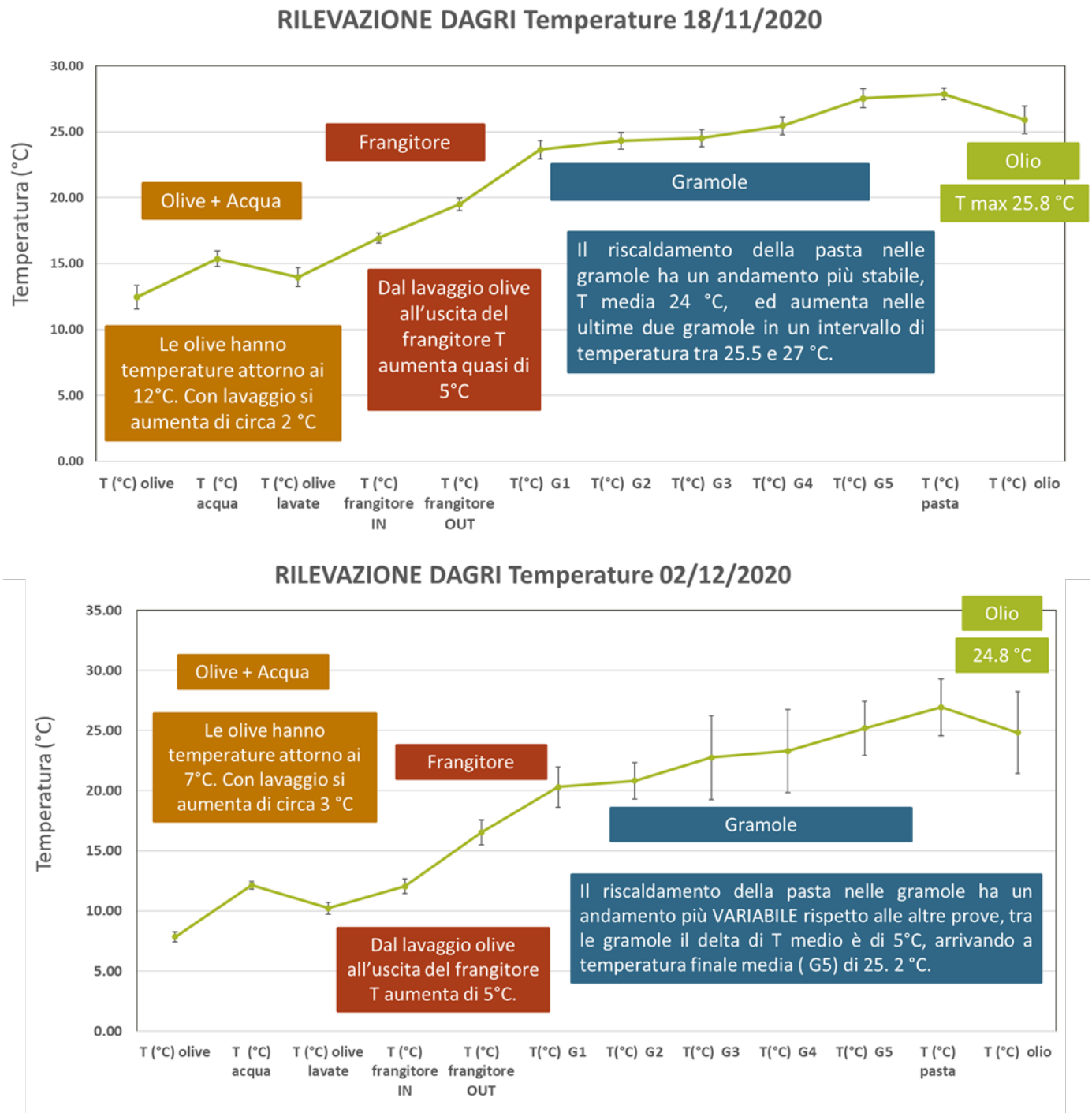


Figura 13 Monitoraggio Temperatura nelle fasi di lavorazione in due momenti differenti della campagna 2020.

- **Verifica dei sistemi di pulizia olive**

- *Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa*
  Analisi dei dati - Conclusa

Per la verifica di questi elementi prototipali inseriti nell'impianto di estrazione sono stati effettuati dei prelievi di materiale, oltre che un'ispezione visiva del sistema.

In particolare, per il sistema di pulizia delle olive sono stati raccolti campioni di acqua di lavaggio, effettuando campionamenti in momenti diversi della giornata.

- **Verifica del sistema di frantumazione foglie**
- *Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa*
  Analisi dei dati - Conclusa

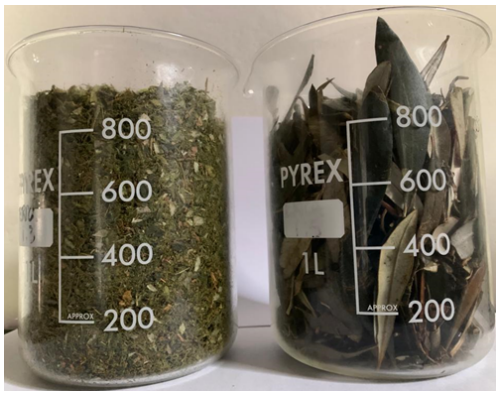
Le foglie, provenienti dalla fase di pulizia delle olive, sono state convogliate nel biotrituratore prototipale. Questo elemento innovativo aveva come obiettivo quello di diminuire notevolmente il volume delle foglie di olivo, consentendone una migliore gestione sia in termini di manodopera, facilitandone le operazioni di smaltimento, sia in termini di ingombro, facilitandone lo stoccaggio ed infine in termini ambientali, permettendone una più rapida degradazione nel terreno.

In Figura 14 sono riportate le due diverse tipologie di foglie: tritate, provenienti dal biotrituratore e intere. Per ciascuna tipologia è stata quindi misurata la massa volumica, ovvero la massa di foglie presenti all'interno di un volume unitario. Le foglie tritate hanno riportato una massa volumica media di 266.8 g/L, diversamente le foglie intere 153.3 g/L.

Il biotrituratore ha permesso quindi di ridurre notevolmente il volume delle foglie, facilitandone la gestione.

Foglie tritate

266.8 g/l



Foglie intere

153.3 g/l

Figura 14: foglie tritate e foglie intere

- **Test su sensoristica installata sulle gramole**

L'impianto prototipo è stato implementato con un sistema 'plug&play' per la misurazione della composizione gassosa dello spazio di testa sopra la pasta di olive in lavorazione. A questo scopo sono stati selezionati appositi sensori per i seguenti composti gassosi: ossigeno, anidride carbonica, etanolo, composti organici volatili. I sensori sono stati alloggiati all'interno di una cella di misurazione (scatola di derivazione impermeabile IP56, in PVC, 300 x 220 x 120 mm). La cella è stata anche dotata di una pompa ad aria per porre in ricircolo i gas dello spazio di testa in misurazione e di una interfaccia elettronica per la gestione dei sensori e la registrazione delle misure. Proprio in funzione del carattere 'plug&play', il sistema è stato dotato di opportune valvole ed innesti rapidi, in modo tale da poter effettuare i rilevamenti innestando e disinnestando il dispositivo di volta in volta in funzione dell'elemento dell'impianto che si desiderava monitorare, prevedendone l'applicazione oltre che sull'uno o l'altro dei 5 elementi tubolari di gramolazione, anche sul frangitore a livello dello scambiatore di calore.

Il dispositivo è stato testato sull'apparato di gramolazione durante la campagna di prove 2020. In particolare, il sistema è stato connesso all'ultimo dei cinque elementi di gramolazione durante prove ripetute di gramolazione/estrazione. Purtroppo, il responso è risultato positivo solo in misura ridotta. Durante la gramolazione si è infatti formata una fase di vapore d'acqua che ha interferito con il corretto funzionamento del sensore dedicato all'anidride carbonica.

Dopo pochi minuti dall'inizio delle prove il sensore faceva infatti registrare un malfunzionamento irrisolvibile nell'immediato e che ne ha quindi compromesso l'applicabilità e la conseguente verifica operativa. I sensori di ossigeno ed etanolo hanno invece funzionato regolarmente, anche se i valori misurati hanno comunque, verosimilmente, risentito dell'elevato tasso di umidità venutosi a creare all'interno della cella di misurazione e dell'acqua in fase liquida accumulatasi nelle tubature di adduzione dei gas. Contrariamente a quanto aspettato infatti, gli stessi sensori non hanno permesso di registrare variazioni significative delle concentrazioni dei relativi gas durante la gramolazione.

