

I fattori di variabilità genetici, ambientali e culturali della composizione dell'olio di oliva

Paolo Inglese^{1*}, Franco Famiani² e Maurizio Servili³

¹Dipartimento di Colture Arboree, Università di Palermo, viale delle Scienze, 90128 Palermo

²Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università di Perugia, Borgo XX Giugno, 06121 Perugia

³Dipartimento di Scienze Economico-estimative e degli Alimenti, Sezione di Tecnologie e Biotecnologie degli Alimenti, Università di Perugia, Borgo XX Giugno, 06121 Perugia

Ricezione: 3 maggio 2009; accettazione 3 agosto 2009

Factors affecting of olive oil composition during fruit growth and ripening

Abstract. The composition of olive oil results from a multivariate interaction in which genotype, environment, and agronomic-dependent factors are involved. The genotype controls genetic traits accounting for the rate pattern of fruit growth, oil accumulation in mesocarp cells and fruit ripening, while the genotype x environment interaction changes the rate of fruit growth, oil accumulation and fruit ripening pattern. The latter accounts for large changes in oil composition and sensorial features. The influence of genotype is linked to differences in the fruit growth and ripening patterns, though all those factors that may have an influence on fruit size, flesh/pit ratio and relative growth rate have a lower and more erratic influence on the olive oil composition. The genotype is the principal source of sensorial differences and this has been proved for most of the cultivars, giving them a specific role in gastronomy. The influence on olive oil composition of environmental factors, such as temperatures during fruit growth and ripening or water availability, may also be a function of changes in the fruit growth and ripening patterns and of the oil accumulation rate pattern. Some facts have been generally recognized, such as the changes of saturated vs unsaturated fatty acids ratio in relation to temperature and latitude or the progressive reduction of polyphenols content in the oil along with fruit ripening or with the increase of water availability. Crop load influences the fruit ripening rate pattern and the rate pattern of oil accumulation and this may account for differences in oil composition, related to polyphenols and fatty acid content. This review covers different sources of variability of olive oil composition and overall quality, such as genotype, environment, bearing capacity, stage of fruit ripening during harvest and cultural management (irrigation, fertilization, harvest). None of

these aspects can be underestimated in order to reduce the site- and year-dependent fluctuations of olive oil quality of specific genotype.

Key words: fatty acids, phenols, volatile compounds, genotype, environment, orchard management.

Evoluzione del concetto di qualità dell'olio

L'olio extravergine di oliva, alimento e parte essenziale della dieta mediterranea, è da millenni al centro della civiltà e della storia dei Paesi che circondano il mare Mediterraneo, che Braudel definì il "mare degli oliveti".

Oggi, scomparso l'olio da lucerna, con gli usi legati alla cura del corpo e alla cosmesi ancora attuali nei circuiti del benessere, il crescente uso alimentare dell'olio d'oliva, grazie alle sue straordinarie proprietà salutistiche (Bendini *et al.*, 2007; Keys, 1980), è alla base della diffusione dell'olivicoltura anche in paesi non tradizionalmente produttori di olive (Australia, Nuova Zelanda, Argentina, Cile, Sud Africa, ecc.).

Negli ultimi vent'anni le questioni legate alla qualità dell'olio di oliva si sono precisate e approfondite in ragione sia di una maggiore conoscenza delle sue proprietà, sia della necessità di differenziarne l'offerta e il valore, puntando sulle caratteristiche peculiari dettate dal genotipo, dall'interazione con l'ambiente di coltivazione e dai sistemi culturali e di estrazione. Questo, in un contesto di mercato sempre più globalizzato dove le preferenze espresse dai nuovi, come dai tradizionali, consumatori vanno sempre più segmentandosi, così come accade allo stesso valore commerciale dell'olio.

Agli studi sulla composizione acidica dell'olio di oliva va senza dubbio il merito storico di avere contribuito alla rivalutazione dell'olio di oliva, legata al ruolo che gli acidi grassi esercitano nei confronti della

* pinglese@unipa.it

riduzione delle malattie cardiovascolari (Keys, 1980). La frazione saponificabile costituisce, infatti, non meno del 98% dell'olio e comprende i trigliceridi (98-99%), i digliceridi (1-1,5%) e i monogliceridi (meno dell'1%). La quasi totalità (99% circa) degli acidi grassi è costituita dai saturi palmitico (C16:0; 7,5%-20%) e stearico (C18:0; 0,5%-5%), dai monoinsaturi palmitoleico (C16:1; 0,3-3,5%) e oleico (C18:1; 56-83%) e dai polinsaturi "essenziali", perché non sintetizzati dall'organismo umano, quali il linoleico (C18:2; 3,5%-21%) e linolenico (C18:3; 0%-1,5%).

Non meno importante è il ruolo dei costituenti minori e, in particolare, delle sostanze fenoliche bioattive, esclusive dell'olio d'oliva. I composti fenolici contenuti negli oli extravergini di oliva appartengono a diverse classi chimiche, quali quelle dei fenilacidi, fenil-alcoli secoiridoidi e lignani. I secoiridoidi, tra i quali vanno considerati i derivati dell'oleuropeina, della demetiloleuropeina e del ligustroside, sono molecole esclusive delle *Oleaceae*, quindi dell'olivo (*Olea europaea* L.) e dell'olio che ne deriva. La concentrazione dei secoiridoidi e dei lignani negli oli è molto variabile perché ampiamente influenzata da parametri sia agronomici sia tecnologici, tanto che, in termini di composti fenolici totali, un olio extravergine di oliva può avere concentrazioni variabili tra 20 e 900 mg/kg (Montedoro e Garofolo, 1984; Servili *et al.*, 2007).

I composti fenolici idrofili hanno un impatto positivo nella riduzione delle malattie cardiovascolari (Beauchamp *et al.*, 2005; Covas, 2008) e sulla prevenzione di alcune forme tumorali (Fabiani, 2006) e sono stati ampiamente studiati come antiossidanti naturali degli oli extravergini; la resistenza all'ossidazione dell'olio è, in effetti, legata ai derivati dell'oleuropeina e della demetiloleuropeina, mentre i lignani sembrano avere, in questo ambito, un ruolo marginale (Servili *et al.*, 2004). In diversi casi, si è arrivati a definire le proprietà degli oli anche in funzione della provenienza ambientale (Galvano *et al.*, 2007) e dell'origine genetica (Mineo *et al.*, 2007).

Le caratteristiche sensoriali dell'olio extravergine di oliva sono strettamente connesse alla frazione fenolica, che è responsabile delle note di "amaro" e "piccante", e ai composti volatili che sono alla base dell'aroma. I composti volatili identificati nell'olio vergine di oliva sono più di 180 (Angerosa *et al.*, 2004), ma è stata documentata solo la relazione tra l'aroma di "fruttato erbaceo" e le aldeidi e gli alcoli saturi e insaturi a C5 e C6, che si originano dall'attività della lipossigenasi, nelle fasi di frangitura delle olive e gramolatura delle paste che ne derivano. Considerato il peso delle variabili agronomiche e

genetiche sull'attività della lipossigenasi, la frazione volatile può anche rappresentare un marker importante dell'origine genetica e geografica degli oli extravergini di oliva (Angerosa *et al.*, 2004).

Problematiche, ragioni e fonti della variabilità della qualità dell'olio di oliva

La composizione dell'olio d'oliva è la risultante di una serie complessa d'interazioni multiple tra i fattori genetici, ambientali, colturali e tecnologici che caratterizzano sia lo sviluppo e la maturazione del frutto sia l'estrazione e la conservazione dell'olio, che possono esaltare o nascondere le caratteristiche indotte dal genotipo (Montedoro e Garofolo, 1984). In termini di contenuto e di reciproche relazioni, i diversi componenti della frazione gliceridica e dei costituenti minori dell'olio di oliva, possono variare in funzione di fattori non sempre correlabili, dando luogo a quello che è stato definito un "campo di indeterminazione" (Fiorino e Nizzi Grifi, 1991), che crea difficoltà nell'individuare marker e metodologie capaci di identificare, in modo certo e ripetibile, l'origine geografica o genetica di un olio extravergine di oliva, nonostante siano stati caratterizzati i profili analitici e sensoriali degli oli di gran parte delle cultivar di maggior rilievo. Nonostante ciò e anche se l'ampiezza del campo di variazione dei componenti dell'olio di cultivar diverse può essere almeno equivalente a quella indotta, sull'olio dello stesso genotipo, dallo stato di maturazione della drupa, dalle condizioni ambientali (Fiorino e Ottanelli, 2004) e/o dall'annata (Lombardo *et al.*, 2008), è stato proposto l'utilizzo della composizione acidica, quale marker dell'origine geografica e/o genetica. Questo, sia in termini di variazioni assolute degli acidi grassi, sia in relazione ad alcuni rapporti tra i singoli componenti, come il rapporto oleico/linoleico e quello tra l'oleico e la somma del palmitico e del linoleico (O/P+L) (Fiorino e Alessandri, 1996; Bongi, 2004; D'Imperio *et al.*, 2007).

Alla variabilità della popolazione dei frutti presenti sulla pianta, in termini di caratteristiche carpologiche (peso del frutto e rapporto polpa-nocciolo), non corrisponde una variabilità altrettanto ampia della resa e delle caratteristiche dell'olio (Lavee e Wodner, 2004) e, d'altra parte, il modello di sviluppo del frutto e d'inoliazione sono solo parzialmente legati (Lavee e Wodner, 1991). Da questo punto di vista, i fattori che influiscono sullo sviluppo del frutto e, in particolare, sul peso della drupa e sul rapporto polpa-nocciolo non necessariamente esercitano un'analogha influenza sulle caratteristiche qualitative dell'olio. Al contrario, una delle fonti di variabilità che più incidono sulla compo-

sizione acidica, e in misura anche più evidente, sui costituenti minori, con particolare riferimento alla composizione fenolica e ai composti volatili è, indubbiamente, lo stadio di maturazione del frutto. Ciò comporta che tutti quei fattori che condizionano l'evoluzione della maturazione delle drupe, esercitano il loro effetto anche sulle caratteristiche qualitative dell'olio (Fiorino e Nizzi Grifi, 1991). D'altra parte, le definizioni di *Oleum ex albis ulivis*, *Oleum viride*, *Oleum maturum* e *Oleum caducum*, riportate da Plinio, caratterizzano il variare della qualità dell'olio proprio in funzione del progressivo maturare del frutto.

