

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE PASTE DI OLIVA

Formato A.¹, Faugno S.¹, Romano R.², Paolillo G.³

1. Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio - via Università - 100, 80055 Portici (NA), Tel+39 081 2531111, Fax +39 081 7755129, formato@unina.it
2. Dipartimento di Scienze degli Alimenti – P.co Gussone - Portici(NA), Tel +39 081 7755120, Fax +39 081 7754942.
3. Centro di Ricerche Interdipartimentale per l'Acquacoltura – P.co Gussone - ed. 77, 80055 Portici (NA), Tel e Fax +39 081 7769075

Riassunto

Sono state effettuate delle prime prove sperimentali su paste di oliva ottenute dalle olive della "cultivar Coratina" per poter effettuare una loro caratterizzazione. Le paste di oliva considerate sono state ottenute mediante un piccolo impianto per la produzione di paste di olive ed in diverse condizioni operative. Esse sono state sottoposte a prove di compressione drenate ottenendo i diagrammi ($p-\varepsilon$) pressione-deformazione assiale.

Per valutare la ripetibilità della sperimentazione effettuata ogni prova è stata ripetuta tre volte. Il trattamento statistico dei dati preliminari ottenuti ha fornito utili indicazioni sul comportamento meccanico delle differenti paste di oliva esaminate. Inoltre è stato evidenziato il legame fisico tra viscosità del tipo di pasta di olivo esaminato e carico applicato.

Infatti i dati sperimentali ottenuti erano dipendenti dalla quantità di olio di oliva contenuta nelle paste di oliva considerate. Inoltre è stato notato che la variazione della durata del processo di molitura non influenzava significativamente la forma dei diagrammi ottenuti, poiché durante il processo di macinazione è prodotta una quantità molto piccola di olio di oliva.

Invece per le paste di oliva macinate e gramolate i diagrammi ottenuti mostravano delle differenze significative in funzione della durata del processo considerato e pertanto mediante questo tipo di prove è stato possibile effettuare una caratterizzazione dei tipi di paste di oliva considerati.

Parole chiave: paste di olive, caratterizzazione paste di olive, compressione drenata

Summary

Experimental tests have been performed on olive paste obtained by the olives of the "cultivar Coratina." The olive paste considered have been obtained using a little plant for the olive paste production and different operational conditions have been examined. Besides the considered olive paste have been undergone to drained compression tests and the pressure-axial deformation diagrams ($p-\varepsilon$) have been obtained and compared.

Every test has been repeated three times, to evaluate the feasibility of the performed experimental tests. Besides the physical tie between viscosity of the olive paste type considered and applied load has been highlighted.

The obtained experimental data were dependent by the oil quantity contained in the olive paste considered. Besides, it has been noticed that, the changing of the duration of the grinding process didn't meaningfully influence the shape of the obtained diagrams, since during the grinding process a very little oil quantity is produced.

Instead for the olive paste grinded and kneaded the obtained diagrams showed some meaningful differences in function of the duration of the considered process. Then, by mean this tests it is possible to perform a characterization of the olive paste type considered.

In fact comparing the curves ($p-\varepsilon$) it is possible to determine a characteristic trend of the curve (in some cases also the characteristic equation) of the olive paste optimized, that is that it allows the best oil extraction from the qualitative and quantitative point of view.

Keywords: olive paste, mechanical characterization, drained compression.

1. INTRODUZIONE

Per la produzione dell'olio di oliva sono usati anche impianti che lavorano in continuo. Inoltre questa è una caratteristica molto importante al fine di avere una buona produzione industriale. In generale tali processi sono continuamente ottimizzati per migliorare la qualità del prodotto ottenuto e pertanto continui studi e ricerche sono stati effettuati anche su tutte le macchine utilizzate negli impianti per la produzione dell'olio di oliva con lo scopo di migliorare la loro efficienza e qualità.

E' chiaro che i grossi impianti mal si prestano a sperimentazioni poiché coinvolgono quantità elevate di prodotto, inoltre sia la geometria, sia la dinamica di funzionamento sono difficili da gestire e modificare.

Inoltre bisogna considerare che è sempre più sentita la necessità di effettuare delle verifiche di estrazione di olio in ambiente controllato, con possibilità di variare la durata di ogni singola fase del processo e di poter variare gli altri parametri geometrici e cinematici di tutte le macchine. Pertanto è sorta la necessità di avere un mini impianto pilota per poter effettuare tutta una serie di sperimentazioni alla luce di quanto su esposto.

E' da tener presente che impianti miniaturizzati già esistono in commercio, però essi sono solamente impianti di produzione di piccole quantità e pertanto essi non consentono la possibilità di effettuare variazioni cinematiche e geometriche necessarie al fine di effettuare uno studio mirato all'ottimizzazione delle macchine considerate.