È anche probabile che a questo risultato abbia contribuito il modo di lavoro "in continuo" delle gramole prototipo. È infatti ipotizzabile che le dinamiche di variazione dei due gas in questione siano troppo lente rispetto al tempo di stazionamento della pasta nell'apparato prototipo. Il risultato necessita sicuramente di ulteriori indagini e conferme. Il sensore relativo ai composti organici volatili (VOC) ha invece registrato delle variazioni significative e riconoscibili del segnale durante le prove di gramolazione.

Questo è evidente dal grafico in Figura 15, dove il segnale in uscita al sensore è riportato in funzione del tempo di lavorazione. Lo stesso segnale segue, secondo un andamento quasi ciclico, le fasi riempimento e svuotamento dell'apparato di gramolazione. I valori crescono quindi in modo marcato durante la fase di riempimento della gramola, per raggiungere un valore massimo che sembra perdurare durare la fase stazionaria del rimescolamento. Il risultato, sicuramente da confermare ed indagare più approfonditamente, potrebbe permettere di sviluppare un indice di

"ottimo momento di estrazione", in grado di indicare in modo appunto ottimale il momento di termine della gramolazione e quindi di inizio estrazione.

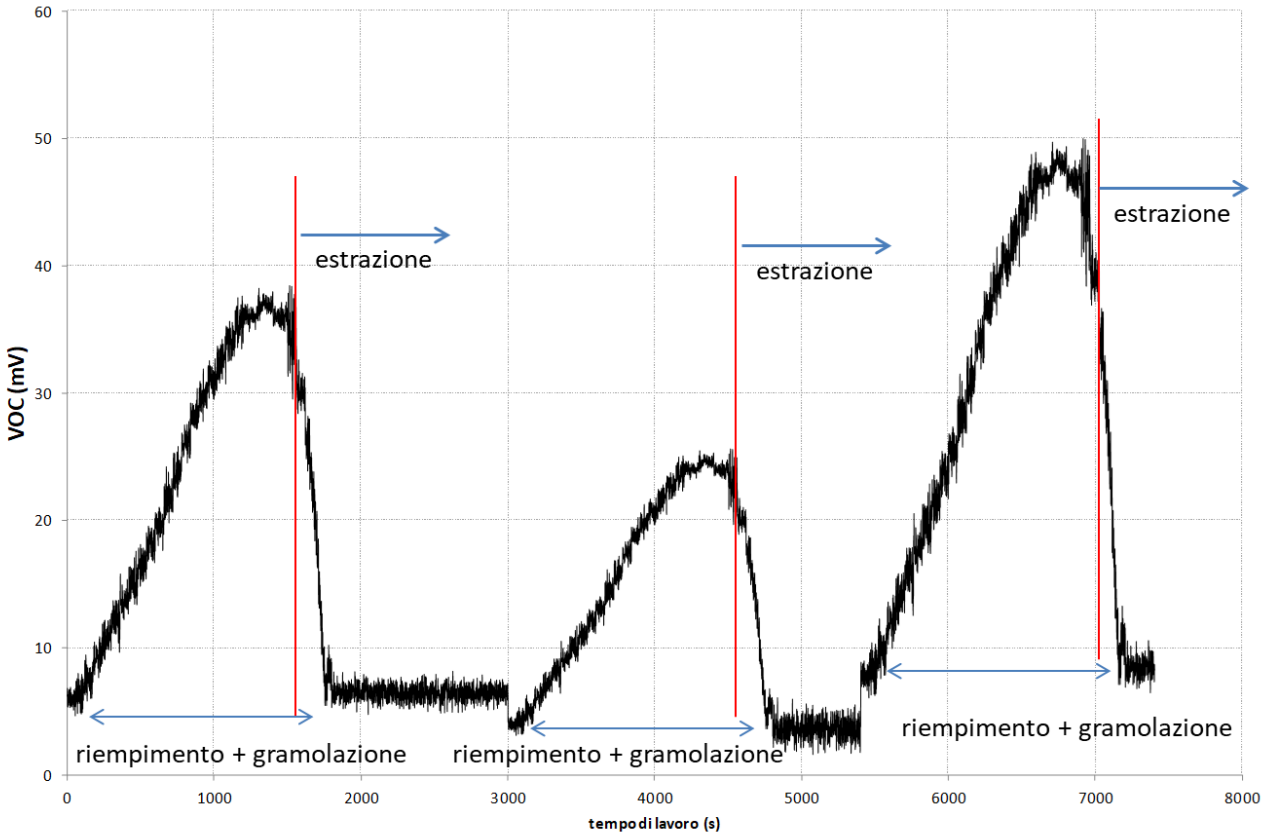


Figura 15. Misurazione della composizione gassosa dello spazio di testa sopra la pasta di olive in lavorazione

- **Test su inertizzazione del decanter e analisi qualitativa oli prodotti**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati - Conclusa

L'azoto essendo un gas inerte viene utilizzato per prevenire l'ossidazione e quindi preservare gusto, colore e proprietà dell'alimento.

È stato testato l'effetto del dosaggio di azoto al decanter con l'utilizzo di una bombola di azoto e di corrispettivo riduttore di pressione e flussimetro gas con scala 0.16-1.60 L/min.

La prova si è svolta confrontando diverse partite di pasta\olive e usando una parte di essa come controllo (non inertizzato) e una parte invece è stata sottoposta a trattamento con l'azoto.

Sono state effettuate le analisi qualitative sugli oli prodotti e anche un monitoraggio dell'ossigeno disciolto nei campioni per verificare se il trattamento inertizzante aveva ridotto la quantità di ossigeno disciolto.

Nella tabella sottostante si riportano i dati relativi alle misurazioni di ossigeno disciolto effettuate sui campioni di controllo appena prodotti e i rispettivi campioni inertizzati.

Come si può evincere dalla tabella in tutte e quattro le prove la quantità di ossigeno registrata nei campioni prodotti con il decanter inertizzato sono risultate inferiori rispetto ai campioni di controllo, ovvero prodotti con il sistema convenzionale non inertizzato.

Tabella 1. Valori di ossigeno di sciolto nei campioni di olio prodotti con e senza inertizzazione del decanter

Decanter			
Controllo	**Ossigeno mg/L**	**Inertizzato**	**Ossigeno mg/L**
1	10.9	1	8.3
2	8.9	2	8.5
3	9.8	3	8.6
4	9.2	4	8.5

Di seguito in tabella 2 vengono riportate le analisi qualitative effettuate sui campioni di olio di controllo e sui rispettivi oli prodotti con il sistema di inertizzazione.

Tabella 2. Analisi parametri qualitativi oli prodotti. I dati sono riportati come medie delle repliche per trattamento (inertizzato e controllo). Per ogni parametro qualitativo analizzato, lettere uguali (in colonna) accanto ai valor i medi indicano che non ci sono differenze significative tra i due trattamenti ($p<0,05$).

Trattamento	Acidi grassi liberi (% oleico)	N perossidi (meq/kg)	K232	K268	Biofenoli (mg/kg)	Tocoferoli (mg/kg)	Clorofilla (mg/kg)
Inertizzato	0,193 a	7,100 a	1,600 a	0,128 a	460,500 a	243,250 a	12,500 a
Controllo	0,185 a	6,700 a	1,575 a	0,125 a	472,000 a	235,750 a	13,500 a

Dall'analisi della varianza effettuata tra i due trattamenti presi in esame, non risultano differenze significative per nessun parametro qualitativo misurato. I campioni presentano valori simili per tutti i principali parametri qualitativi (lettere uguali, $p>0.05$).

Quindi, la piccola riduzione di ossigeno disciolto che abbiamo monitorato subito dopo l'estrazione non è risultata essere sufficiente per influenzare in maniera significativa altri parametri qualitativi.

Visti i risultati probabilmente il dosaggio azoto al decanter è da migliorare con opportuna impostazione del riduttore di pressione e flussimetro gas con scala adeguata ovvero con un flussimetro che possa dosare contenuto maggiore di azoto (ad esempio 20-80 L/min).

- **Test sul sistema innovativo di filtrazione**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati - Conclusa

Durante la campagna di prove è stato confrontato il sistema convenzionale di filtraggio a cartoni e il sistema con il filtro innovativo cartoni + acciaio, Figura 16.

Parametri valutati e misurati:

- quantità di olio filtrato per ciclo
- valutazione delle perdite| usabilità delle piastre inox.