La diversa evoluzione del modello di maturazione, specifica del genotipo, e le condizioni ambientali, soprattutto termiche e di disponibilità idrica che accompagnano lo sviluppo e la maturazione del frutto, sono, in definitiva, i fattori che più determinano la variabilità della qualità dell'olio per una stessa cultivar posta in ambienti diversi, in termini di evoluzione della composizione acidica e del contenuto dei composti fenolici e delle sostanze volatili (Gucci e Servili, 2006; D'Imperio *et al.*, 2007; Lombardo *et al.*, 2008; Ripa *et al.*, 2008).

Il processo di inoliazione, attivo fin dalla quinta, diviene molto intenso tra la nona e la diciassettesima settimana dopo l'antesi (Tombesi, 1994). In assenza di stress, l'accumulo di olio nella drupa ha un andamento lineare, indipendente dal genotipo, dalla resa in olio e dalla dimensione del frutto (Lavee e Wodner, 1991; 2004), con un'intensità che è funzione del genotipo (Lavee e Wodner, 1991; Fiorino e Ottanelli,

2004), dell'annata, della disponibilità idrica (Lavee e Wodner, 1991) e della competizione per le risorse determinata dal diverso carico di frutti presente sulla pianta (Barone *et al.*, 1994; Lavee e Wodner, 2004). La resa in olio, in piante della stessa cultivar, è indipendente dalla pezzatura del frutto, nonostante persistano differenze sul ritmo d'inoliazione; d'altra parte il contenuto assoluto di olio di una drupa è funzione delle dimensioni del mesocarpo (Inglese *et al.*, 1996; Lavee e Wodner 2004).

Genotipo

Che la qualità dell'olio sia influenzata dal genotipo è un fatto così apparentemente chiaro e universalmente riconosciuto, che potrebbe addirittura sembrare superfluo sottolinearne l'evidenza.

D'altra parte, il fiorire, forse addirittura pletorico, delle Denominazioni di Origine Protetta (Reg. CEE 2081/92 e 2082/92) deriva dalla determinazione dei profili chimici e sensoriali degli oli definiti dai disciplinari, partendo dall'ipotesi che le caratteristiche di un olio siano funzione del genotipo e dell'interazione con le caratteristiche colturali e ambientali che ne consentono un'espressione fenotipica caratterizzabile e stabile.

Il genotipo influenza il profilo chimico dell'olio attraverso l'evoluzione della composizione del quadro dei trigliceridi e della frazione insaponificabile (Mannina *et al.*, 2001; Fiorino e Ottanelli, 2004; Servili *et al.*, 2004; Lombardo *et al.*, 2008) (tabb. 1 e 2).

Tab. 1 - Composizione acidica di oli di diverse cultivar di olivo coltivate nella regione di Catamarca in Argentina ed in Italia. Fonte: Mannina *et al.*, 2001.

Tab. 1 - Fatty acid composition of oils of different cultivars grown in Catamarca (Argentina) and Italy, Source: Mannina *et al.*, 2001.

Cultivar	Origine	C16:0	C16:1	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1
Arbequina	Argentina	20,66	3,69	0,04	0,20	1,53	53,39	18,72	1,16	0,29	0,22
Biancolilla	Argentina	16,31	1,81	0,11	0,19	1,80	70,47	7,34	1,12	0,37	0,31
Biancolilla	Italia	11,61	0,52	0,12	0,20	2,23	74,10	9,81	0,69	0,39	0,31
Cerasuola	Argentina	13,75	0,51	0,05	0,07	1,87	70,98	10,84	1,12	0,37	0,41
Cerasuola	Italia	9,86	0,22	0,02	0,03	2,54	76,83	9,34	0,51	0,36	0,34
Coratina	Argentina	16,29	0,67	0,05	0,08	1,77	71,50	7,99	1,27	0,37	0,35
Coratina	Italia	12,36	0,51	0,08	0,05	2,1	75,43	7,94	0,72	0,31	0,33
I-77	Argentina	15,34	0,91	0,05	0,08	1,52	70,52	9,54	1,45	0,32	0,25
I-77	Italia	9,82	0,50	0,05	0,12	1,58	80,54	5,82	0,70	0,32	0,39
Frantoio	Argentina	17,19	1,65	0,01	0,09	1,63	63,55	14,03	1,23	0,28	0,31
Frantoio	Italia	12,34	1,01	0,01	0,02	1,65	75,77	8,04	0,55	0,29	0,29
Kalamata	Argentina	12,93	1,46	0,04	0,13	1,78	65,79	16,04	1,33	0,22	0,29
Kalamata	Italia	9,87	0,61	0,01	0,56	1,52	78,95	6,56	0,72	0,40	0,52
Leccino	Argentina	17,39	1,16	0,05	0,09	1,71	68,45	9,19	1,43	0,33	0,25
Leccino	Italia	13,23	1,25	0,01	0,09	1,53	77,96	4,54	0,68	0,28	0,33
Peranzana	Argentina	18,16	1,79	0,02	0,07	2,21	62,57	13,08	1,37	0,36	0,32
Peranzana	Italia	12,27	0,80	0,07	0,11	1,86	76,45	7,21	0,58	0,33	0,28

Tab. 2 - Variabilità dei contenuti e della composizione in sostanze fenoliche (ppm) degli oli extra-vergini di oliva in funzione della cultivar. I dati sono espressi come media \pm deviazione standard (n = 10). Fonte: Servili *et al.*, 2004.

Tab. 2 - Variability of phenols content and composition (ppm) in extra-virgin olive oils in relation to the cultivar. Data are mean \pm SE. Source: Servili *et al.*, 2004.

Sostanze fenoliche	Coratina	Moraiolo	Frantoio	Carolea	Leccino
3,4-DHPEA ⁽²⁾	1,96 \pm 0,30	2,08 \pm 1,79	1,38 \pm 1,42	2,70 \pm 2,03	7,94 \pm 1,10
p-HPEA	0,89 \pm 0,99	0,87 \pm 0,65	0,82 \pm 0,91	0,72 \pm 1,11	12,3 \pm 1,6
3,4-DHPEA-EDA	382,4 \pm 138,2	340,0 \pm 26,3	154,0 \pm 26,1	268,0 \pm 11,4	67,6 \pm 15,5
p-HPEA-EDA	193,2 \pm 65,2	99,8 \pm 61,2	89,8 \pm 7,8	189,6 \pm 89,7	12,5 \pm 6,2
3,4-DHPEA-EA	177,5 \pm 92,6	157,1 \pm 84,5	84,1 \pm 103,0	134,5 \pm 56,3	47,2 \pm 15,0
Polifenoli totali	755,9 \pm 153,1	599,9 \pm 67,1	330,1 \pm 27,3	595,5 \pm 106,5	147,5 \pm 22,5

Le cultivar possono manifestare una diversa risposta ai fattori ambientali e colturali, in ragione della loro diversa resistenza al deficit idrico oppure alla differente risposta al regime termico prevalente durante lo sviluppo e la maturazione del frutto. Questo può rendere marcato l'effetto ambiente o annata sulla composizione dell'olio definita dal genotipo, ovvero evidenza, anche in termini di qualità dell'olio, una più o meno elevata stabilità fenotipica al variare del sito o dell'andamento stagionale (Salvador *et al.*, 2001; Sweeney *et al.*, 2002; Fiorino e Ottanelli, 2004; D'Imperio *et al.*, 2007; Lombardo *et al.*, 2008). Fluttuazioni del contenuto percentuale di acido linoleico fino al 500% sono state, ad esempio, misurate tra cultivar diverse, o tra semenzali, nella stessa annata e tra ambienti diversi per la stessa cultivar, mentre per l'acido oleico le medesime fonti di variabilità hanno determinato un campo di variazione variabile dal 42% (ambiente) al 57% (cultivar) (Fiorino e Ottanelli, 2004; Lombardo *et al.*, 2008).

Il profilo acidico di un olio extravergine è funzione del genotipo soprattutto in termini di rapporto tra acidi insaturi e saturi e, all'interno degli insaturi, tra monoinsaturi e polinsaturi (Gouveia, 1997; Stefanoudaki *et al.*, 1999). In effetti, per una migliore conoscenza delle relazioni tra la matrice genetica e le caratteristiche dell'olio, è stata proposta anche la valutazione dei rapporti oleico/linoleico e, più genericamente, tra acidi grassi insaturi/saturi (Cucurachi, 1965).

Genotipi con diverso modello di maturazione ('Moraiolo' e 'Leccino') si caratterizzano anche per una diversa composizione acidica e per il rapporto tra acidi grassi saturi ed insaturi (Servili *et al.*, 1990).

L'applicazione di modelli statistici multiparametrici (analisi della componente principale e analisi discriminante) ai profili acidici degli oli monovarietalici ha consentito di discriminare oli di diversi genotipi (Mannina *et al.*, 2003; D'Imperio *et al.*, 2007).

Tra gli altri metodi discriminanti, sono stati utiliz-

zati con successo, sia la tecnologia dell'assorbimento spettroscopico UV, VIS e NIR, associata all'analisi discriminante e della componente principale (Mignani *et al.*, 2006), capace di evidenziare correlazioni elevate anche con i singoli acidi grassi (oleico, palmitico, palmitoleico + stearico), sia l'analisi del DNA su oli e su morchia, capace di consentire la tracciabilità degli oli monovarietalici (Cresti *et al.*, 1996). In quest'ultimo caso, si è ancora nella fase di definizione sia dei metodi, sia dei marcatori idonei (Lain *et al.*, 2004; Marmioli *et al.*, 2004).

La frazione fenolica è ignorata in larga parte dei disciplinari di produzione delle DOP e, quando contemplata, è considerata non in termini qualitativi ma quantitativi, prescrivendo concentrazioni minime, 100 ppm, inferiori al potenziale della grandissima parte delle cultivar italiane (tab. 2), e non indicando mai il metodo di analisi. Questo, nella consapevolezza che la composizione fenolica, seppur caratterizzabile, su diverse soglie, per cultivar o gruppi varietali, si modifica in funzione dell'ambiente, della disponibilità idrica e, soprattutto, dello stato di maturazione del frutto alla raccolta. Ciò nonostante, anche la composizione fenolica, in termini di relazione tra derivati dei secoiridoidi e lignani, è stata proposta come marker dell'origine genetica dell'olio extravergine di oliva (Servili *et al.* 2004).