A tal scopo presso la sezione di Meccanica Agraria del dipartimento di Ingegneria Agraria è stato messo a punto un impianto miniaturizzato che consenta quanto esposto. Inoltre una delle fasi dell'intero processo di estrazione dell'olio d'oliva è costituito dalla produzione delle paste di olive dalle quali successivamente si effettua l'estrazione dell'olio secondo processi industriali di tipo continuo o discontinuo. Pertanto la qualità dell'olio dipende anche dalla qualità della pasta di olive.

E' stato visto che per ottenere una buona resa ed una migliore qualità dell'olio, occorre che le paste di olive abbiano determinate caratteristiche meccaniche. Pertanto risulta di fondamentale importanza la determinazione di tali parametri al fine di effettuare una estrazione di olio di oliva di qualità. Pertanto è molto importante studiare le caratteristiche dei vari tipi di paste di olive ottenute da vari processi industriali, in modo che sia possibile ottimizzare l'estrazione dell'olio sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo.

Infatti è stato notato che per ottenere olio di oliva di alta qualità, le paste di oliva devono avere particolari caratteristiche chimico - fisiche. Queste particolari caratteristiche chimico - fisiche possono essere definite mediante valori di parametri meccanici caratteristici.

Tali parametri meccanici caratteristici possono essere ottenuti mediante diagrammi caratteristici che sono ottenuti mediante prove sperimentali, del tipo ($p-\varepsilon$) (carico-

deformazione). Pertanto è possibile la caratterizzazione meccanica delle paste di oliva effettuando un confronto tra i diagrammi caratteristici ottenuti. Quindi, alla luce di tutto quello detto, è stato usato un mini impianto per la produzione delle paste di oliva in differenti condizioni operative e, in questo articolo, è stata anche effettuata una caratterizzazione meccanica delle paste di oliva ottenute mediante delle prove di compressione drenate.

Inoltre è stata evidenziata e valutata l'influenza delle variazioni di temperatura e del tempo di lavorazione sul comportamento meccanico delle paste di oliva ottenute.

Tali risultati possono essere usati dai produttori di olio di oliva con lo scopo di ottimizzare il processo di lavorazione controllando la qualità del prodotto finale.

2. MATERIALI E METODI

Un mini impianto per produrre paste di oliva con una capacità lavorativa di circa 10 kg di paste di oliva è stato usato. Questo mini impianto è formato da: una macchina per la macina ed una macchina gramolatrice.

La macinazione delle olive è effettuata mediante due ruote di granito di 30 cm di diametro. Esse rotolano su una pietra di base circolare con 60 cm di diametro ed esse sono collegate all'albero di trasmissione. Il moto rotatorio è effettuato intorno all'asse verticale attraverso un doppio giunto. Inoltre è possibile variare la posizione delle ruote durante la lavorazione e cambiare la distanza delle ruote dall'albero di trasmissione e la loro inclinazione rispetto al piano di rotolamento. L'albero di trasmissione, mediante una speciale trasmissione a cinghia, è connesso ad un riduttore di velocità che permette il controllo della velocità e della coppia. La velocità angolare durante le prove sperimentali è stata approssimativamente di 8 rad/s.

La macchina gramolatrice ha le dimensioni di circa 40x40x50 cm. Essa è formata da un serbatoio nel quale le eliche, opportunamente sagomate, ruotano mediante un albero di trasmissione. Durante la fase di gramolazione si realizza la coalescenza delle gocce di olio di oliva. Come è noto (Pieralisi & Ponzetti, 1987) la qualità dell'olio di oliva ottenuta da questo processo di lavorazione dipende anche dalla geometria delle eliche della macchina gramolatrice, dalla loro velocità di rotazione e dalla temperatura della pasta di oliva.

Inoltre bisogna considerare che per la macchina usata, è facilmente possibile cambiare la geometria delle eliche e la velocità di rotazione. Comunque, in questo articolo è stata considerata un'elica disponibile in commercio, con una inclinazione media di circa 60° ed una velocità angolare di circa 6 rad/s.

Inoltre per la macchina considerata è possibile controllare la temperatura del serbatoio ed effettuare il condizionamento termico del processo.

Diverse tipologie di paste di oliva sono state ottenute mediante questi macchinari considerati, cambiando la durata del tempo di lavorazione e le temperature del processo.

Le paste di olive così ottenute sono state sottoposte a prove di compressione drenate. Infatti sono stati prelevati dei campioni dalle differenti tipologie di paste di olive ottenute. Per ogni tipologia di pasta di oliva sono stati considerati tre campioni. Tali campioni di paste di oliva sono stati sottoposti a prove di compressione drenata secondo la seguente metodologia. Il campione di pasta di oliva considerato è stato inserito all'interno del contenitore di pasta olive (fig. 1).

Il contenitore ha fori di 0,1 mm di diametro, così che durante la fase di compressione è impedita la fuoriuscita della fase solida, essendo il diametro medio delle particelle solide più grande di 0,1 mm.