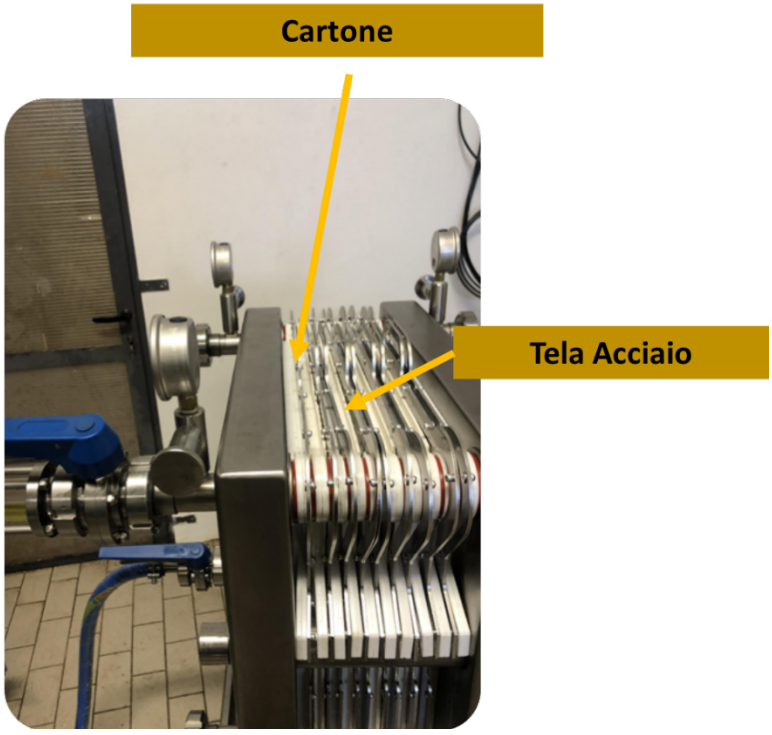


Figura 16. Sistema di Filtrazione Cartoni+ tele acciaio

Posizionando come riportato in figura, in maniera accoppiata tele in acciaio e cartoni filtranti, dopo 120 L di olio filtrato le tele si colmatano. Sostituendo le tele con altri cartoni sono stati filtrati altri 160 L di olio.

Quindi con un sistema a cartoni completo si filtrano circa 300-320 litri di olio, producendo però un altissimo quantitativo di materiale da smaltire (cartoni imbevuti di olio). Il sistema prototipale può essere migliorato e ne possiamo implementare le prestazioni variando la mesh della rete, in quanto probabilmente hanno un taglio di filtrazione troppo alto (5 um).

Il sistema prototipale ha comunque permesso di ridurre il quantitativo di cartoni da utilizzare, in quanto ha risparmiato la metà dei cartoni per 120 L, consentendo quindi sia di abbattere i costi di produzione, che di rendere questa fase meno impattante da un punto di vista ambientale.

- **Analisi qualitative oli prodotti e del Blend Olionostrum**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati – Conclusa

In questa campagna col frantoio prototipale sono stati prodotti diversi oli che hanno permesso di valutare alcune delle innovazioni inserite nel processo e di collaudare l'impianto in modalità operativa. Alcuni di questi oli provenivano da prove sperimentali dedicate, mentre altri campioni sono stati prodotti in giornate in cui si valutava il funzionamento dell'impianto e si effettuava il monitoraggio termico del processo.

Un primo aspetto sicuramente degno di nota è che tutti i campioni analizzati fino ad ora rispettano i limiti dei parametri commerciali per l'Olio Extra Vergine di Oliva. Parametri che risultano ampiamente al disotto dei limiti di legge. Per legge il limite di acidità per un olio extravergine di oliva è 0,8%, ma in un olio extravergine d'oliva di qualità i valori sono decisamente più bassi (0,1-0,35%). Gli oli prodotti in questa campagna presentano acidità inferiore a 0.2%.
Anche i valori relativi al numero di perossidi sono stati molto buoni. A norma di legge il limite relativo al numero di perossidi in un olio extravergine d'oliva è 20. Il numero di perossidi si esprime in meq O_2 /kg di olio. Un elevato numero di perossidi evidenzia un processo di ossidazione già avviato, il risultato è la progressiva degradazione di molti composti fondamentali per la nostra alimentazione (vitamine, polifenoli, etc.) oltre al graduale irrancidimento dell'olio che diviene anche sgradevole al gusto.
Gli oli prodotti in questa campagna di prove presentavano valori di perossidi inferiori a 6 meq O_2 /kg (valore massimo registrato a fine campagna in una prova sperimentale).
Più che soddisfacenti sono risultate le concentrazioni in composti fenolici.
Le concentrazioni fenoliche degli oli prodotti sono risultate comprese tra 470- 630 mg/kg, un intervallo ampio che rispecchia i diversi protocolli operativi adottati e che include le diverse condizioni climatiche peculiari dei diversi periodi di lavorazione.
Dal punto di vista chimico, tali sostanze (dette anche biofenoli) prevengono le reazioni di ossidazione, sono quindi degli antiossidanti e contribuiscono alla stabilità dell'olio nel tempo ritardando la degradazione degli acidi grassi in esso presenti e, quindi, il suo irrancidimento.

Data la qualità degli oli prodotti, alla fine della campagna di prove sono state selezionate alcune partite particolarmente interessanti qualitativamente e, con una attenta composizione di queste (blend) abbiamo ottenuto Olionostrum 2020.

Il blend Olionostrum è stato caratterizzato da un punto di vista chimico, aromatico e sensoriale.
Da un punto di vista sensoriale, l'olio si presenta al naso con una intensità medio alta di fruttato.
I sentori sono sia verdi con spiccate note di erba e insalate, ma anche di foglia di olivo e di carciofo.
Si può percepire anche una sensazione di pomodoro verde.
In bocca si confermano i sentori del naso con maggiore uscita del carciofo e la comparsa della mandorla verde, l'amaro e il piccante risultano equilibrati fra loro e piuttosto intensi come è tipico per gli oli della zona. Un olio quindi molto complesso che racconta il territorio di Bucine e la Valdambra. Il blend Olionostrum è inoltre entrato nella Selezione Leone d'Oro 2021, un concorso che valuta i migliori oli extravergine del mondo.

Fruttato	5,3
Amaro	6,7
Piccante	6,1
Complessità	5
Armonia	4,6
Mandorla Verde	4,3
Carciofo	3,4
Timo	1,9
Erbe Aromatiche	2,6
Foglia di Olivo	3,1
Noce	2,3
Balsamico	1,9
Acerbo	3,8
Rucola	2,3
Erbaceo	2,6

Figura 17 Spider Plot sensoriale del Blend OlioNostrum

Da l'analisi chimica emerge, come già indicato precedentemente, che l'olio prodotto rientra abbondantemente nei limiti dei parametri commerciali per l'Olio Extra Vergine di Oliva. Parametri che risultano ampiamente al disotto dei limiti di legge. Di particolare rilevanza è il contenuto in Biofenoli che risulta essere molto elevato.

Tabella 3. Analisi chimiche del Blend Olionostrum

	acidi grassi liberi (% oleico)	N perossidi (meq/kg)	K232	K268	Biofenoli (mg/kg)	Tocoferoli (mg/kg)	Clorofilla (mg/kg)
Olionostrum	0,13 ± 0,02	4,3 ± 0,8	1,68 ± 0,15	0,14 ± 0,02	597 ± 65	324 ± 29	18 ± 0,1

Di seguito è riportata l'analisi aromatica effettuata sull' olio Olionostrum e su alcuni oli che hanno preso parte, seppur in quote diverse, alla formazione del blend. L'identificazione e la quantificazione dei composti organici volatili (VOC) è stata eseguita mediante microestrazione in fase solida dello spazio di testa accoppiata con gascromatografia-spettrometria di massa (HS-SPME-GC-MS) utilizzando il metodo degli standard interni multipli.

Nel grafico sono riportati con il colore verde la somma dei "composti positivi" di cui fanno parte Z3-hexenal, E2-hexenal, Z3-Hexen-1-ol, E2-esenilacetato, Z3-esenil-acetato, 1-Pentanol, 2-Pentenal, (E), Z2-penten-1-ol ed altri composti, che sono caratterizzati da una soglia di percezione significativa (>1)e che quindi contribuiscono più di altri composti nella percezione dell'aroma complessivo degli oli. Questi composti sono ritenuti responsabili delle cosiddette note di verde e di fruttato dell'olio di oliva di buona qualità. Come si vede nel grafico la concentrazione di questi composti è molto alta e si sono riscontrate delle piccole differenze tra gli oli testati.

Complessivamente, come si può vedere osservando il profilo del blend le concentrazioni di composti positivi quantificati negli oli sono elevate e di gran lunga superiori a quelle dei composti negativi. Per quanto riguarda quest'ultimi, le loro concentrazioni sono molto basse e ci sono poche differenze fra gli oli testati. Questo risultato può indicare che i protocolli operativi osservati dagli operatori nelle giornate di prova, lo stato di maturazione e di salute delle olive sono stati idonei a produrre degli oli che non avessero una concentrazione importante di composti considerati sgradevoli, ovvero correlati alle sensazioni di rancido e riscaldo.