In effetti, la variabilità dei profili fenolici degli oli può essere spesso associata al genotipo (Briante *et al.*, 2002) e differenze del contenuto globale e del profilo dei polifenoli e dei tocoferoli sono state misurate in funzione del genotipo, almeno in termini di *range* di variazione (tab. 2) (Lo Curto *et al.*, 2001).

Infine, l'analisi del profilo sensoriale degli oli in funzione della matrice genetica, ha consentito di caratterizzare l'identità sensoriale di molti oli monovarietalici prodotti in Italia e parte delle loro miscele. Questo sia in base ai descrittori dell'aroma e del gusto, sia in base al colore. Le note di "fruttato", "verde", "erbaceo", "dolce", "amaro", "piccante" e

quelle che fanno riferimento alle note di “mela”, “mandorla”, “carciofo”, “pomodoro”, sono le più caratterizzanti e utilizzate nella classificazione degli oli, che possono essere percepite non solo da esperti assaggiatori, soprattutto in funzione della loro utilizzazione gastronomica (Pannelli e Alfei, 2008).

L'applicazione del panel test nel riconoscere la matrice genetica degli oli ha, nel marketing oleicolo, un impatto almeno pari a quello legato alla valorizzazione delle proprietà salutistiche degli oli.

Ambiente di coltivazione e andamento stagionale

Le condizioni ambientali influenzano la composizione acidica e numerosi composti della frazione insaponificabile dell'olio.

Numerosi sono gli studi in cui sono stati evidenziati effetti della temperatura sulla composizione acidica dell'olio. Le prime indicazioni risalgono agli anni '30 del secolo scorso (Frezzotti, 1934). Contenuti maggiori di acido oleico e, conseguentemente, un aumento del rapporto acidi grassi insaturi/saturi man mano che dalle aree più calde del sud Italia ci si sposta verso quelle più fresche del nord (effetto latitudine), o dalle quote più basse a quelle più alte (effetto altitudine), furono già evidenziati diversi anni fa esaminando campioni di olio provenienti dalle più importanti aree olivicole d'Italia (Vitagliano *et al.*, 1961) o dalle stesse varietà ('Frantoio' e 'Coratina') coltivate in zone a diversa latitudine (Lotti *et al.*, 1982).

Più recentemente, Lombardo *et al.* (2008), lavorando su un elevato numero di genotipi allevati nel medesimo ambiente e analizzando le correlazioni tra variabili ambientali e caratteristiche dell'olio nell'arco di un quinquennio, e Ripa *et al.* (2008), operando su genotipi identici allevati in tre diverse regioni olivicole (Basilicata, Calabria e Umbria), hanno caratterizzato la variabilità della composizione acidica degli oli in funzione dei gradi giorno medi cumulati dall'inizio dell'anno fino alla raccolta (Ripa *et al.*, 2008) ovvero nel periodo compreso tra la sclerificazione dell'endocarpo e la raccolta (Lombardo *et al.*, 2008) mettendo in evidenza in annate e in ambienti caldi una diminuzione dell'acido oleico accompagnata da un aumento di acido palmitico e/o linoleico, mentre, anche l'acido linolenico aumenta nelle annate più calde (Lombardo *et al.*, 2008). Variazioni della composizione acidica, in funzione del regime termico prevalente durante lo sviluppo e la maturazione del frutto, sono state messe in rilievo su un ampio spettro di cultivar e in ambienti molto diversificati, con un range di variazione che è funzione delle diverse com-

binazioni genotipo-ambiente senza, però, che sia possibile individuare parametri ambientali (soglie termiche) specifiche ovvero risposte varietali costantemente coerenti in termini di composizione acidica degli oli (Mannina *et al.*, 2001; Sweeney *et al.*, 2002; Montedoro *et al.*, 2003; Fiorino, 2005; Di Vaio, 2006). L'effetto dell'ambiente sulla composizione acidica può essere, infatti, d'intensità molto diversa nelle differenti combinazioni genotipo/ambiente. Ad esempio, oli di 'Carolea', coltivata in Calabria e in Umbria o di 'Canino', coltivato in Lazio ed in Umbria, sono stabili in termini di composizione della frazione acidica (Montedoro *et al.*, 2003), mentre in alcune cultivar le variazioni indotte dall'ambiente sulla composizione acidica possono raggiungere una rilevanza tale da non permettere di soddisfare i requisiti analitici previsti dalle norme dell'Unione Europea (Reg. CE n. 702/2007) o dagli standard commerciali indicati dal COI (COI/T.15/NC no. 3/Rev. 3 - novembre 2008). In Argentina, nella regione di Catamarca, caratterizzata da temperature molto elevate durante il ciclo di sviluppo e maturazione del frutto, 'Arbequina' ha dato un olio con il 53,4% di acido oleico e 1,2% di acido linolenico (inferiore e superiore alle percentuali previste dal Reg. CE n. 702/2007 e/o dagli standard commerciali indicati dal COI per tali acidi grassi), mentre oli delle cultivar 'Biancolilla', 'Cerasuola', 'Coratina', 'I-77', 'Frantoio', 'Kalamata', 'Leccino' e 'Peranzana' hanno, tutti, presentato una percentuale di acido linolenico superiore all'1% (che è il contenuto massim consentito dall'Unione Europea e dal COI) (Mannina *et al.*, 2001) (tab. 1).

Apparentemente, le cultivar originarie dei più freschi areali settentrionali di coltivazione dell'olivo sembrano soggette a una maggiore instabilità fenotipica, di quanto non lo siano, in termini di composizione acidica, le cultivar originatesi negli ambienti meridionali (Lombardo *et al.*, 2008).

L'entità delle precipitazioni influenza il contenuto in sostanze fenoliche degli oli: maggiori disponibilità idriche tendono a diminuire il contenuto in composti fenolici (Pannelli *et al.*, 1994). Più complesso l'effetto della temperatura: in uno studio condotto in diverse regioni italiane è stato evidenziato che sommatorie termiche elevate tendono a ridurre il contenuto in polifenoli totali (Ripa *et al.*, 2008), mentre in uno studio nell'area del Garda con la cultivar Casaliva, ma non con il Leccino, è stata evidenziata una correlazione positiva fra la sommatoria termica nel periodo agosto-ottobre e il contenuto totale di polifenoli (Tura *et al.*, 2008). Inoltre, in alcuni studi sull'effetto dell'altitudine, che è un fattore che influenza il regime termico, in alcuni casi alle quote più basse sono stati rileva-

ti contenuti più elevati di polifenoli totali (Osman *et al.*, 1994; Mousa *et al.*, 1996), mentre in altri casi non sono stati evidenziati effetti univoci (Paz Aguilera *et al.*, 2005).

Uno studio effettuato in centro Italia ha evidenziato che le precipitazioni sono negativamente correlate con i contenuti di esanale e isobutile-acetato e positivamente correlate con gli altri composti dello spazio di testa, dando luogo, nel complesso, ad un effetto positivo sull'assetto aromatico dell'olio (Pannelli *et al.*, 1994). Nel nordico e relativamente piovoso ambiente del Garda non sono stati evidenziati effetti significativi delle precipitazioni e delle temperature sul contenuto totale di composti volatili negli oli di 'Leccino', mentre è stata registrata una correlazione positiva tra la sommatoria termica nel periodo agosto-ottobre ed il contenuto totale di tali composti nell'olio di *Casaliva* (Tura *et al.*, 2008). In Campania, gli oli di 'Biancolilla', 'Carpellese' e 'Racioppella' ottenuti nel più caldo ambiente di Battipaglia, sono meno fruttati, amari e piccanti e più dolci di quelli prodotti nelle zone di origine (Di Vaio *et al.*, 2006). Le temperature e le precipitazioni hanno anche effetti indiretti sulla qualità potendo influenzare il decorso della maturazione delle olive. Anticipi di maturazione sono stati evidenziati in anni con limitate precipitazioni e con andamenti stagionali caldi (Pannelli *et al.*, 1996; Di Vaio *et al.*, 2006).

Difficile, sulla base delle evidenze sperimentali disponibile, evidenziare generalizzabili relazioni tra le caratteristiche dell'olio e quelle pedologiche su cui vegeta la pianta (Servili *et al.*, 1990; Deidda *et al.*, 1994; Angerosa *et al.*, 1996; Ranalli *et al.*, 1997; Parlati *et al.*, 1998).

Nelle zone più fredde di coltivazione dell'olivo, durante la maturazione dei frutti possono verificarsi delle gelate capaci di causare forti danni alle olive e quindi all'olio che da queste si estrae. Morelló *et al.* (2003) non hanno evidenziato effetti significativi della gelata sull'acidità, sul numero di perossidi, sul K 270, sulla composizione acidica e sul contenuto in α -tocoferolo in oli ottenuti da olive raccolte immediatamente dopo la gelata e molite entro 24 ore, ma una riduzione del contenuto in clorofille e carotenoidi, della quantità di polifenoli totali, della stabilità all'ossidazione e dell'indice di "amaro" (K225). Inoltre, hanno evidenziato una modifica della concentrazione dei diversi composti fenolici, una riduzione delle sensazioni di amaro e pungente e un aumento di quella di dolce e l'insorgenza di difetti sensoriali che non consentono di commercializzare l'olio come extravergine.

Stato idrico della pianta

Gli studi sulla risposta fisiologica dell'olivo alle diverse disponibilità idriche risalgono alla prima metà degli anni '50 del secolo scorso e, ad oggi, hanno consentito di mettere in evidenza sia i meccanismi di adattamento morfo-fisiologico della specie, che le consentono un uso efficiente dell'acqua anche in condizioni di elevato stress idrico, sia la possibilità di gestire l'intervento irriguo, finalizzandolo addirittura alla diversificazione della qualità dell'olio ottenibile (Gucci e Servili, 2006). In particolare, gli studi condotti sugli effetti che la disponibilità idrica esercita sull'accrescimento del frutto si sono per lungo tempo concentrati sul metabolismo primario e sulla dinamica di sviluppo e maturazione del frutto (Lavee *et al.*, 1990; Lavee e Wodner, 1991), con soli sporadici approfondimenti (Vitagliano, 1969) sul metabolismo secondario del frutto. È a partire dagli anni '90 del XX secolo che si è avviato, in modo intenso e sistematico, lo studio dei rapporti tra disponibilità idrica e qualità dell'olio di oliva, in termini di dinamica del quadro acidico, fenolico e sensoriale dell'olio (Gucci e Servili, 2006).