Prima di iniziare la prova, è stato valutato il peso iniziale del campione di pasta di oliva, seguendo una procedura standardizzata. Le paste di oliva sono state successivamente sottoposte a compressione drenata mediante l'attrezzatura riportata in fig.4.

L'attrezzatura è formata da una traversa e due montanti di sostegno per un pistone motorizzato mediante un motore idraulico. Allineato assialmente ad esso è disposto il contenitore del campione di pasta di oliva. Inoltre esso è opportunamente ancorato in modo da evitare spostamenti di disallineamento.

Mediante il pistone motorizzato un carico assiale è applicato sul campione di pasta di oliva considerato e situato nell'apposito contenitore.

Una cella di carico, munita di trasduttore di forza collegato ad un sistema di acquisizione dati, è situata sul pistone e permette di rilevare il valore del carico agente sul campione di pasta di oliva considerato. Inoltre un sensore di spostamento posizionato sul pistone, rileva gli spostamenti compiuti dal pistone stesso. Questi dati sono registrati da un sistema di acquisizione dati con un rateo di campionamento di 1 Hz.

E' da notare che lo spostamento del pistone rappresenta la riduzione di volume del campione di pasta di oliva considerata.

Denotando pertanto con L_0 la lunghezza iniziale del campione considerato, uguale a 90 mm, L_f la sua lunghezza durante l'esecuzione della prova, il coefficiente di contrazione assiale è:

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \quad (1)$$

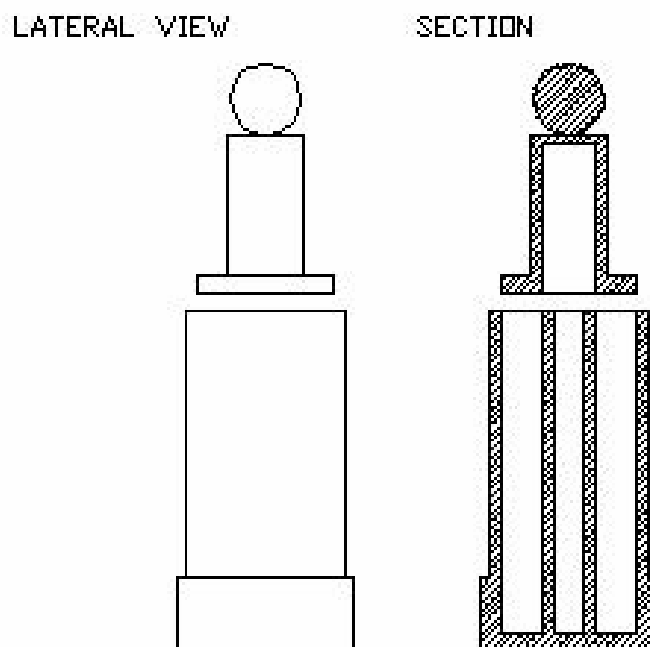


Fig.1 Contenitore di campioni di pasta di olive per effettuare la prova di compressione drenata.

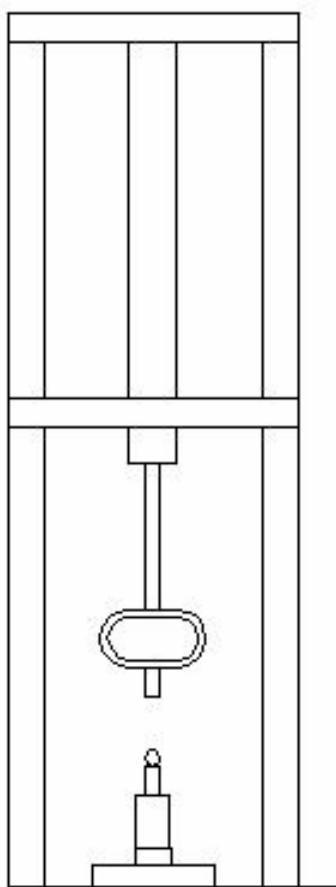


Fig. 2 Attrezzatura di prova di compressione drenata.

Poiché è nota la superficie sulla quale è applicato il carico, il valore della pressione agente p può essere calcolato. È da notare che, durante le prove, sono state rilevate oscillazioni dei valori della pressione, causate dal drenaggio del mosto di olio di oliva e che il valore di pressione massima raggiunto durante le prove di compressione drenate è stato di 300×10^5 Pa.

Inoltre, bisogna tener conto che i risultati dipendono dal fenomeno di filtrazione attraverso i fori del contenitore considerato.

Come è noto dalle equazioni che regolano il moto del fluido attraverso un mezzo filtrante, moto che è di solito laminare a causa della velocità bassa del fluido, è possibile ottenere una relazione tra i parametri coinvolti durante il fenomeno di filtrazione.