Si può osservare in fine come il Blend Olionostrum sia risultato il campione con minor quantità di composti negativi e con alta concentrazione di composti positivi, risultato validato anche dal panel test del gruppo di assaggiatori del concorso a cui partecipa.

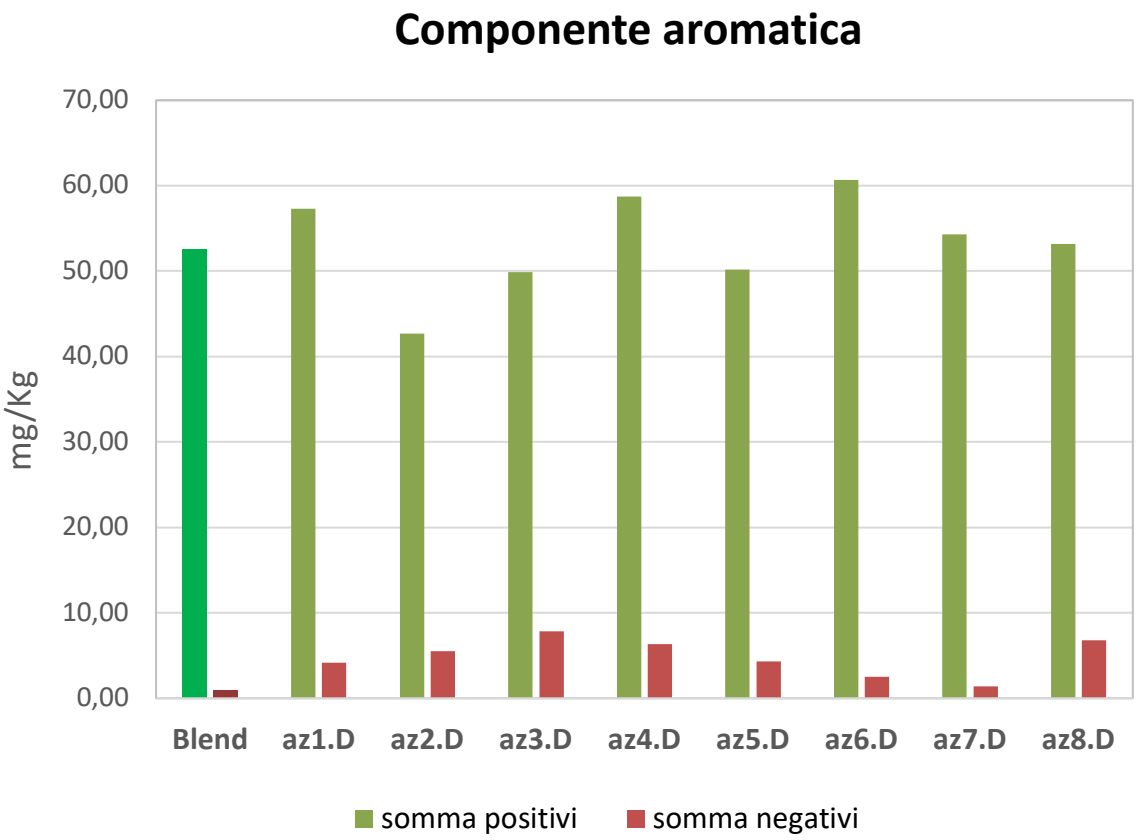


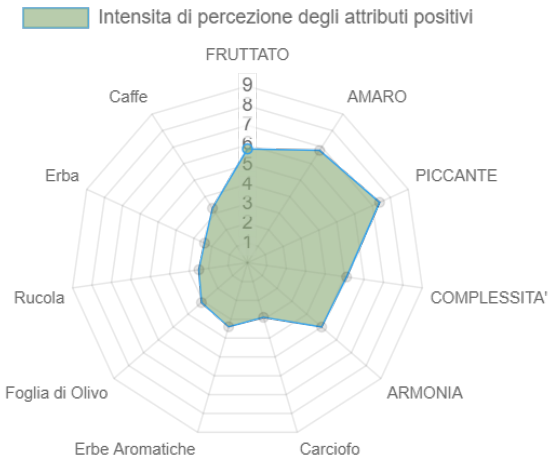
Figura 18 Analisi composti aromatici del Blend Olionostrum e di alcuni oli che ne fanno parte.

Di seguito si riportano a titolo esemplificativo alcune delle analisi condotte agli oli durante la campagna di prove. Si può notare che oli prodotti nella stessa giornata di lavorazione sono stati percepiti dal panel test e convalidati dall'analisi chimiche molto differenti tra loro. Questo risultato conferma che l'ampio margine di variazione delle condizioni operative che è possibile gestire nel frantoio prototipo ha permesso di generare dei prodotti molto diversi tra loro e che le caratteristiche degli oli sono in larga modulabili in funzione dei settaggi operativi scelti in fase di lavorazione.

Molitura 07.11

Profilo sensoriale

Voto finale: 81.00

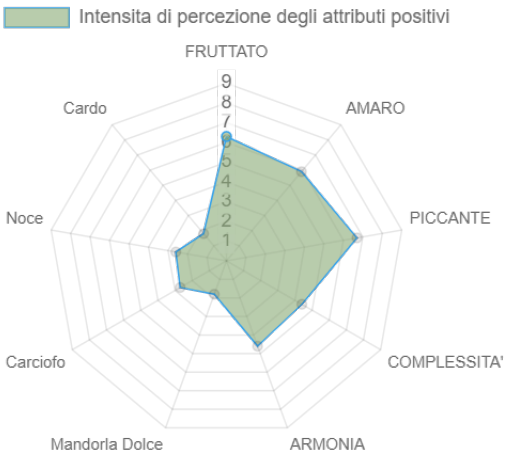


Analisi chimiche

Acidi Grassi Liberi % acido oleico	Numero di Perossidi meq/kg	Analisi Spettrofotometrica nell'ultravioletto	K 232	K 268	Delta K	Biofenoli mg/kg
0.19	5.6	-	1.68	0.14	0.01	523

Molitura 28.10

Profilo sensoriale



Voto finale: 71

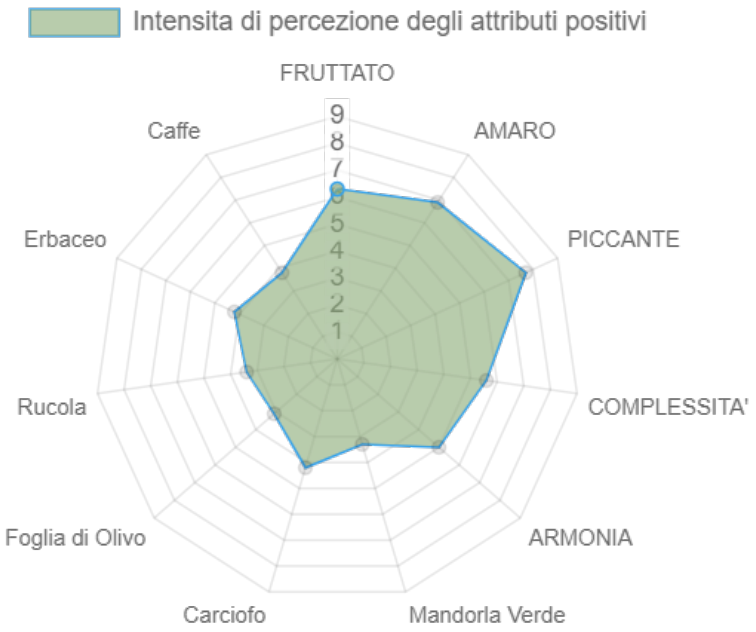
Analisi chimiche

Acidi Grassi Liberi	Numero di Perossidi	Analisi Spettrofotometrica nell'ultravioletto	K 232	K 268	Delta K	Biofenoli
% acido oleico	meq/kg					mg/kg
0.14	6.5	-	1.88	0.15	0.01	657