Il deficit idrico è uno dei fattori che più condizionano l'inoliazione, tanto che Lavee e Wodner (1991) proposero come indicatore della sensibilità varietale allo stress idrico, proprio il grado di diversità dal modello lineare di inoliazione, che, in assenza di stress, è sostanzialmente indifferente dal genotipo. Il deficit idrico, durante la prima fase di sviluppo del frutto, determina una diminuzione nelle dimensioni delle cellule del mesocarpo che non viene recuperata, se non in parte, anche se nelle fasi successive la pianta viene regolarmente irrigata (Rapoport *et al.*, 2004). D'altra parte, interventi irrigui di soccorso, con volumi anche modesti, distribuiti durante la fase in cui è massima la distensione cellulare nel mesocarpo, determinano un aumento del peso fresco e secco del frutto, della percentuale di polpa e del contenuto in olio (Lavee *et al.*, 1990; Dettori e Russo, 1993; Motilva *et al.* 2000; Gucci *et al.* 2004; Servili *et al.* 2007).

Di contro, uno stress idrico, che si prolunga per tutto il periodo di sviluppo del frutto, può anche comportare il completo arresto del metabolismo lipidico con conseguenze dirette sulla resa in olio e sull'evoluzione dei diversi costituenti dell'olio (Dettori e Russo, 1993; Inglese *et al.*, 1996; Gucci e Servili, 2006). Questo anche se il deficit idrico incide in maggior misura sullo sviluppo del frutto, in termini di peso fresco (Lavee e Wodner, 1991; Inglese *et al.*, 1996). La percentuale di olio, sul fresco, può diminuire, in condizioni di massima disponibilità idrica, sia per un

incremento proporzionalmente maggiore del contenuto idrico del mesocarpo della drupa (Vitagliano, 1969; Lavee *et al.*, 1990; Lavee e Wodner, 1991) sia per una minore estraibilità dell'olio.

L'effetto della maggiore o minore disponibilità idrica sul rapporto tra l'accrescimento dell'endocarpo e del pericarpo è, a volte, contraddittorio, sia perché fortemente mediato dal carico dei frutti, anche a livello di branca, (Barone *et al.*, 1994, Inglese *et al.*, 1999), sia perché dipendente dalla strategia irrigua, dal livello di stress idrico e dal potenziale di crescita del frutto definito dal genotipo (Lavee *et al.*, 1990; Lavee e Wodner, 1991, 2004; Inglese *et al.*, 1996; Rapoport *et al.*, 2004; Gucci e Servili, 2006). Il prolungarsi della seconda fase di sviluppo può essere messo in relazione con lo stato di stress idrico della pianta (Inglese *et al.*, 1996). Il deficit idrico condiziona certamente i fenomeni di maturazione e di cascola pre-raccolta del frutto, anticipando e accelerando la prima e intensificando la seconda (Vitagliano, 1969; Lavee e Wodner, 1991; Inglese *et al.*, 1996). Ciò comporta specifiche strategie di raccolta tese ad evitare un rapido mutare delle caratteristiche dell'olio presente sulla pianta.

Gli effetti che la diversa disponibilità idrica esercita sulla qualità dell'olio sono stati studiati in funzione di ambienti, cultivar e livelli di stress molto diversificati. Non sempre è possibile distinguere con chiarezza l'effetto diretto dello stato idrico della pianta sul metabolismo secondario da quello mediato dal diverso modello di maturazione indotto dal deficit idrico. Nonostante ciò, esiste una generale concordanza sul fatto che gli oli provenienti da piante sia in stato, anche elevato (25% di restituzione dell'ETc), di stress idrico sia pienamente irrigate (100% restituzione ETc) rientrino negli standard merceologici di legge, pur presentando differenze, in alcuni casi significative, in merito, soprattutto, alla frazione insaponificabile e, in particolare, alla componente aromatica e fenolica.

Numerose sono le fonti che indicano come lo stato idrico della pianta eserciti un effetto marginale o nullo sull'acidità libera, sul numero di perossidi, sugli indici spettrofotometrici (Inglese *et al.*, 1996; Gucci e Servili, 2006; Servili *et al.*, 2007). Le variazioni, a carico soprattutto degli acidi oleico, palmitoleico, stearico e linoleico, non sempre sono coerenti tra loro, in funzione dell'annata e tra cultivar diverse, e comunque con un campo di variazione che non comporta differenze apprezzabili nelle proprietà fisiche e organolettiche dell'olio (Faci *et al.*, 2002; Tovar *et al.*, 2002).

Completamente diverso è il caso della frazione insaponificabile, dei composti fenolici soprattutto, della componente volatile e, di conseguenza delle caratteristiche sensoriali dell'olio.

La maggior parte delle fonti concorda sul fatto che all'aumentare del livello di stress aumentano il contenuto in polifenoli dell'olio e la stabilità ossidativa (Patumi *et al.* 2002; Gucci e Servili, 2006). L'effetto è presente a livelli diversi di stress: 66% ETc (D'Andria *et al.*, 2002), 25% ETc (Motilva *et al.*, 2002). Esistono tuttavia in letteratura lavori che non rilevano nessun effetto dell'irrigazione sulla composizione fenolica e, in alcuni casi, si è potuto constatare, soprattutto durante le fasi iniziali della maturazione, un aumento del contenuto di polifenoli nell'olio di piante in irriguo, rispetto a piante completamente in asciutto (Dettori e Russo, 1993; Inglese *et al.*, 1996). Le ragioni di queste differenze potrebbero essere legate anche a un sovrapporsi di effetti connessi all'aumento della carica e al diverso processo di maturazione del frutto (Gucci e Servili, 2006). La riduzione del contenuto di polifenoli nell'olio prodotto da piante irrigate potrebbe essere legata alla diluizione dei composti idrosolubili nella fase acquosa durante l'estrazione dell'olio dalla drupa, mentre lo stress idrico comporta una maggiore sintesi di fenoli, attraverso l'attività della L-fenilalanina amminoliasi (PAL) (Servili *et al.*, 2007; Tovar *et al.*, 2002), un enzima chiave nella biosintesi dei composti fenolici che è direttamente coinvolto nell'accumulo dei composti fenolici idrofili nei frutti di olivo e quindi negli oli (Servili *et al.*, 2007).

Lo stato idrico della pianta, oltre che sul contenuto totale di composti fenolici nelle drupe e negli oli, incide anche sulla composizione del quadro fenolico; ad esempio, in drupe di piante in asciutto si ha una maggiore concentrazione dei derivati dell'oleuropeina e di secoroididi, mentre minore è il contenuto di tirosolo e idrossitirosolo (Servili *et al.*, 2007).

Lo stato idrico delle piante ha anche un marcato effetto sulla concentrazione dei composti volatili. Gli oli provenienti da piante allevate in asciutto evidenziano all'assaggio, rispetto alle tesi irrigue, una maggior nota di amaro e di piccante (Tovar *et al.*, 2002; Berenguer *et al.*, 2004; Gucci e Servili, 2006; Servili *et al.*, 2007) ma, anche se in misura meno costante nelle diverse annate, una riduzione delle note di erba fresca e floreale (Servili *et al.*, 2007). Ciò è stato messo in relazione alla riduzione di alcuni composti relativi alla via delle lipossigenasi quali le aldeidi e gli alcoli saturi ed insaturi a C5 e C6 (Servili *et al.*, 2007).

Piante allevate in condizione di stress idrico tendono, quindi, a produrre oli molto corposi, vigorosi al gusto, con forti note di amaro e piccante ma relativamente meno aromatici; viceversa gli oli ottenuti da olive con elevato stato di turgore sono meno piccanti ed amari e con un aroma relativamente più intenso. Questo comporta la possibilità di parlare di “irrigazione qualitativa” (Gucci e Servili, 2006) o, in altre parole, della possibilità di modificare con il regime irriguo le caratteristiche dell’olio, intervenendo anche con una specifica attenzione nell’epoca di raccolta, considerando che il regime idrico controlla il modello di maturazione e cascola dei frutti.

Produttività e alternanza

Il potenziale di crescita del frutto, definito dal genotipo, è determinato dalle condizioni ambientali e dai rapporti di competizione tra i frutti in accrescimento, da cui dipende la disponibilità specifica di risorse. Questo aspetto è di particolare interesse in olivo, considerato che si tratta di una specie spiccatamente alternante, con un’intensità ed una frequenza che variano con la cultivar e le condizioni ambientali (Lavee e Wodner, 2004).

Se esiste una letteratura ampia sugli effetti che la carica dei frutti esercita sullo sviluppo e sulla maturazione dei frutti, non altrettanto ampie sono le informazioni che riguardano gli effetti della densità di fruttificazione sul metabolismo secondario e, in particolare, sulla qualità dell’olio (Lavee e Wodner, 2004).

La carica dei frutti agisce come fattore condizionante la dinamica di maturazione che può essere interpretata come il risultato di fenomeni di competizione tra le diverse popolazioni di frutti presenti sulla pianta, di per sé fortemente differenziate in termini di dimensioni, tassi di crescita, quindi di forza di attrazione degli assimilati, intensità ed entità del metabolismo secondario (Zucconi *et al.*, 1978).

Diversi sono gli studi, condotti su cultivar differenti, che indicano come una carica ridotta anticipi e acceleri la maturazione, intensificando il ritmo di inoliazione, tanto che in piante cariche il contenuto di olio nella drupa può ridursi significativamente (Barone *et al.*, 1994; Lavee e Wodner, 2004; Gucci e Servili, 2006). Peso e dimensione del frutto, rapporto polpa/nocciolo e contenuto in olio sono anch’essi fortemente condizionati dai rapporti di competizione tra i frutti, tanto che, in olivicoltura da tavola, il diradamento dei frutti è pratica colturale corrente e necessaria per ottenere olive di pezzatura adeguata (Barone *et al.*, 1994; Inglese *et al.*, 1999; Lavee e Wodner, 2004).