Inoltre è possibile evincere, dalle numerose e differenti equazioni ricavate sull'argomento, una dipendenza tra V (volume filtrato dall'inizio), dV/dt (flusso volumetrico di massa di filtrato), DP (perdita di carico attraverso il mezzo filtrante dato dalla differenza di pressione tra ingresso ed uscita del mezzo filtrante); A (l'area di filtrazione); R (resistenza specifica del mezzo filtrante data da $R = R'(P)$, dove R' è la resistenza specifica del mezzo filtrante quando $P = 1$), s (esponente compreso tra: - zero, mezzo filtrante non comprimibile; - 1, mezzo filtrante comprimibile); a (rapporto tra il volume del solido ed il volume di massa di filtrato nella sospensione da filtrare).

Infine è da notare, che la quantità di liquido filtrato dipende anche dalla viscosità della fase liquida contenuta nella pasta di oliva considerata.

La viscosità della fase liquida essenzialmente dipende dalla percentuale di olio di oliva inclusa nella fase liquida della pasta di oliva considerata, essendo l'acqua contenuta un liquido non viscoso.

Perciò, la quantità di liquido filtrato, dipende anche dalla percentuale di olio di oliva contenuto nella pasta di oliva. Inoltre il contenuto di olio di oliva nelle paste di oliva dipende anche dal tipo di cultivar e dal grado di maturazione delle drupe di olive incluse nelle paste di oliva considerate. Pertanto i risultati ottenuti sono influenzati da queste caratteristiche.

Tutte queste caratteristiche sono degli importanti parametri di base per valutare la qualità del processo di lavorazione considerato.

Con tale metodologia è inoltre possibile effettuare delle stime previsionali sulla possibile produzione di olio esaminando piccoli quantitativi di prodotto raccolto dalle piante di olivo.

Infatti sono state ricavate informazioni utili sia per quanto concerne l'ottenimento del mosto di olio da una piccola quantità di prodotto raccolto (10-20 kg), sia la resa in olio di oliva. Pertanto questa attrezzatura può trovare un suo utilizzo anche come apparecchiatura di stima previsionale di resa in olio del prodotto raccolto. Questa potrebbe essere una utile informazioni per coloro che svolgono attività di contoterzista.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Sono state esaminate le paste di oliva della Cultivar Carotina, esse avevano le caratteristiche riportate in tab.1.

Inoltre sono state considerate quattro tipologie di paste di oliva denominate, Test1, Test2, Test3, Test4. I parametri operativi usati durante il processo di lavorazione sono riportati in tab.2. I campioni delle paste di oliva considerate sono stati sottoposti a prove di compressione drenata e sono stati ottenuti i diagrammi riportati in fig.3,4,5,6.

In questi diagrammi i valori di " ε " ed i valori di " p " sono stati riportati rispettivamente sull'asse x e sull'asse y.

Tab.1 *Composizione media delle olive esaminate*

H ₂ O	50,0%
Grasso	22,0%
Proteine	1,6 %
Fibre	5,8 %
Ceneri	1,5 %
Nitrogeni non Estratti	19,1
Densità	0,970-1,060 kg/dm ³
Polpa	75-88 %
semi	12-24.5 %

Tab.2 Tipologia delle paste di olive considerate

Test1	Paste di Olive macinate per 20 minuti	T=15°C	35% mosto di olivo drenato
Test2	Paste di Olive macinate per 40 minuti	T=15°C	40.2% mosto di olivo drenato
Test3	Paste di Olive macinate per 40 minuti e gramolate per 20 minuti	T=27°C	49% mosto di olivo drenato
Test4	Paste di Olive macinate per 40 minuti e gramolate per 40 min	T=27°C	53% mosto di olivo drenato