Molitura 29.10.20

Profilo sensoriale

Voto finale 82.5



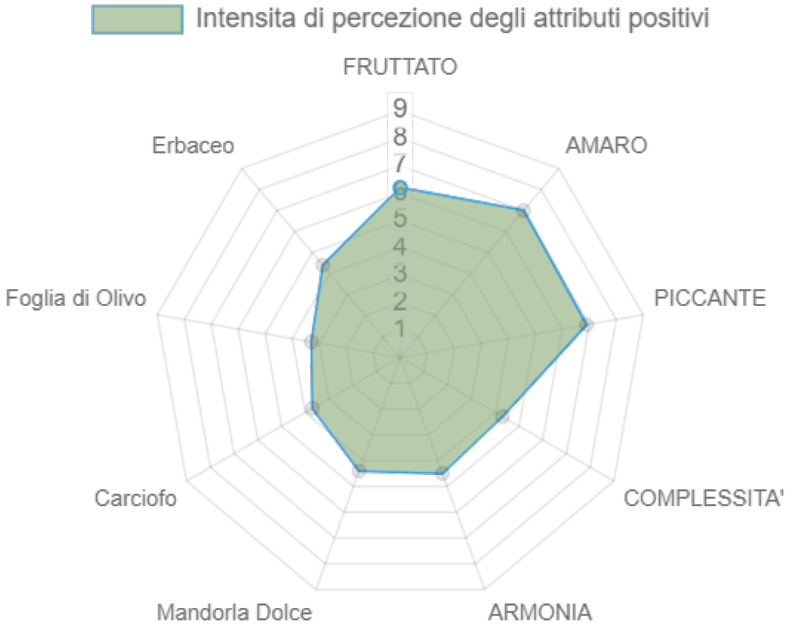
Analisi chimiche

Acidi Grassi Liberi % acido oleico	Numero di Perossidi meq/kg	Analisi Spettrofotometrica nell'ultravioletto	K 232	K 268	Delta K	Biofenoli mg/kg
0.15	4.6	-	1.85	0.15	0.01	560

Molitura 10..11.20

Profilo sensoriale

Voto finale 81.5



Analisi chimiche

Acidi Grassi Liberi % acido oleico	Numero di Perossidi meq/kg	Analisi Spettrofotometrica nell'ultravioletto	K 232	K 268	Delta K	Biofenoli mg/kg
0.17	6.7	-	1.66	0.15	0.01	563

Criticità riscontrate nel corso delle due stagioni di prove operative

Di seguito sono riportati alcuni punti critici riscontrati durante prove effettuate nel corso del 2019 e del 2020.

- Problemi di tenuta idraulica delle tubazioni
- Impostazione e Gestione delle elettrovalvole del circuito caldo/freddo
- Software/PLC migliorabile
- Intasamenti ed ostruzioni determinate da residui di lavorazione
- Semplicità di pulizia del frangitore migliorabile

Tutte le criticità riscontrare sono state in parte superate nel corso dei due anni di prove mentre per alcune di esse è necessario in futuro uno sviluppo ulteriore.

Prove specifiche su alcuni elementi prototipali

Di seguito si riportano invece nel dettaglio le prove effettuate su alcuni elementi prototipali selezionati. Queste prove sono terminate da un punto di vista di raccolta dati e di verifica operativa e sono concluse per quanto riguarda la parte di analisi dei dati.

- **Test sul Biotrituratore di foglie, possibile valorizzazione dei sottoprodotti del frantoio con tecniche di estrazione in idrodistillazione**

  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati- Conclusa

Durante le diverse fasi di lavorazione in frantoio, sono prodotti altri residui oltre alle foglie, come la sansa, il nocciolino e l'acqua di vegetazione. Oggi questi prodotti sono spesso considerati dei rifiuti da smaltire. Le pratiche più comuni prevedono lo spandimento direttamente nel terreno agricolo. Le foglie, provenienti sia dalla fase di pulizia (circa il 10% del peso della biomassa in entrata al frantoio), sia dalla fase di potatura (circa 25 kg di foglie per olivo) sono generalmente utilizzate come fertilizzante e sparse nel terreno. In altri casi, sono utilizzate come mangime per gli animali o cedute ad aziende esterne come biomassa. Allo stesso modo, la sansa (circa il 40% del peso delle olive lavorate) viene sparsa nel terreno, in alcuni casi venduta a sansifici o ad aziende esterne come biomassa. Infine, il nocciolino viene venduto quasi esclusivamente ad impianti a biomassa.

Tuttavia, le attuali strategie basate su un modello economico lineare di "fare - produrre - smaltire", si stanno dimostrando sempre più insostenibili. Al contrario il concetto di economia circolare, che

mira a mantenere il valore dei prodotti il più a lungo possibile, riducendo al minimo l'uso delle risorse e la produzione di rifiuti, si sta affermando sempre di più, soprattutto in ambito agricolo.

Negli ultimi decenni, lo studio degli impieghi alternativi dei residui agroalimentari come i residui della trasformazione dell'olio d'oliva, ha attirato sempre più l'attenzione dei ricercatori. I residui del frantoio sono stati studiati come possibile fonte naturale di composti bioattivi con proprietà antiossidante, antimicrobica, antinfiammatoria etc. Questo ha permesso la valorizzazione dei residui del frantoio sia in termini economici che ambientali, diventando possibili ingredienti impiegati nella formulazione di prodotti superiori nelle aziende farmaceutiche, cosmetiche ed alimentari.

Al giorno d'oggi, una grande varietà di tecniche può essere utilizzata per il recupero di composti bioattivi dai residui agroalimentari. Tra queste, le tecniche che utilizzano solventi organici sono sicuramente le più diffuse per la loro elevata capacità di estrazione, tuttavia risultano essere altamente inquinanti per l'ambiente e per la salute umana.

Risulta quindi necessario studiare e testare metodologie alternative, che, ad esempio, non richiedono l'uso di solventi organici e che possano essere economicamente sostenibili per le aziende interessate. Negli ultimi anni, diversi studi hanno indagato l'uso dell'acqua come solvente "green" di estrazione, grazie al suo carattere non nocivo.

I residui provenienti dal frantoio di Bucine sono stati quindi sottoposti ad un processo di idrodistillazione. Questo è stato impiegato come metodo sostenibile per il recupero di composti bioattivi.

L'idrodistillazione è una variante della distillazione a vapore, in cui la matrice è a diretto contatto con il solvente. Questa tecnologia viene generalmente utilizzata per l'estrazione di metaboliti secondari dalle piante. Il processo utilizza il vapore come agente di estrazione per vaporizzare i composti volatili nella matrice. Quando l'acqua viene utilizzata come solvente, la matrice in lavorazione subisce auto idrolisi in condizioni intermedie di temperatura (circa 100 °C), permettendo così di ottenere contemporaneamente due frazioni potenzialmente differenti: la frazione condensata, recuperata nella colonna del condensatore, e l'estratto d'acqua, cioè un fitocomplesso recuperato all'interno della caldaia.

L'impianto di estrazione in idrodistillazione (estrattore per oli essenziali 12 litri plus, Albrigi Luigi, Italia) è riportato in figura.

Figura 19. Impianto di estrazione in idrodistillazione.

Quindi, le foglie triturate provenienti dal biotrituratore del frantoio di Bucine, sono state sottoposte al processo di idrodistillazione. Successivamente, sono stati studiati altri due residui: la sansa ed il nocciolino.

Dopo aver accuratamente scelto i parametri per il processo, le tre matrici sono state sottoposte ad estrazione mediante idrodistillazione. Per ogni matrice sono state ottenute due frazioni: la frazione condensata, potenzialmente ricca di composti volatili, ed un fitocomplesso, potenzialmente ricco di composti bioattivi (polifenoli etc). Queste sono state opportunamente centrifugate, filtrate e campionate. Successivamente, stoccate in congelatore per essere analizzate. Le frazioni di ogni matrice sono riportate in Figura.