L’influenza della carica dei frutti sulla qualità dell’olio è meno evidente e si determina, sulla composizione acidica e sul contenuto in polifenoli, solo con una forte riduzione della carica (Famiani *et al.*, 1992; Barone *et al.*, 1994; Gucci e Servili, 2006) (fig. 1). Dal punto di vista dell’evoluzione dei singoli componenti, i frutti di piante scariche mostrano un metabolismo più intenso e anticipato, in termini di ritmo di accumulo e contenuto finale di polifenoli, acido palmitico e linoleico (Barone *et al.*, 1994) (fig. 1). La carica dei frutti non ha invece alcuna influenza sull’acidità libera, sul numero di perossidi, sugli indici spettrofotometrici e sulle caratteristiche organolettiche e sensoriali dell’olio (Gucci e Servili, 2006).

L’effetto della carica sul peso del frutto e sul suo modello di maturazione e di accumulo di olio si manifesta, in modo simile, anche in funzione dei diversi rapporti *source-sink* che si stabiliscono a livello di singola branchetta fruttifera (Inglese *et al.*, 1999). Ciò comporta che ogni intervento, come la potatura, teso a favorire un’equilibrata dinamica di competizione tra le diverse popolazioni di frutti presenti sulla pianta, eserciterà i suoi effetti anche sull’andamento della maturazione e, in definitiva, sulle caratteristiche complessive dell’olio che ne deriva.

Gli studi condotti sull’interazione tra stato idrico

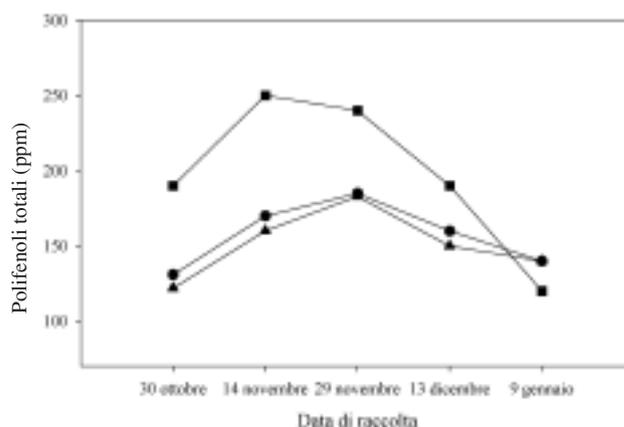


Fig. 1 - Variazioni durante la maturazione delle olive del contenuto in polifenoli totali in oli ottenuti da piante della cultivar “Cassanese” con piena carica di frutti (FL = ●), carica di frutti parzialmente ridotta (70% FL = ▲) e carica di frutti dimezzata (50% FL = ■).

L’analisi della varianza ha evidenziato effetti significativi, per $P < 0,01$ della data di raccolta, della carica e della loro interazione.

Fonte: Barone *et al.*, 1994.

Fig. 1 - Changes during olive ripening of total polyphenol content of oils obtained from fruits produced from trees of the cultivar “Cassanese” with full load (FL = ●), partially reduced load (70% FL = ▲) and halved load (50% FL = ■). Analysis of variance showed significant effects for $P < 0.01$, of date of harvesting, fruit load and their interaction. Source: Barone *et al.*, 1994.

della pianta ed effetto del carico produttivo non hanno evidenziato una particolare interazione. Anche in irriguo si manifesta una relazione inversa tra l'evoluzione dell'indice di maturazione alla raccolta ed efficienza produttiva delle piante (Gucci, 2006).

Il fatto che in piante molto scariche la maturazione sia anticipata e compatta, comporta, come nel caso dello stress idrico, una rapida evoluzione della qualità complessiva dell'olio raccogliibile sulla pianta, legata proprio al rapido evolversi della popolazione di frutti presente sulla pianta. Questo rende ancor più strategica l'esatta individuazione dell'epoca ottimale di raccolta. Da questo punto di vista, l'effetto della carica è un effetto "mediato", ma non per questo meno rilevante di effetti diretti sul metabolismo secondario del frutto (Barone *et al.*, 1994).

Gestione colturale

Non sono disponibili indicazioni utili su significative influenze del modello di impianto e della forma di allevamento sulla qualità dell'olio (Preziosi *et al.*, 1994; Palliotti *et al.*, 1999), neanche se si considerano i sistemi superintensivi, ma la posizione delle drupe sulla pianta può considerarsi, soprattutto in funzione del profilo energetico della chioma, una fonte di variabilità della composizione dell'olio che ne deriva. Ad esempio, oli di 'Frantoio' e 'Leccino', ottenuti da drupe sviluppatesi in condizioni di ottimale disponibilità di energia radiante, pur senza differenze in termini di composizione acidica e numero di perossidi, mostrano un maggior contenuto in polifenoli totali ed in clorofilla e, solo su 'Frantoio', maggiori sentori di fruttato, amaro e piccante, di quanto misurabile in oli ottenuti da drupe cresciute in porzioni poco illuminate della chioma (Proietti *et al.*, 2009).

Gutiérrez *et al.* (1999) hanno evidenziato, su 'Picual', come la conduzione in biologico abbia consentito di ottenere oli con minori valori di acidità, numero di perossidi e contenuto in acido linoleico, associati ad un maggior contenuto in acido oleico, α-tocoferolo, polifenoli totali, orto-difenoli, D5-avenasterolo e migliore stabilità all'ossidazione, punteggio al saggio organolettico.

Risultati che non consentono la definizione di un quadro chiaro e costante, emergono confrontando le caratteristiche qualitative di oli di 'Coratina' e 'Ogliarola Salentina' (Perri *et al.*, 2002) e 'Frantoio' e 'Leccino' (Ninfali *et al.*, 2008) ottenuti con il metodo biologico o convenzionale, mentre l'analisi sensoriale mostra solo leggere differenze in alcune note aromatiche. Nel complesso, l'incostanza dei risultati ottenuti nelle prove che hanno confrontato il sistema di colti-

vazione biologico con quello convenzionale sembrano indicare che l'effetto del metodo di coltivazione sulla qualità dell'olio sia molto dipendente dall'interazione con quello di genotipo-ambiente-annata e, quindi, piuttosto variabile.

Concimazione e gestione del suolo

Le informazioni sull'effetto della concimazione sulle caratteristiche qualitative dell'olio sono poche, in qualche caso contraddittorie, e riguardano principalmente l'azoto.

Uceda Ojeda (1985) riporta una correlazione positiva tra la somministrazione di azoto e i livelli di acido oleico e stearico nell'olio, mentre la carenza di tale elemento determinerebbe un aumento dei contenuti di acido palmitico e linoleico. Cimato *et al.* (1994) evidenziano che l'apporto fogliare di azoto (urea), determina un aumento del contenuto dei polifenoli totali e dei tocoferoli, di oli di 'Frantoio' e 'Moraiolo'. Risultati opposti, in termini di riduzione del contenuto in polifenoli e della stabilità all'ossidazione, sono stati ottenuti in condizioni di elevata disponibilità di N (Fernández-Escobar *et al.*, 2006; Morales-Sillero *et al.*, 2006). In alcuni casi sono evidenziate delle modifiche del quadro acidico in funzione della disponibilità di N ed altri elementi nutritivi (Simões *et al.*, 2002; Morales-Sillero *et al.*, 2006).

Pochissime sono le informazioni sull'influenza che la gestione del suolo esercita sulla qualità dell'olio, comunque riferibili, esclusivamente, al profilo sensoriale degli oli senza che questo comporti modifiche del punteggio attribuito dal panel test (Pandolfi *et al.*, 2000; Briccoli Bati *et al.*, 2002).

Maturazione e raccolta delle olive

Durante la maturazione avvengono numerosi cambiamenti sia nei frutti sia nelle caratteristiche dell'olio che se ne estrae. Si riduce progressivamente la resistenza al distacco delle drupe, si completano l'accrescimento e la sintesi di olio, diminuisce la consistenza della polpa e procede la pigmentazione dell'epicarpo e, successivamente, del mesocarpo, a partire dallo strato più esterno (Zucconi *et al.*, 1978; Famiani *et al.*, 2002).

La quantità dell'olio ottenibile dalle olive sulla pianta varia in dipendenza della dimensione del mesocarpo delle olive e del grado di inoliazione e del verificarsi della cascola (Zucconi *et al.*, 1978). Generalmente si ha una riduzione della quantità di olio quando la cascola riguarda più del 5-10 % dei frutti pendenti (Famiani *et al.*, 2002; Tombesi *et al.*, 2006).

Nel corso della maturazione dei frutti si modifica la composizione acidica, con l'acido oleico, e a volte il linoleico, che tendono ad aumentare, mentre lo stearico e, soprattutto, il palmitico tendono a diminuire, con un conseguente aumento del rapporto acidi grassi insaturi/saturi (Servili *et al.*, 1990; Fiorino e Nizzi Grifi, 1991; Di Matteo *et al.*, 1992; Baccouri *et al.*, 2008) (tab. 3). Tuttavia, la composizione acidica non sempre evidenzia variazioni significative, soprattutto quando si fa riferimento al periodo in cui effettivamente viene eseguita la raccolta, che ha una durata minore rispetto all'intero periodo di maturazione (Famiani *et al.*, 2002).

Il numero di perossidi, in oli ottenuti da olive sane, spesso diminuisce durante la maturazione e questo è stato messo in relazione ad una riduzione dell'attività dell'enzima lipossigenasi (Gutiérrez *et al.*, 1999; Salvador *et al.*, 2001; Baccouri *et al.*, 2008).

Il grado di maturazione ha un grande effetto sulle caratteristiche sensoriali e salutistiche dell'olio, influenzando fortemente il contenuto in sostanze

volatili, composti fenolici e pigmenti (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2004) (tabb. 4 e 5).

Numerose ricerche hanno evidenziato che il contenuto di composti volatili, con particolare riferimento ai componenti legati alla via della lipossigenasi, quali le aldeidi e gli alcoli saturi ed insaturi a C5 e C6 e, specialmente, la trans-2-esenale, raggiunge i valori maggiori nelle fasi iniziali dell'invasatura superficiale del frutto, per poi diminuire a causa di una marcata inattivazione delle attività enzimatiche endogene incluse nella via della lipossigenasi (Montedoro e Garofolo, 1984; Solinas *et al.*, 1987; Garcia *et al.*, 1996; Famiani *et al.*, 2002; Angerosa *et al.* 2004) (tab. 4). Ciò porta anche ad inevitabili modifiche sul piano delle caratteristiche sensoriali, con l'attenuazione delle note di "erbaceo fresco" e "floreale" tipiche degli oli di olive non ancora completamente pigmentate (Famiani *et al.*, 2002).