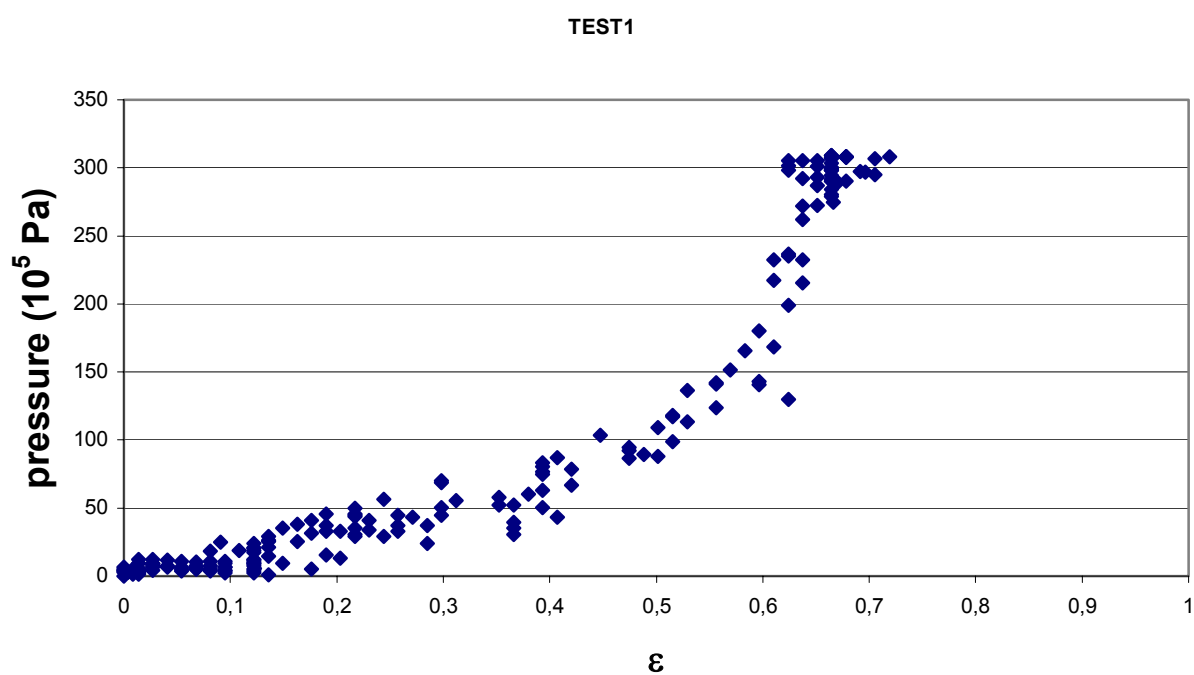


Fig.3 : Pasta di oliva macinata per 20 minuti; T=15° C ; peso 69 g - 35% mosto di olivo drenato

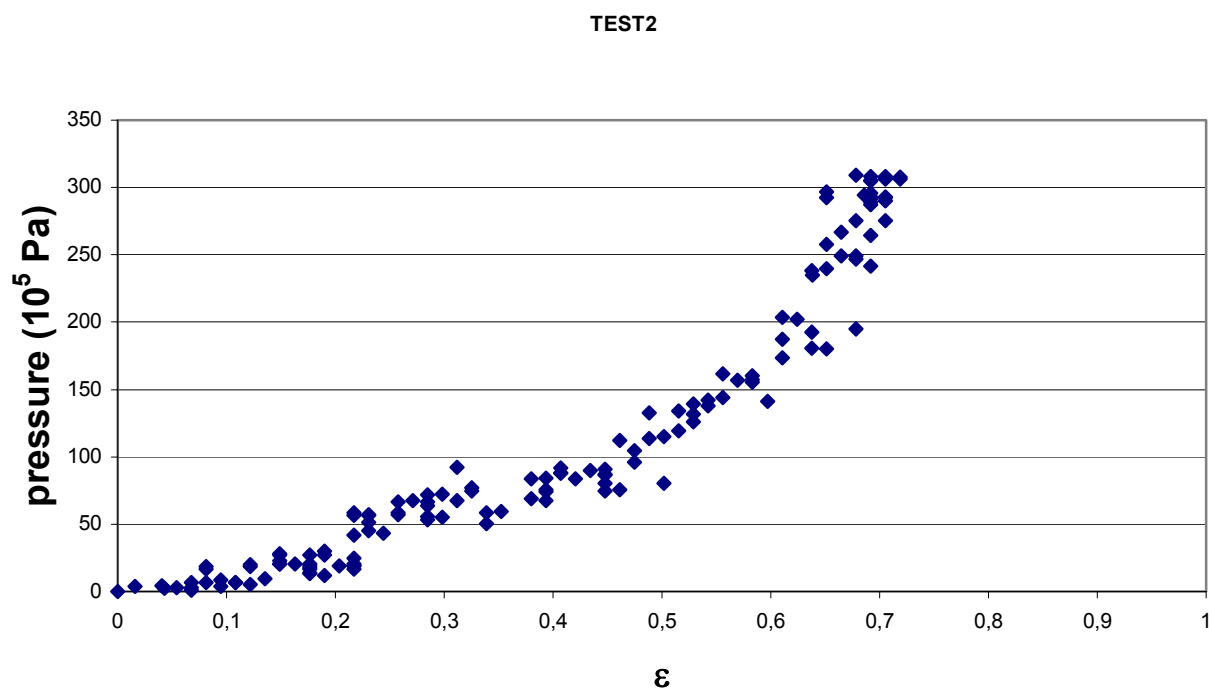


Fig.4 Pasta di oliva macinata per 40 minuti; $T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ peso 67 g - 40,2% mosto di oliva drenato