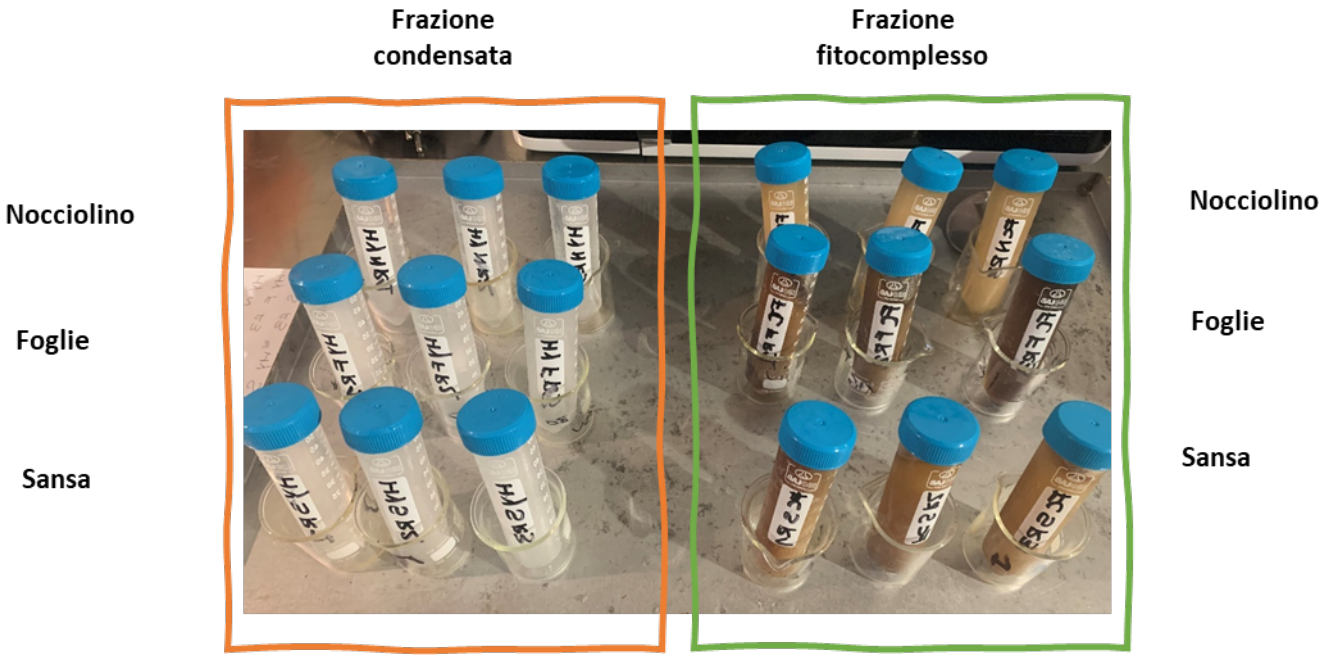


Figura 20. Frazioni ottenute dal processo di idrodistillazione dei residui.

Successivamente, le due frazioni sono state caratterizzate con analisi fisico – chimiche (solidi totali disciolti, conducibilità elettrica, potenziale di ossidoriduzione e pH). Inoltre, sono state analizzate sia tramite la tecnica GC-MS (Gascromatografia e spettrometria di massa) per la caratterizzazione del profilo aromatico, sia tramite HPLC (Cromatografia liquida ad alta prestazione) per la caratterizzazione del profilo chimico.

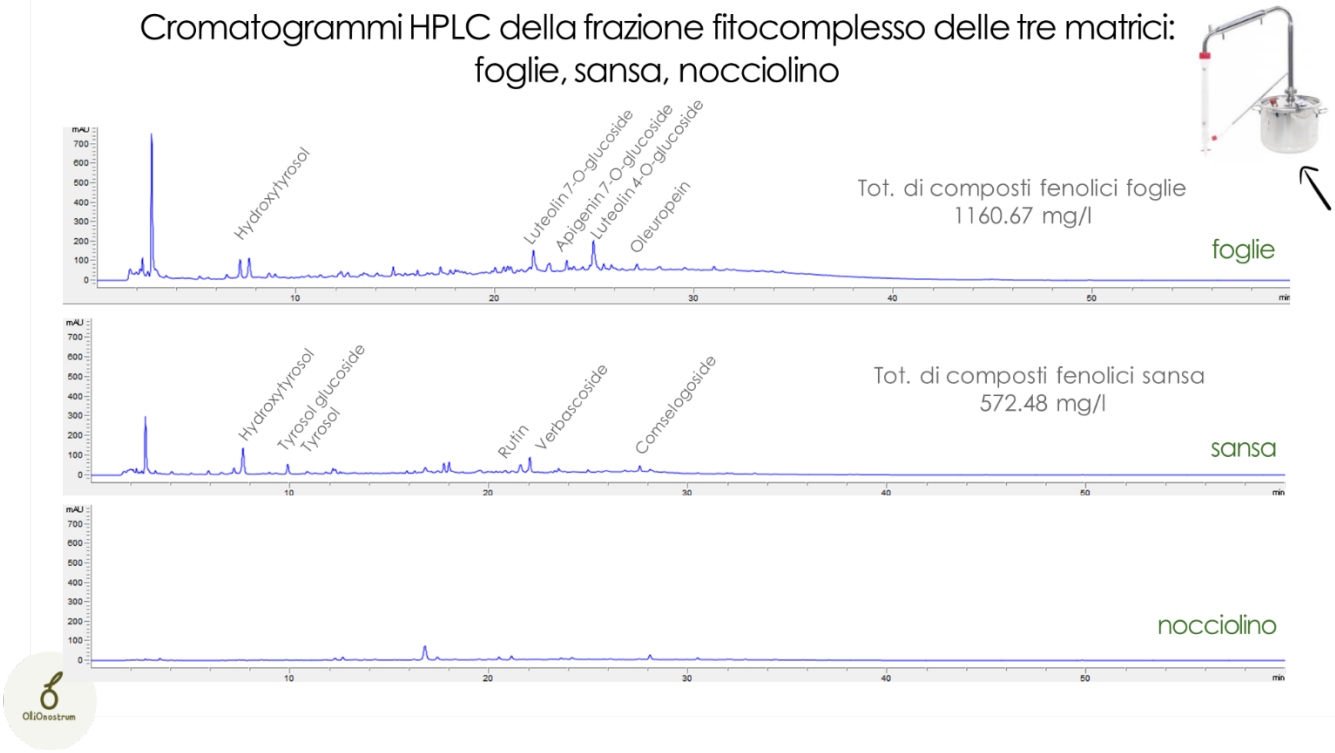


Figura 21. Frazioni ottenute dal processo di idrodistillazione dei residui.

I dati ottenuti ci permettono di affermare che le due frazioni ottenute dalle diverse matrici studiate (foglie triturate, sansa e nocciolino) presentano caratteristiche interessanti. Dal punto di vista aromatico, nei diversi profili cromatografici riportati dall'analisi GC – MS sono stati ritrovati diversi composti aromatici sia nella frazione condensata che nella frazione del fitocomplesso. Dall'analisi dell'HPLC, i principali polifenoli sono stati ritrovati nelle tre differenti matrici, in quantità maggiore nella frazione del fitocomplesso, rispetto alla frazione condensata. Infine, i risultati di TDS, conducibilità elettrica, ORP e pH hanno permesso di caratterizzare ognuna delle frazioni di ciascuna delle matrici.

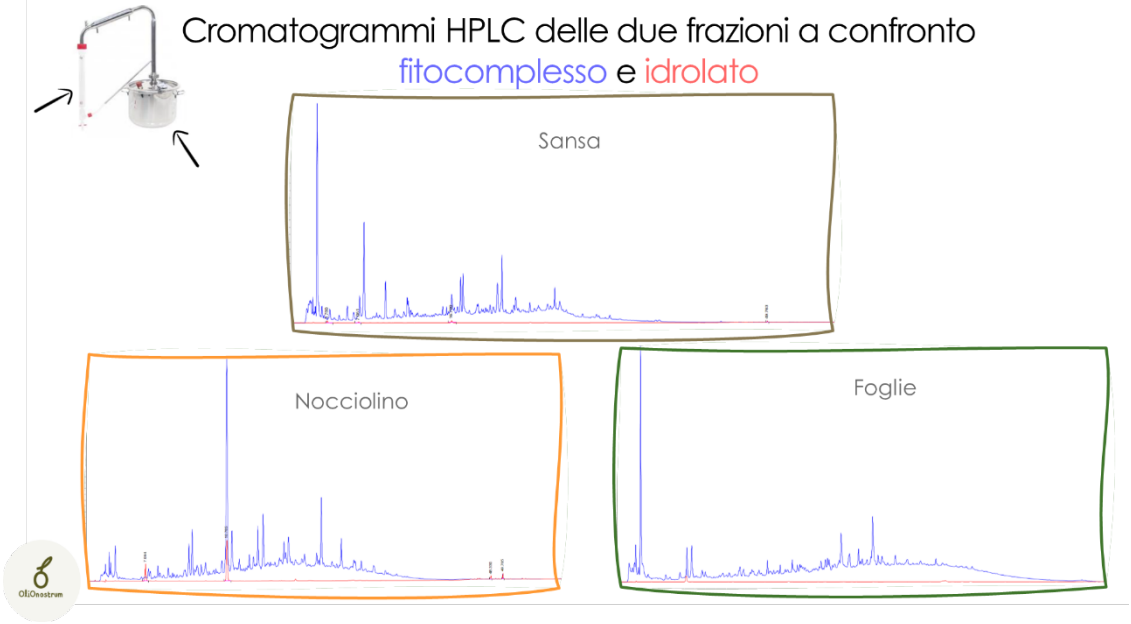


Figura 22. Frazioni ottenute dal processo di idrodistillazione dei residui.