Il contenuto totale di sostanze fenoliche aumenta nella prima parte della maturazione delle olive per poi diminuire più o meno rapidamente con l'intensificarsi della pigmentazione dell'epicarpo e del mesocarpo e

Tab. 3 - Influenza del grado di maturazione (espresso come grado di pigmentazione delle drupe) sulla composizione acidica dell'olio. I valori rappresentano la media ottenuta da 6 cultivar ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali', 'Moraiolo') coltivate in Umbria. O/L = rapporto acido oleico/linoleico. I/S = rapporto acidi grassi insaturi/saturi. Fonte: Servili *et al.*, 1990.

Tab. 3 - Influence of fruit ripening stage (expressed as fruit color) on fatty acid composition of the olive oil. Data represents the average values of 6 cultivars ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali' and 'Moraiolo') cultivated in Umbria (Italy). O/L = oleic/linoleic ratio; I/S = unsaturated/saturated fatty acids. Source: Servili *et al.*, 1990.

Pigmentazione delle olive	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	O/L	I/S
Verde	14,09 C	1,02 a	2,27 a	72,99 A	8,28 a	1,34 B	8,90 a	5,12 A
Pigmentazione superficiale 50%	13,10 B	1,08 a	2,44 a	74,47 B	7,87 a	1,05 A	9,64 a	5,45 A
Pigmentazione superficiale 100%	12,11 A	1,06 a	2,42 a	75,35 BC	8,06 a	0,99 A	9,58 a	5,92 B
Pigmentazione profonda (polpa) 50%	11,63 A	0,95 a	2,49 a	76,19 C	7,78 a	0,95 A	9,97 a	6,10 B
Pigmentazione profonda (polpa) 100%	11,37 A	0,95 a	2,52 a	76,31 C	7,91 a	0,94 A	9,76 a	6,22 B

In ogni colonna, medie accompagnate da lettere diverse sono statisticamente differenti per $P \leq 0,05$ (minuscole) e $P \leq 0,01$ (maiuscole).

Tab. 4 - Influenza del grado di maturazione (espresso come grado di pigmentazione delle drupe) sulla composizione aromatica e sul contenuto in clorofilla totale dell'olio. I valori rappresentano la media ottenuta da 6 cultivar ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali', 'Moraiolo') coltivate in Umbria. Fonte: Servili *et al.*, 2004.

Tab. 4 - Influence of fruit ripening stage (expressed as fruit color) on aromatic compound composition and chlorophyll content of the olive oil. Data represents the average values of 6 cultivars ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali' and 'Moraiolo') cultivated in Umbria (Italy). Source: Servili *et al.*, 2004.

Pigmentazione delle olive	Composizione aromatica (U.I. n x 10 ³)				Clorofilla totale (ppm)
	Alcoli	Esteri	Aldeidi	Trans-2-Esenale	
Verde	303,4 b	134,7 a	984,9 b	620,6 b	57,5 Cd
Pigmentazione superficiale 50%	352,2 b	202,6 a	830,6 b	596,2 b	39,4 BCc
Pigmentazione superficiale 100%	290,6 ab	259,8 a	757,8 b	588,7 b	27,1 Bb
Pigmentazione profonda (polpa) 50%	131,1 a	136,9 a	652,6 ab	484,2 ab	20,8 ABab
Pigmentazione profonda (polpa) 100%	109,0 a	147,8 a	390,4 a	215,0 a	11,8 Aa

In ogni colonna, medie accompagnate da lettere diverse sono statisticamente differenti per $P \leq 0,05$ (minuscole) e $P \leq 0,01$ (maiuscole).

Tab. 5 - Influenza del grado di maturazione (espresso come grado di pigmentazione delle drupe) sul contenuto in polifenoli totali e sulla stabilità all'ossidazione (periodo di induzione) dell'olio. I valori rappresentano la media ottenuta da 6 cultivar ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali', 'Moraiolo') coltivate in Umbria. Fonte: Servili *et al.*, 1990.

Tab. 5 - Influence of fruit ripening stage (expressed as fruit color) on total polyphenol content and oxidation stability of the olive oil. Data represents the average values of 6 cultivars ('Frantoio', 'Leccino', 'San Felice', 'Tendellone', 'Nostrale di Rigali', and 'Moraiolo'), cultivated in Umbria (Italy). Source: Servili *et al.*, 1990.

Pigmentazione delle olive	Polifenoli totali (ppm)	Periodo di induzione (ore)
Verde	253,2 ab	9,12 Aa
Pigmentazione superficiale 50%	310,2 b	12,49 ABb
Pigmentazione superficiale 100%	276,3 b	13,59 Bb
Pigmentazione profonda (polpa) 50%	226,3 a	12,04 ABb
Pigmentazione profonda (polpa) 100%	202,7 a	7,62 Aa

In ogni colonna, medie accompagnate da lettere diverse sono statisticamente differenti per $P \leq 0,05$ (minuscole) e $P \leq 0,01$ (maiuscole).

in funzione del modello di maturazione della cultivar (tab. 5). I valori più bassi di concentrazione sono tipici di oli ottenuti da olive molto mature (Brenes *et al.*, 1999; Uceda *et al.*, 1999; Salvador *et al.*, 2001; Servili *et al.*, 2004; Baccouri *et al.*, 2008).

Durante lo sviluppo del frutto si ha anche una variazione dei rapporti tra singoli fenoli (Salvador *et al.*, 2001; Briante *et al.*, 2002). Come evidenziato in drupe delle cultivar 'Arbequina', 'Morrut' e 'Farga', la concentrazione di derivati agliconici dell'oleuropeina decresce con l'inizio dell'invaiaura e ciò coincide con un aumento degli alcol fenolici come l'idrositiosolo ed il tirosolo (Morellò *et al.*, 2005). Il diverso equilibrio tra le sostanze fenoliche verso le forme più semplici sembra essere legato a una maggiore attività delle glucosidasi e delle esterasi durante i primi stadi della maturazione del frutto (Briante *et al.*, 2002).

Anche i tocoferoli, generalmente, evidenziano una diminuzione del loro contenuto durante la maturazione, seppur variabile nell'intensità (Di Matteo *et al.*, 1992; Baccouri *et al.*, 2008). Tuttavia, si riportano anche andamenti di segno opposto o assenza di variazioni del contenuto in α -tocoferolo durante la maturazione del frutto (García *et al.*, 1996; Sakouhi *et al.*, 2008).

Durante la maturazione delle olive, la stabilità all'ossidazione dell'olio si modifica in funzione del variare del contenuto in antiossidanti (sostanze fenoliche, tocoferoli e carotenoidi) e della composizione

acidica. Generalmente, si ha un aumento nelle fasi iniziali della maturazione e poi una diminuzione o, in qualche caso, una costante riduzione (Servili *et al.*, 1990; García *et al.*, 1996; Baccouri *et al.*, 2008). Il contenuto in clorofille e carotenoidi (tab. 4) diminuisce con la maturazione (Servili *et al.*, 1990; Guitierrez *et al.*, 1999; Salvador *et al.*, 2001; Baccouri *et al.*, 2008).

Le variazioni descritte si riflettono sulle caratteristiche sensoriali dell'olio rilevabili all'assaggio. In effetti, con il procedere della maturazione si passa da oli molto verdi con sensazioni di "fruttato verde" ("erbaceo"), "amaro" e "piccante" molto intense, spesso squilibrate fra loro, a oli verdi o verdi/gialli con i vari sentori ben evidenti ed armonici, a oli gialli/verdi o gialli che tendono all'appiattimento organolettico in cui prevale la sensazione di dolce. In generale, il punteggio attribuito con il panel test tende a diminuire nelle fasi avanzate di maturazione, in misura a volte sostanziale (García *et al.*, 1996; Salvador *et al.*, 2001). Occorre considerare come per le caratteristiche organolettiche non ci sia un unico riferimento per la qualità, perché la tipologia migliore è quella che risponde meglio al segmento di mercato cui si fa riferimento e all'uso gastronomico dell'olio.

Tutte le variazioni descritte sono, in genere correlabili con il grado di pigmentazione superficiale o profonda della drupa pur nell'ambito di una certa variabilità genotipica (Servili *et al.*, 1990).

In olive surmature (pigmentazione della polpa) si può avere un aumento dell'acidità dell'olio o del livello di ossidazione (Dugo *et al.*, 2004). In effetti, in frutti in avanzato stato di maturazione la perdita di consistenza della polpa determina condizioni (ammaccature e ferite durante la raccolta, il trasporto e l'eventuale conservazione) che facilitano la rottura della compartimentazione cellulare, mettendo l'olio a contatto di enzimi che possono dar luogo a processi endogeni ossidativi e di alterazione idrolitica, soprattutto se la temperatura è elevata.

I danni da parassiti (*Bactrocera oleae*) o da micopatie (*Colletotrichum* spp.), che hanno riflessi negativi sulla qualità dell'olio, sono anch'essi tanto più accentuati quanto più è avanzato lo stato di maturazione delle drupe alla raccolta.

Epoca di raccolta e obiettivo produttivo

Se l'epoca di raccolta influenza in maniera molto importante la quantità e la qualità del prodotto, la sua scelta deve essere fatta in funzione dell'obiettivo produttivo prefisso (Famiani *et al.*, 2005). In effetti, sulla base delle variazioni dei parametri qualitativi dell'olio descritte in precedenza, modulando opportunamente

l'epoca di raccolta si possono produrre diverse tipologie di prodotto/qualità: dall'olio "novello", ottenuto raccogliendo le olive precocemente, in maniera da arrivare sul mercato all'inizio della stagione olearia con un prodotto molto caratterizzato in termini di colore (verde) e d'intensità di fruttato verde, amaro e piccante, all'olio extravergine standard che si ottiene raccogliendo quando si ha la massima quantità di olio ed allo stesso tempo si soddisfano i requisiti merceologici di tale tipologia di prodotto. Inoltre, si può ottenere un olio "tipico" o comunque "differenziato", raccogliendo quando la composizione dell'olio che si ottiene permette di esaltare i caratteri di tipicità o di differenziazione (es. particolari sentori organolettici e/o elevato contenuto di sostanze antiossidante che danno un valore salutistico all'olio, ecc.) o un olio "dolce", adatto a piatti delicati e spesso preferito da consumatori non abituati all'olio di oliva, raccogliendo in epoca relativamente avanzata.