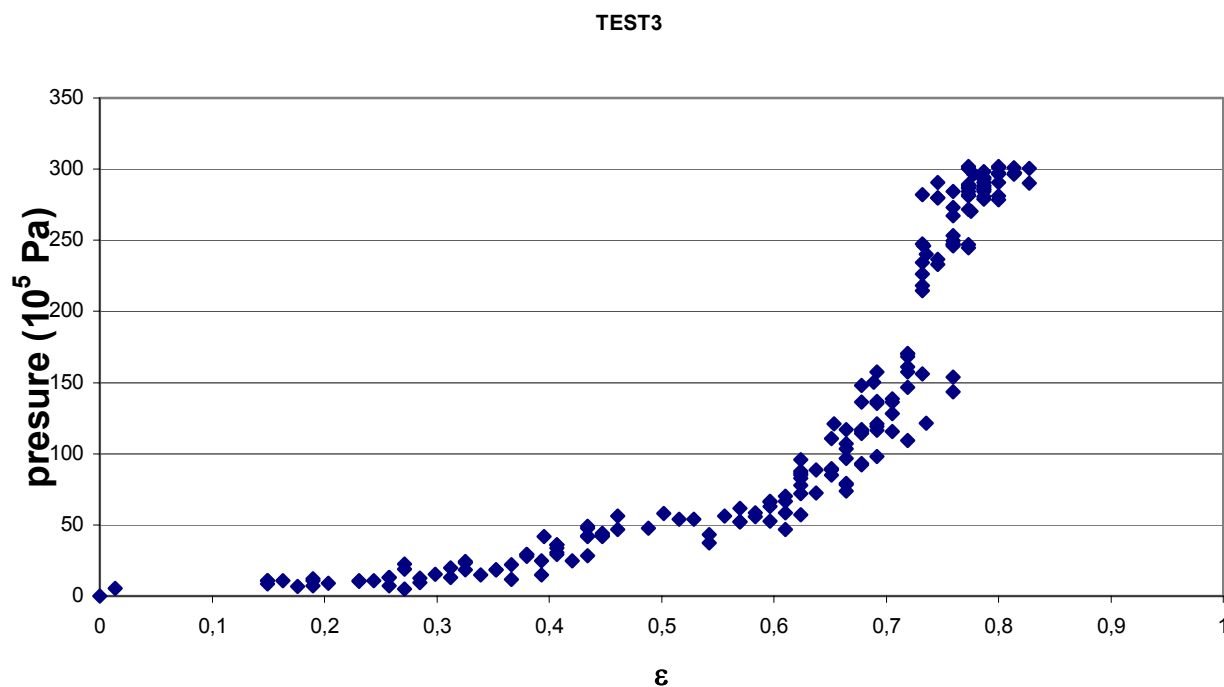


Fig.5 - Pasta di oliva gramolata per 20 min senza aggiunta di H_2O ; $T=27^{\circ}\text{C}$ peso 72g - 49 % mosto di olivo drenato.

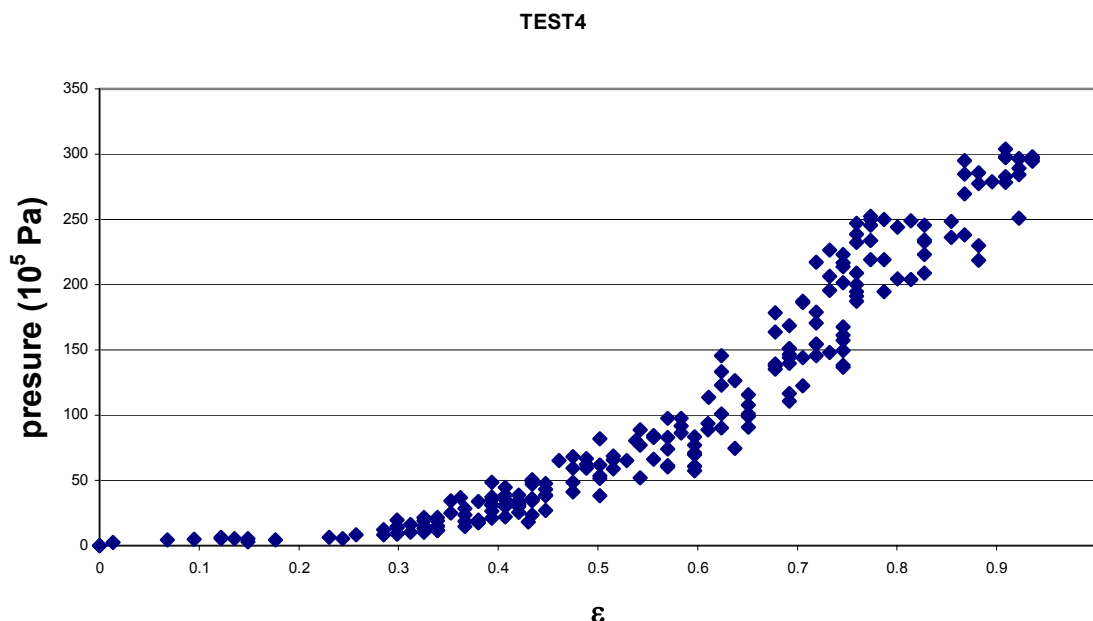


Fig.6 – Pasta di oliva gramolata per 40 minuti senza aggiunta di H₂O- peso 74 g - 53% mosto di olivo drenato

Ogni prova è stata ripetuta tre volte, ed è stata rilevata una differenza massima percentuale di circa il 9% tra i valori dei dati ottenuti nelle diverse prove.