In conclusione, la metodologia proposta può considerarsi una valida alternativa per il recupero di composti bioattivi ad alto valore aggiunto dai residui proveniente dal frantoio. Permettendo la valorizzazione dei diversi residui, che ad oggi sono perlopiù considerati soltanto dei rifiuti da smaltire. Più in generale, potrebbe divenire l'anello mancante da apportare all'interno della propria azienda agricola in un'ottica di economia circolare, essendo un processo sostenibile sia in termini ambientali, che in termini economici per varie tipologie di azienda.

- **Test sul frangitore: Dosaggio dell'ossigeno sulla pasta in uscita dal frangitore**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati – Conclusa

Gran parte del potenziale che l'olio saprà sviluppare, sotto il profilo aromatico ed organolettico, si prepara nelle fasi di frangitura e gramolatura. Ciascuna di queste operazioni tecnologiche influisce sulla qualità del prodotto.

Alcuni composti sono presenti nel tessuto intatto del frutto, mentre altri sono formati durante la rottura del tessuto cellulare, a causa di reazioni enzimatiche in presenza di ossigeno.

La maggior parte degli aromi dell'olio si originano da una serie di reazioni enzimatiche che vanno sotto il nome di "cascata delle lipossigenasi", in conseguenza della rottura della struttura cellulare nella fase di frangitura, che consiste nella rottura della parete cellulare e delle membrane mediante azioni meccaniche che provocano con la conseguente fuoriuscita dei succhi cellulari e dell'olio.

La Frantumazione della drupa e il riscaldamento della pasta sono pertanto processi a cui prestare la massima cura con macchinari che da un lato sappiano scongiurare fenomeni ossidativi o deterioranti e dall'altro esaltare le migliori proprietà delle olive.

I dati scientifici pubblicati in diversi lavori confermano che i fenomeni ossidativi a carico dei diversi substrati disponibili nella pasta di oliva in gramolazione, crescono con la disponibilità di ossigeno. Essendo l'ossigeno un co-substrato della cascata della lipossigenasi, la sua concentrazione durante la fase di frangitura può influenzare diverse classi di composti volatili.

Se da un lato l'assenza di ossigeno garantisce oli ricchi in sostanze antiossidanti, dall'altro riduce drasticamente i composti responsabili delle note sensoriali dell'olio.

Il dosaggio controllato di ossigeno nella pasta di olive risulta essere un parametro di primaria importanza per garantire oli di elevata qualità. Per questo motivo il frangitore prototipale progettato ed installato nel frantoio di Bucine ha tra le caratteristiche principali quella di essere provvisto di un dispositivo per il dosaggio controllato a flusso costante di ossigeno nella pasta.

La ricerca aveva come oggetto di studio quello di valutare gli oli prodotti con differente quantitativo di ossigeno dosato direttamente nella pasta in uscita al frangitore, in relazione alle velocità diverse di frangitura.

L'ossigeno è stato insufflato direttamente nella pasta attraverso un flussimetro opportunamente dimensionato ed interfacciato a un compressore alimentare (oil-less). Sono stati adottati 2 livelli di ossigeno diversi e testati a due velocità di frangitura differenti, 2500 e 3500 giri /min. Inoltre, è stato testato anche un campione di controllo senza aggiunta di ossigeno ad entrambe le velocità di frangitura. Per ogni settaggio sono state effettuate 3 repliche per un totale di 18 oli prodotti e analizzati.

I parametri quali-quantitativi valutati sono stati:

- Il monitoraggio del contenuto di ossigeno disciolto negli oli prodotti, al fine di verificare se la quantità di ossigeno insufflata nella pasta fosse consumata nel processo di gramolazione.
- Parametri chimici qualitativi

- Analisi dei composti aromatici volatili.
- Panel test per definizione di un profilo sensoriale

Dai primi risultati elaborati emerge che gli oli prodotti e analizzati fino ad ora rispettano i limiti dei parametri commerciali per l'Olio Extra Vergine di Oliva. Parametri che risultano ampiamente al disotto dei limiti di legge.

I campioni presentano un'acidità media inferiore a 0,17 % acido oleico (max 0,8%), valori di perossidi inferiore a 3 meq O_2/kg (max 20 meq O_2/kg) e un elevato contenuto in polifenoli con valori che vanno da 500 a 630 mg/kg.

Questi dati rafforzano e confermano quanto emerso in tutta la campagna di prove trascorsa, ossia che la combinazione tra materie prime e l'attuazione di adeguati protocolli operativi applicati ad un impianto di lavorazione controllato in ogni singola fase, ha generato degli ottimi risultati in termini di qualità degli Oli extravergine di oliva prodotti.

Altri risultati ottenuti confermano, come da ricerche presenti in letteratura scientifica, che la velocità del frangitore influenza alcuni parametri chimici qualitativi.

I risultati dell'analisi della varianza hanno mostrato che una frantumazione a maggiore velocità di rotazione degli organi frangenti aumenta significativamente il contenuto di alcuni composti fenolici della classe dei secoiridoidi. I secoiridoidi sono i composti prevalenti dell'olio vergine d'oliva e in particolare si è osservato un aumento nella concentrazione di diversi derivati agliconici dell' oleuropeina. I secoiridoidi agliconi quali il 3,4-DHPEA-EDA, il p-HPEA-EDA, il p-HPEA-EA e il 3,4-DHPEA-EA si originano durante la fase di frangitura per idrolisi dell'oleuropeina, della demetiloleuropeina e del ligstroside; la reazione è catalizzata dalle β-glucosidasi endogene.

E' stato riscontrato un effetto sul profilo aromatico, analizzato attraverso la gas-cromatografia accoppiata a spettrometria di massa, per quanto concerne il diverso dosaggio di ossigeno direttamente sulla pasta in uscita dal frangitore.

In questo caso già la minima concentrazione di ossigeno introdotta ha apportato una differenza significativa per un buon numero di composti relativi alla via della lipossigenasi , ritenuti responsabili delle cosiddette note di verde e di fruttato. I composti volatili C6 e C5 responsabili delle note odorose degli oli vergini di oliva provengono dalla via della lipossigenasi primaria e secondaria, rispettivamente.

Dall'assaggio dei campioni prodotti da un panel di esperti assaggiatori è emerso che a velocità di frangitura maggiore si sono prodotti oli percepiti più amari, come confermato da altri studi. Ed inoltre, che I campioni prodotti con l'aggiunta di ossigeno nella pasta sono stati percepiti come più fruttati rispetto al campione di controllo senza ossigeno.

- **Valutazione dell'efficienza di scambio termico su gramola prototipale**
  Prove e verifiche operative, raccolta dati- Conclusa
  Analisi dei dati - Conclusa

Nel processo di estrazione dell'olio extra vergine di oliva (EVO), la fase di gramolazione rappresenta il "cuore" dell'impianto. La realizzazione di un prodotto di qualità passa necessariamente da un rigoroso controllo dei parametri operativi di questa operazione, come tempo, temperatura, contatto con l'ossigeno. Questi vanno infatti a regolare non solo fenomeni prettamente fisici, come la coalescenza delle micro-gocce di olio, ma anche chimico-fisici e biochimici responsabili a loro volta di ossidazione dei trigliceridi e dei composti fenolici, e della produzione di composti volatili.

Le recenti pratiche operative si stanno sempre più orientando verso una riduzione dei tempi di gramolazione e per uno stretto controllo della temperatura di lavorazione, che spesso non supera i 27 °C. L'importanza del controllo di quest'ultimo parametro è dovuta alla sua capacità di regolare una molteplicità di fenomeni di diversa natura. La temperatura ha prima di tutto un forte impatto sulla resa di estrazione al decanter, poiché riducendo la viscosità della pasta favorisce il mescolamento della stessa e la coalescenza della frazione oleosa. Dall'altro lato, attraverso un'influenza diretta sulle costanti cinetiche, regola la velocità di diverse reazioni chimiche ed enzimatiche.

Mentre il fattore "tempo" rimane ben controllabile dall'operatore, non possiamo dire lo stesso per la variabile "temperatura". Le criticità possono essere dovute ad un cattivo funzionamento degli scambiatori di calore, dovuto ad un sottodimensionamento dell'impianto o alla scarsa manutenzione/pulizia dello stesso, alla geometria/struttura della gramola che, per tempi brevi, non consente il raggiungimento della temperatura di lavorazione desiderata, o addirittura a errori di gestione nel settaggio mediante il sistema elettronico di controllo.

Nell'ambito della ricerca, vi sono stati vari tentativi per il miglioramento dell'efficienza di scambio termico dei dispositivi di gramolazione, come l'implementazione di scambiatori di calore post-frangitura per un condizionamento termico della pasta pre-gramolatura, le modifiche nella geometria della gramola o dell'aspo o l'applicazione di tecnologie altamente innovative.