Numerosi studi sono stati effettuati per individuare in diversi ambienti i periodi ottimali per l'esecuzione della raccolta in funzione della quantità e della qualità ed anche per la meccanizzazione della raccolta (Famiani *et al.*, 1993, 2002; Dugo *et al.*, 2004; Tombesi *et al.*, 2006). Nella maggior parte dei casi i migliori risultati qualitativi si ottengono raccogliendo le drupe quando la loro pigmentazione è limitata all'epicarpo (pigmentazione superficiale).

Ridotte sono le evidenze sperimentali sull'influenza che il metodo di raccolta esercita sulla qualità dell'olio.

L'utilizzo di attrezzature agevolatrici e dello scuotitore del tronco, rispetto alla raccolta manuale, non determina, in genere, effetti precisi e ripetibili sulla qualità dell'olio (Tombesi, 1996; Dugo *et al.*, 2004; Dag *et al.*, 2008), ma consente, soprattutto nel caso degli scuotitori, di concentrare la raccolta nel periodo ottimale per l'obiettivo produttivo perseguito, con effetti positivi sulla "qualità commerciale" del prodotto. Inoltre, la maggiore produttività del lavoro che le macchine permettono facilita il raggiungimento delle quantità necessarie per procedere alla trasformazione, evitando o riducendo la conservazione delle olive, con positive ripercussioni sulla qualità dell'olio.

Conclusioni

Dal punto di vista storico, il problema dell'identificazione della provenienza territoriale e varietale non ha avuto, in olivicoltura, la dimensione culturale e tecnica che è propria, ad esempio, del mondo del vino. L'eterogeneità delle produzioni, dovuta alla composizione spesso polivarietale degli oliveti tradizionali,

alla diversità dei sistemi e delle strategie di raccolta delle olive e di estrazione e conservazione dell'olio, la struttura della filiera, nella quale i processi di lavorazione e imbottigliamento dell'olio sono sempre stati, e, in larga misura, ancora sono estranei alla gran parte delle aziende olivicole, nonché la limitata consapevolezza delle caratteristiche nutrizionali dell'olio di oliva hanno, per lungo tempo, reso difficile l'affermarsi di politiche in cui il riconoscimento della provenienza territoriale e dell'origine varietale fosse un valore.

Oggi, finalmente anche sul piano legislativo, la tipicità dell'olio, come elemento centrale nel marketing oleicolo, anche in funzione della sua derivazione monovarietale o di miscele di cui sia dichiarata la matrice genetica, è uno dei punti di forza dell'olivicoltura e della gastronomia italiane, in un quadro, però, dove la tracciabilità e rintracciabilità analitica degli oli è ancora un traguardo da raggiungere.

In effetti, l'insieme delle informazioni oggi reperibili consentono di apprezzare la grande variabilità della composizione dell'olio extravergine di oliva, sebbene, a ben guardare, questo non sempre comporti un'effettiva possibilità di individuare le fonti di tale variazione e, quindi, di mettere in atto strategie opportune per garantire una costante e riconoscibile tipizzazione delle produzioni oleicole. Caratterizzare un olio d'oliva su base genetica o dell'interazione genotipo-ambiente è, in definitiva, relativamente semplice; difficile è, invece, individuare, in modo certo, un olio sulla base della sua origine ambientale e della sua matrice genetica. Un altro dei paradossi dell'olivo: una tipicità certamente apprezzabile su base, ad esempio, sensoriale, associata ad una sostanziale e diffusa ignoranza proprio sulle matrici genetiche, pressochè sconosciute ai consumatori e ancora largamente sottoutilizzate, sul piano dell'offerta commerciale dell'industria oleicola. Le prospettive aperte da un quadro legislativo sempre più orientato all'individuazione dell'origine del prodotto, dalle tecnologie molecolari e dall'indagine spettroscopica, come strumenti utili a ricercarne, effettivamente, l'identità, sembrano interessanti e potrebbero favorire un'ulteriore evoluzione dei processi di qualificazione dell'olio di oliva e della sua conseguente valorizzazione commerciale. Sul piano più strettamente scientifico, approfondire ancora il quadro della composizione della frazione in saponificabile e il valore salutistico e nutrizionale è certamente importante, come lo è la definizione, anche quantitativa, delle interazioni genotipo-ambiente utili a caratterizzare la curva di maturazione delle drupe e l'evoluzione dei componenti dell'olio. Questo, nel tentativo di ottimizzare tutte le tecniche colturali che possano consentire una riproducibilità costante delle

caratteristiche che rendono gli oli extravergini monovarietalità, o le loro miscele, unici, anche nella piena espressione del genotipo.

Riassunto

L'olio d'oliva è la risultante di una serie complessa d'interazioni multiple tra fattori genetici, ambientali, colturali e tecnologici che caratterizzano sia la fase di sviluppo e di maturazione del frutto sia l'estrazione e la conservazione dell'olio. La definizione delle fonti di variabilità biologiche, ambientali e colturali che determinano la composizione dell'olio e le sue caratteristiche organolettiche durante il periodo di sviluppo e di maturazione del frutto è, insieme alla possibilità di caratterizzarne e individuarne la provenienza territoriale e la matrice genetica, oggetto di un'attività di ricerca intensa e argomentata di questa review.

Parole chiave: acidi grassi, fenoli, composti volatili, genotipo, ambiente, tecniche colturali.

Bibliografia

- ANGEROSA F., DI GIACINTO L., BASTI C., SERRAIOCCO A., 1996. *Influenza della variabile "ambiente" sulla composizione degli oli vergini di oliva*. Rivista delle Sostanze Grasse, LXXIII: 461-467.
- ANGEROSA F., SERVILI M., SELVAGGINI R., TATICCHI A., ESPOSTO S., MONTEDORO G., 2004. *Volatile compounds in virgin olive oil: occurrence and their relationship with the quality*. J. Chromatogr A. 1054 (1-2): 17-31.
- BACCOURI O., GUERFEL M., BACCOURI B., CERRETANI L., BENDINI A., LERCHER G., ZARROUK M., BEN MILED D.D., 2008. *Chemical composition and oxidative stability of Tunisian monovarietal virgin olive oils with regard to fruit ripening*. Food Chemistry, 109: 743-754.
- BARONE E., GULLO G., ZAPPÀ R., INGLESE P., 1994. *Effect of crop load on fruit ripening and olive oil (Olea europaea L.) quality*. J. on Hort. Sci. 69(1): 63-73.
- BEAUCHAMP G.K., KEAST R.S., MOREL D., LIN J., PIKA J., HAN Q., LEE C.H., SMITH A.B., BRESLIN P.A., 2005. *Ibuprofen-like activity in extra-virgin olive oil*. Nature. Sep 1; 437(7055): 45-46.
- BENDINI A., CERRETANI A., CARRASCO-PANCORBO A., GOMEZ-CARAVACA A.M., SEGURA-CARRETERO A., FERNANDEZ-GUTIERREZ A., LERCKER G., 2007. *Phenolic molecules in virgin olive oils: a survey of their sensory properties, health effects, antioxidant activity and analytical methods. an overview of the last decade*. Molecules, 12: 1679-1719.
- BERENQUER M.J., GRATAN S.R., CONNELL J.H., POLITO V.S., VOSSEN P.M., 2004. *Irrigation management to optimise olive growth, production and sensorial oil quality*. Acta Hort. 664: 79-85.
- BONGI G., 2004. *Modelli produttivi in olivicoltura*. Olivo e Olio, 9: 8-15.
- BRENES M., GARCÍA A., GARCÍA P., RIOS J.J., GARRIDO A., 1999. *Phenolic compounds in Spanish olive oil*. J. Agric. Food Chem., 47: 3535-3540.
- BRIANTE R., PATUMI M., LIMONGELLI S., FEBBRAIO F., VACCAIO C., DI SALLE A., LA CARA F., NUCCI R., 2002. *Changes in phenolic and enzymatic activities content during fruit ripening in two Italian cultivars of Olea europaea L.* Plant Science 162: 791-798.
- BRICCOLI-BATI C., TOSCANO P., ANTONUCCIO S., FAILLA O., 2002. *Effetto dell'inerbimento sullo stato vegeto-produttivo e nutrizionale dell'olivo*. L'Informatore Agrario, 31: 43-46.
- CIMATO A., SANI G., MARZI L., MARRANCI M., 1994. *Efficienza e qualità della produzione in olivo: riflessi della concimazione fogliare con urea*. Olivae, 54: 48-55.
- COVAS M.I., 2008. *Bioactive effects of olive oil phenolic compounds in humans: reduction of heart disease factors and oxidative damage*. Inflammopharmacology 16 216-218.
- CRESTI M., LINSKENS H.F., MULCHAY D.L., BUSH S., DI STILIO V., XU M.Y., VIGNANI R., CIMATO A., 1996. *Preliminary communication about the identification of DNA leaves and in olive oil of Olea europaea*. Adv. Hort. Sci. 10: 105-107.
- CUCURACHI A., 1965. *Influence of variety of olive in the fatty acid composition of the oil*. Rivista Italiana Sostanze Grasse, 42: 18-21.
- DAG A., BEN-GAL A., YERMIYAHU U., BASHEER L., NIR Y., KEREM Z., 2008. *The effect of irrigation level and harvest mechanization on virgin olive oil quality in a traditional rain-fed 'Souri' olive orchard converted to irrigation*. J.Sci. Food Agric., 88: 1524-1528.
- D'ANDRIA R., LAVINI A., MORELLI G., PATUMI M., MAGLIULO V., FRAGNITO F., 2002. *Irrigazione dell'olivo (Olea europaea L.) in un ambiente collinare dell'Italia centro-meridionale*. Atti del Convegno Internazionale di Olivicoltura, Spoleto, 22-23 aprile: 252-255.
- DEIDDA P., NIEDDU G., SPANO D., BANDINO G., ORRÙ V., SOLINAS M., SERRAIOCCO A., 1994. *Olive oil quality in relation to environmental conditions*. Acta Hort., 356: 354-357.
- DETTORI S., RUSSO G., 1993. *Influenza della cultivar e del regime idrico su quantità e qualità dell'olio d'oliva*. Olivae, 49: 36-43.
- D'IMPERIO M., DUGO G., ALFA M., MANNINA L., SEGRE A., 2007. *Statistical analysis on Sicilian olive oils*. Food Chemistry 102: 956-965.
- DI MATTEO M., SPAGNA MUSSO S., GRASSOG G., BUFALO G., 1992. *Caratterizzazione agronomica e merceologica in relazione al grado di maturazione delle produzioni di alcune cultivar olearie della provincia di Avellino*. Rivista della Società Italiana di Scienza dell'Alimentazione, 21: 35-36.
- DI VAIO C., DUMELLA DE ROSA M., MARRA L., PADUANO A., SACCHI R., 2006. *Effetto dell'ambiente di coltivazione sulla maturazione del frutto e sulla qualità dell'olio di tre cultivar di olivo campane*. Atti Convegno Nazionale "Maturazione e raccolta delle olive: strategia e tecnologie per aumentare la competitività in olivicoltura", Alanno (PE), 1 aprile 2006: 207-211.
- DUGO G., LO TURCO V., POLLICINO D., MAVROGENI E., PIPITONE F., 2004. *Caratterizzazione degli oli di oliva vergini siciliani. Variazione qualitativa di oli da cv 'Biancolilla', 'Nocellara del Belice', 'Cerasuola', 'Tonda Iblea', e 'Crastu' in funzione delle tecniche e del periodo di raccolta*. Olivae, 101: 44-52.
- FABIANI R., DE BARTOLOMEO A., ROSIGNOLI P., SERVILI M., SELVAGGINI R., MONTEDORO G.F., DISAVERIO C., MOROZZI G., 2006. *Virgin olive oil phenols inhibit proliferation of human promyelocytic leukemia cells (HL60) by inducing apoptosis and differentiation*. J. Nutr., 136, 1-6.
- FACI J.M., BERENQUER M.J., ESPADA J.L., GARCIA S., 2002. *Effect of variable water irrigation supply to olive (Olea Europaea L.) cv. Arbequina in Aragon (Spain). II Extra virgin oil quality parameters*, Acta Hort. 586: 341-344.
- FAMIANI F., PROIETTI P., PILLI M., TOMBESI A., 1992. *Influenza della carica produttiva delle piante sulla maturazione delle olive e sulla qualità dell'olio*. Atti "Giornate Scientifiche SOI", Ravello, Italia, 8-10 Aprile 1992: 436-437.
- FAMIANI F., PROIETTI P., GUELFI P., TOMBESI A., 1993. *Optimal harvesting periods for olive cultivars in Central Italy*.