I diagrammi ottenuti sono stati esaminati ed è stato possibile notare che per le paste di oliva solo macinate ottenute alla temperatura di 15 °C, il liquido drenato durante le prove è stato circa il 35% per una macinazione di 20 minuti, e del 40,2% per una macinazione di 40 minuti.

Pertanto è stato verificato anche che la fase liquida estratta aumenta se aumenta il tempo di macinazione per l'intervallo di tempo considerato.

Inoltre è stato notato che per le paste di oliva solo macinate per 20 minuti e 40 minuti, i diagrammi ottenuti p - ε , pressione-deformazione, hanno la stessa forma (figg. 3,4).

Ciò è dovuto al fatto che, per le paste di oliva solo macinate, la fase liquida della pasta di oliva ha una quantità molto piccola di olio di oliva.

Infatti, durante il processo di macinazione il processo di coalescenza dell'olio di oliva non è effettuato o è trascurabile. Pertanto per i due tipi di paste di oliva considerati (Test1,Test2) non è possibile valutare differenze significative tra i diagrammi ottenuti durante la fase di drenaggio, poiché come è noto, esso è influenzato dalla quantità di olio di oliva contenuta nella fase liquida delle paste di oliva considerate.

Anche le paste di oliva macinate e gramolate (Test3,Test4) sono state esaminate, ed è stato notato che il liquido drenato durante le prove è stato di circa il 49% per paste di oliva Test3 e di circa il 53% per paste di oliva Test4. Pertanto è stato rilevato un incremento di fase liquida estratta se aumenta il tempo gramolazione della pasta di oliva considerata.

Inoltre per le paste di oliva considerate macinate e gramolate (Test3,Test4), è stato possibile discriminare i due tipi di paste di oliva mediante i diagrammi ottenuti durante le prove di compressione drenate.

Ciò è stato possibile poiché nelle paste di oliva gramolate c'è una quantità di olio di oliva che è sufficiente per influenzare in modo significativo il processo di drenaggio. Infatti è possibile notare dai diagrammi ottenuti che la quantità di olio di oliva contenuta nelle paste di oliva Test3,Test4 è capace influenzare in modo significativo il processo di drenaggio della fase liquida.

Inoltre la quantità di olio di oliva contenuta nelle paste di oliva considerate dipende dalla durata del processo di gramolazione, e la durata del processo di gramolazione per le paste Test4 è più grande di quello delle paste Test3.

Come è noto, la viscosità della fase liquida delle paste di oliva considerate dipende anche dal contenuto di olio di oliva nella pasta di oliva considerata e per questo motivo sono stati ottenuti diagrammi molto diversi per i due casi considerati, che hanno diverse quantità di olio di oliva.

E' stato inoltre anche notato che l'aumento del tempo di gramolazione comporta una riduzione della pendenza nei diagrammi ottenuti. Infatti, allo stesso valore di pressione p , è possibile notare che per le paste di oliva del tipo Test4 i valori di " ε " sono più grandi dei corrispondenti valori ottenuti con le paste di oliva del tipo Test3. Pertanto, l'aumento del tempo di gramolazione implica una riduzione della pendenza nei diagrammi p - ε ottenuti per le differenti paste di oliva considerate.

Quindi la pendenza dei diagrammi p - ε ottenuti dipende dal comportamento meccanico delle paste di oliva considerate. Pertanto è possibile notare che i valori puntuali della pendenza media che sono dedotti dai diagrammi p - ε , sono ridotti dall'aumento del tempo di gramolazione mentre per il processo considerato di sola macinazione, ciò non si verifica.

Ciò vuol dire che la fase di sola macinazione, nell'intervallo di tempo considerato (20-40 min), non produce variazione di pendenza nei diagrammi p - ε ottenuti, mentre per lo stesso intervallo di tempo, durante il processo di gramolazione, tali variazioni sono state riscontrate.

Ciò è dovuto al fatto che la percentuale di olio di oliva contenuto nelle paste di oliva varia durante il processo di gramolazione e perciò cambiano anche le caratteristiche meccaniche del prodotto ottenuto.

Inoltre, per il coefficiente di contrazione massimo " ε ", risulta più alto per le paste di oliva gramolate per 40 min., ed è da notare che nell'intervallo di tempo compreso tra i 20 e 40 minuti, esso cambia dal 82% al 93%, perciò più mosto d'olio è estratto, a parità di pressione agente.

CONCLUSIONI

Sono state esaminate quattro tipi di paste di oliva ed esse sono state prodotte in diverse condizioni con processi di lavorazione usati nelle industrie di produzione dell'olio di oliva.