Il prototipo di gramolazione realizzato per il progetto Olionostrum, tra i diversi obiettivi di innovazione, si prefissava quello di migliorare l'efficienza di scambio termico della macchina. In sostanza, si è cercato di facilitare il trasporto di calore tra l'acqua di condizionamento (capace di lavorare sia in riscaldamento che in raffreddamento) e la pasta mediante una conformazione più stretta ed allungata rispetto alle gramole verticali convenzionali, tale da incrementarne la superficie di scambio tra i due fluidi.

Scopo delle prove sperimentali a livello di gramolazione è stato quello di comparare le performance di scambio termico del prototipo in relazione ai modelli di gramola convenzionali andando a misurare il coefficiente globale di scambio termico U [$W/m^2 \times K$] sulla gramola Olionostrum e sulle altre macchine presenti sul mercato.

La metodologia impiegata per il calcolo si è basata sulle equazioni che regolano il trasporto di calore tra due fluidi separati da una parete dove la potenza termica $\dot{Q}$ scambiata vale:

$\dot{Q} = A\ U\ \Delta Tml$ [W]

A: superficie di scambio

U: coefficiente globale di scambio termico

ΔTml : differenza media logaritmica di temperatura tra i due fluidi

Il coefficiente globale di scambio termico U [W/m2 × K] rappresenta l'inverso della resistenza termica R [K/W] che si oppone al trasporto di calore. In contrapposizione al coefficiente U, la resistenza termica R rallenta il trasporto di calore. Essa è infatti direttamente proporzionale allo spessore della parete che separa i fluidi e inversamente proporzionale alla superficie di scambio e alla conducibilità termica delle pareti. In più, può incrementare per la presenza di incrostazioni e/o depositi sulle superfici. La resistenza totale Rtot è quindi data dalla somma delle resistenze parziali in serie che si succedono durante il trasporto di calore a livello dell'interfaccia delle due pareti che separano i due fluidi (Ri e Re), dello spessore della parete (Rp) e laddove vi siano incrostazioni (Rf).

$$\frac{1}{UA} = R_{tot} = Ri + R_p + R_e + R_f$$

Durante i vari cicli di gramolazione effettuati con partite di olive diverse presso l'impianto di Bucine, a livello del sistema di gramole (composta da 5 moduli e con 3.5 q.li di capacità) sono state effettuate:

- rilevazioni delle temperature paste e fluido di servizio (acqua) tramite termocamera ed uso di termometro portatile dotato di sonda (all'inizio, durante e alla fine del ciclo di gramolazione)
- rilevazione del tempo di gramolazione
- misurazione calore specifico (Cp) delle paste mediante calorimetro (da ripetere per ciascuna partita di olive)
- rilevazione massa di olive lavorate per ciascun ciclo di gramolazione

Figura 23. Foto termiche tramite termocamera

Al termine delle prove i dati raccolti sono stati elaborati per il calcolo della quantità di calore scambiata tra i due fluidi (ceduta dall'acqua e assorbita dalla pasta) e del coefficiente globale di scambio termico U.

Lo stesso schema sperimentale è stato ripetuto su diverse tipologie di gramole comunemente utilizzate nei frantoi a ciclo continuo.

Da una prima analisi di confronto tra i diversi coefficienti U calcolati con questo sistema è emerso che la gramola Olionostrum mostra migliori performance in termini di efficienza di scambio termico rispetto sia ad una gramola orizzontale da 5 q.li convenzionale, che ad una gramola verticale convenzionale da 5 q.li. Tale effetto migliorativo è stato evidenziato da un coefficiente globale di scambio termico U incrementato di circa il 45% rispetto alla gramola orizzontale e quasi 3 volte superiore rispetto alla gramola verticale.

Tabella 4. Coefficienti U calcolati per varie gramole

	Prototipo Olionostrum	**Gr. Orizzontale**	**Gr. Verticale**
Capacità [kg]	350	500	500
Superficie [m^2]	5.8	1.5	3
Coeff. U [$W/m^2 \times K$]	320	220	112

Conclusioni

Il progetto si è sviluppato seguendo il programma previsto. Le azioni messe in atto sono state diverse ed in particolare la parte di progettazione e di definizione delle varie macchine tutte dotate almeno di una soluzione innovativa e prototipale. Per questo motivo il percorso è stato complesso e non scontato e i risultati sono figli non solo del lavoro fatto ma soprattutto, del know how pregresso del gruppo di ricerca coinvolto.

Il buon rapporto tra capofila, centro di ricerca e costruttore ha contribuito in maniera determinante alla buona riuscita nella fase di progettazione ed installazione del prototipo, ma anche nella seconda fase di collaudo e monitoraggio del funzionamento del prototipo di estrazione.

L'impianto risulta completo degli elementi innovativi caratterizzanti, ed è risultato ampiamente funzionante per tutte le giornate di prova che hanno interessato soprattutto i mesi di Ottobre, Novembre e i primi giorni di Dicembre di entrambe gli anni di prove.

Non si sono registrati mal funzionamenti o situazioni di blocco produttivo, anzi il frantoio prototipale è stato testato anche con impostazioni operative molto differenti tra le diverse giornate di prova, senza mai registrare problematicità insormontabili.

Si rileva un importante coinvolgimento delle aziende coinvolte, che insieme al capofila del progetto, hanno seguito in maniera appassionata le varie fasi di realizzazione del frantoio e che si sono rese disponibili nelle giornate di prova.

Alcune delle sperimentazioni condotte nei due anni di prove sono in fase di peer review, che consiste in una valutazione critica da parte di specialisti, per la pubblicazione su riviste scientifiche del settore.

Il progetto si è concluso con una giornata di divulgazione dei risultati ottenuti svolta il 16 giugno presso un'azienda facente parte della rete di imprese formata per il progetto, a cui hanno preso parte tutti i partner del progetto. In particolare, hanno partecipato al convegno finale il capofila del progetto, il Comune di Bucine, il gruppo di ricerca del CNR, il gruppo di ricerca del DAGRI dell'Università di Firenze, l'azienda costruttrice dell'impianto MORI-TEM, Stefania Saccardi, vicepresidente e assessore Agro-alimentare, Caccia e Pesca della Regione Toscana Laura Bartalucci, responsabile per lo Sviluppo dei Partenariati Europei per l'innovazione in Agricoltura Regione Toscana, Marina Lauri, referente per l'agricoltura di Anci Toscana, Laura Tedesco e Gennaro Scalamandrè per le reti d'impresa e A.N.A.P.O.O. (Associazione Nazionale Assaggiatori Professionisti Olio d'Oliva).

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE, ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI

BUDGET FINALE CONTENENTE IL RIEPILOGO DELLE VARIAZIONI INTERVENUTE

MACROVOCE	VOCI DI SPESA		BUDGET TOTALE	TOTALE SPESE	SCOSTAMENTO
SPESE IMMATERIALI E DI GESTIONE	Spese Generali				
	Investimenti immateriali		9.000	9.841,11	841,11
	Personale	Personale dipendente	8.000	19.406,62	11.406,62
		Personale non dipendente	48.000	46.582,41	-1.417,60
	Missioni e trasferte		2.500	1.210,37	-1.289,63
	Beni di consumo e noleggi		1.500	771,04	-728,96
DOTAZIONI AZIENDALI	Prototipi di macchinari e attrezzature (in toto)				
	Macchinari e attrezzature, software/hardware (solo ammortamento)				
TOTALE			**69.000**	**77.811,55**	8.811,55

Elenco delle motivazioni a giustificare le variazioni intervenute per le singole voci di costo:

- Investimenti immateriali: in questa voce erano previste analisi chimico- fisiche e microbiologiche su olio di oliva, pasta di oliva, olive, acqua di vegetazione. La variazione in aumento è dovuta a un numero di campioni sottoposti ad analisi maggiore, in quanto si è ritenuto opportuno effettuare ulteriori approfondimenti per validare alcuni risultati.

- Personale dipendente: la variazione in aumento è dovuta alla complessità del progetto e alla passione messa da tutto il team di ricerca, ci ha comportato un coinvolgimento maggiore in particolare del personale dipendente data la comprovata esperienza nell'argomento.

- Personale non dipendente: l'importo è leggermente inferiore rispetto a quanto stimato i fase di stesura del progetto, in quanto il primo anno di sperimentazione era previsto un piccolo finanziamento dal dipartimento.

- Missioni e Trasferte: in questo caso l'importo finale è risultato minore a causa della situazione pandemica (COVID19), il numero di missioni e trasferte è stato fortemente ridotto soprattutto per le previste ma non fatte spese per convegni all'estero.

Firma del Responsabile Scientifico del Progetto

Prof. Alessandro Parenti

Firenze 30 giugno 2021