Tali paste di oliva sono state esaminate con un'attrezzatura che ha permesso di ottenere indicazioni interessanti sul comportamento meccanico delle paste di oliva considerate che, insieme ai parametri chimico - fisico, può consentire la loro completa caratterizzazione.

Tutto ciò è finalizzato per ottenere la caratterizzazione delle paste di oliva ottimizzate. Inoltre utili indicazioni sono state ottenute esaminando le pendenze dei diagrammi riscontrate al variare della durata del processo di lavorazione considerato.

Le paste di oliva solo macinate, che hanno una piccola quantità di olio di oliva, non influenzano in modo significativo il drenaggio, e quindi i grafici ad esso collegati. Mentre ciò

si è verificato per le paste di oliva macinate e gramolate, e tutto ciò risulta essere enfatizzato dai diagrammi ottenuti.

Inoltre l'impianto di olio usato, compatto e piccolo, permette di effettuare diverse prove sperimentali che coinvolgono l'uso di quantità molto piccole di olive.

Infatti come è noto fissato un tipo di processo per ottenere una pasta di olive (ad es. molazzatura + gramolatura) combinando opportunamente temperatura e durata di ogni singolo processo si ottiene una pasta di olive con differenti caratteristiche reologiche e meccaniche. Chiaramente ciò si verifica per ogni tipo di processo scelto e tali caratteristiche possono essere determinate mediante i diagrammi $p-\varepsilon$.

Per cui individuato il tipo di pasta di olive che fornisce la migliore qualità e/o quantità di olio estratto, è possibile individuarne la sua curva caratteristica.

Pertanto con tale metodologia è possibile individuare la curva caratteristica della pasta di oliva ottimale. Questo tipo di informazione può essere fornito ai molitori, i quali, quindi hanno un utile strumento per conoscere se la pasta di olive che producono risulta ottimale. Cioè quanto il diagramma $p-\varepsilon$ della pasta di oliva da essi prodotta si avvicina a quello fornito dalla pasta di oliva ottimale. Ciò può essere utile per la ottimizzazione del processo di estrazione dell'olio.

Inoltre con tale tipo di impianto di olio di oliva è anche possibile prevedere la produzione di olio di una fattoria esaminando solamente una quantità molto piccola del raccolto di oliva.

5. Bibliografia

- Amirante R., Catalano P., (1995). *Estrazione dell'olio per centrifugazione: aspetti fluidodinamici e valutazione delle nuove soluzioni impiantistiche* - *Olivae*- 57, 44-49
- Amirante P., Di Renzo G.C., Di Giovacchino L., Bianchi B., Catalano P. (1993). *Technological development in olive oil extraction plants*- *Olivae* – 48, 43-53,
- Back, W., M. Leibhard, and I. Bohak. (1992). "*Flash Pasteurization – Membrane Filtration*." *Brauwelt International* 1,
- Belfort Georges (1990). *Evaluation of a Rapid Sand Filter*. Filtration Experiment, Rensselaer Polytechnic Institute,.
- Catalano, P., Caponio F. (1996) *Machines for olive paste preparation producing quality virgin olive oil*. *Fett/Lipid*, 98, 408-412.
- Edmonds, J. (1996). *Smaller sand equals finer filter*. *Grower*. Aug 15:26.
- Feische, Michael. (1999). *Demands on a Modern Post-Filtration System*. Munich, Germany: Handtmann Filtration,.
- Hermoso, M., Uceda, M., García-Ortiz, A., Jimenez, A. and Beltrán, G. (1999). *Second centrifugation of olive paste. oil recuperation percent and olive oil characterization*. *Acta Hort. (ISHS)* 474:721-724
- Ives, K.J. (1975). *Capture Mechanisms in Filtration The Scientific Basis of Filtration*, Noordhoff Int. Publish. Co., Leyden, pp.55-93.
- Koutsaftakis, A. and Stefanoudaki, E. (1999). *Effect of olive maturity and olive paste malaxation temperature in industrial yield*. *Acta Hort. (ISHS)* 474:709-712
- Madsen N F (1989) *Slender decanter centrifuge*. International Chemical Engineering Symposium Series No. 113, 281-299.

- Ojha, C. S and N.J. Graham. (1994). *Computer aided simulation of slow sand filter performance*. Water Research, Oxford. 28(5), 1025-1030.
- Pieralisi G., Ponzetti A., (1987) *L'importanza della geometria della granulatrice*, Tecnologie Alimentari,(3),106-111.
- Yao, K-M., Habibian, M.T., and O'Melia, C.R., (1971). "*Water and waste water Filtration: Concepts and Applications*", Env. Sci. Tech., 5(11), 1105
- Wohanka, W. and M. Helle (1996). *Suitability of various filter media for slow filtration*. Proc 9th Int Cong. Soilless Culture 551-557.