- Proceedings "4th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering", Valencia and Saragoza, Spain, March 22-26 1993: 285-294.
- FAMIANI F., PROIETTI P., FARINELLI D., TOMBESI A., 2002. *Oil quality in relation to olive ripening*. Acta Hort., 586: 671-674.
- FAMIANI F., PROIETTI P., NASINI L., 2005. *Speciale Raccolta delle olive*. Olivo e Olio, 7-8: 32-51.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR R., BELTRÁN G., SÁNCHEZ-ZAMORA M.A., GARCÍA-NOVELO J., AGUILERA M.P., UCEDA M., 2006. *Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization*. HortScience, 41(1): 215-219.
- FIORINO P., 2005. *Comportamento di cv di olivo e risposte all'ambiente*. L'Informatore Agrario, 2: 45-49.
- FIORINO P., NIZZI GRIFI F., 1991. *Olive Maturation and Variations in Certain Oil Constituents*. Olivae, 35: 25-33.
- FIORINO P., ALESSANDRI S., 1996. *Tecniche agronomiche e caratteristiche dell'olio di oliva*. In: Enciclopedia Mondiale dell'Olivo. Ed. COI Madrid: 195-222.
- FIORINO P., OTTANELLI A., 2004. *Crescita ed inolizione dei frutti di cultivar di olivo (Olea europaea) nella Toscana interna e possibili influenze dell'ambiente nella determinazione dei trigliceridi*. Atti del Convegno Nazionale "Germoplasma Olivicolo e Tipicità dell'Olio". Perugia, 5 dicembre 2003: 158-164.
- FREZZOTTI G., 1934. *Influenza dei fattori ambientali sulla costituzione chimica dell'olio d'oliva*. Ed. Tipografia Economica, Perugia: pp. 8.
- GALVANO F., LA FAUCI L., GRAZIANI G., FERRACANE R., MASELLA R., DI GIACOMO C., SCACCO A., D'ARCHIVIO M., VANELLA L., GALVANO G., 2007. *Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Italian Extra Virgin Olive Oil Monti Iblei*. J. Medicinal Food., 10(4): 650-656.
- GARCÍA J.M., SELLER S., PÉREZ-CAMINO C., 1996. *Influence of fruit ripening on olive oil quality*. J. Agric. Food. Chem., 44: 3516-3520.
- GOUVEIA F. 1997. *Comparacion de los Aceites de Oliva de los Cultivares Cobrancosa, Blanqueta, Azeitira y Picual con los del cv. Galega Vulgar, Producidos en el Norte del Alentejo. I. Principales Características Químicas y Sensoriales*. Olivae, 66: 34-45.
- GUCCI R., 2006. *Implicazioni delle relazioni idriche nella gestione dell'irrigazione dell'olivo*. Italus Hortus 13(1), 2006: 61-70.
- GUCCI R., SERVILI M., 2006. *L'irrigazione in deficit controllato in olivicoltura*. Accademia dei Georgofili. Quaderni 2005 - IV" Firenze, 24 novembre 2005: 119-142.
- GUCCI R., GENTILE S., SERRAVALLE M., TOMEI F., RAPOPORT H.F., 2004. *The effect of irrigation on fruit development of olive cultivars 'Frantoio' and 'Leccino'*. Acta Hort., 664: 291-295.
- GUTIÉRREZ F., ARNAUD T., ALBI M.A., 1999. *Influence of ecological cultivation on virgin olive oil quality*. J. Am. Oil Chem. Soc., 76(3): 617-621.
- INGLESE P., BARONE E., GULLO G., 1996. *The effect of complementary irrigation on fruit growth and ripening pattern and oil characteristics of olive (Olea europaea L.) Cv. Carolea*. J. Horticultural Science and Biotechnology. vol. 71, pp. 257-263.
- INGLESE P., GULLO G., PACE L.S., RONZELLO G., 1999. *Fruit growth, oil accumulation and ripening of the olive cultivar "Carolea" in relation to fruit density*. Acta Hort. 474: 265-268.
- KEYS A., 1980. *Seven countries: a multivariate analysis of death and coronaric heart disease*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- LAIN O., RABIEI Z., PERRI E., MUZZALUPO I., TESTOLIN R., 2004. *Estrazione di DNA d'olio e amplificazione di loci micro satellite: approcci metodologici e primi risultati*. Atti de Convegno Nazionale Germoplasma Olivicolo e Tipicità dell'Olio. Perugia, 5 dicembre 2003, 226-230.
- LAVEE S., WODNER M., 1991. *Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive*. J. Hort. Sci. 66: 583-591.
- LAVEE S., WODNER M., 2004. *The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (Olea europaea), cvs. Barnea and Manzanillo*. Scientia Hort. 99: 267-277.
- LAVEE S., NASHEF M. WODNER M., HARSHMESH H., 1990. *The effect of complementary irrigation added to old olive trees (Olea europaea L.) cv. "Souri" on fruit characteristics, yield and oil production*. Adv. in Hort. Sci., 4: 135-138.
- LO CURTO S., DUGO G., MONDELLO L., ERRANTE G., RUSSO M.T., 2001. *Variation of tocopherol content in virgin italian olive oils*. J. Ital. Food Sci., 13, 221-228.
- LOMBARDO N., MARONE E., ALESSANDRINO M., GODINO G., MADEO A., FIORINO P., 2008. *Influence of growing season temperatures in the fatty acids (FAs) of triacylglycerols (TAGs) composition in Italian cultivars of Olea europaea*. Adv. Hort. Sci., 22(1): 49-53.
- LOTTI G., IZZO R., RIU R., 1982. *Influenza del clima sulla composizione acidica e sterolica degli oli di oliva*. Riv. Soc. Ital. Sci. Alimentazione, 2: 115-126.
- MANNINA L., FONTANAZZA G., PATUMI M., ANSANELLI G., SEGRE A., 2001. *Italian and Argentine olive oils: a NMR and gas chromatographic study*. Grasas y Aceites, 52(6): 380-388.
- MANNINA L., DUGO G., SALVO F., LOCICERO L., ANSANELLI G., CALCAGNI C. 2003. *Study of the cultivar composition relationship in Sicilian olive oils by GC, NMR and statistical methods*. J. Agr. And Food Chem., 51: 120-127.
- MARMIROLI N., PALMIERI L., DONINI P., FORHER C., MARTIN A., DA CAMARA MACHADO A., LOPES P., BRETON C., 2004. *Caratterizzazione di oli d'oliva mediante metodi molecolari basati sull'analisi del DNA*. Atti de Convegno Nazionale Germoplasma Olivicolo e Tipicità dell'Olio. Perugia, 5 dicembre 2003, 221 - 225.
- MIGNANI A.G., CIACCHERI L., THIEMPONT H., OTTEVAERE H., ATTILIO C., CIMATO A., 2006. *An optical technique for finger printing extra virgin olive oils*. Olivebioteq 2006, november 5th-10th, Mazara del Vallo, Marsala (Italy). (2): 377-382.
- MINEO V., PLANETA D., FINOLI C., GIULIANO S., 2007. *Fatty acids, sterols and antioxidant compounds of minor and neglected cultivar of Sicilian virgin olive oils*. Progress in Nutrition 9(4): 259-263.
- MONTEODORO G.F., GAROFOLO L., 1984. *Caratteristiche qualitative degli oli vergini di oliva. Influenza di alcune variabili: varietà, ambiente, conservazione, estrazione, condizionamento del prodotto finito*. Riv. It. Sost. Grasse, LXI: 3-11.
- MONTEODORO G.F., SERVILI M., PANNELLI G., 2003. *Le caratteristiche del prodotto e le relazioni con le variabili agronomiche*. In "Olea, trattato di olivicoltura". Ed. Il Sole 24 Ore-Edagricole, Bologna: 263-289.
- MORELLÒ J.R., MOLTILVA M.J., RAMO T., ROMERO M.P., 2003. *Effect of freeze injuries in olive fruit on virgin olive oil composition*. Food Chemistry, 81: 547-553.
- MORELLÒ J.R., ROMERO M.P., RAMO T., MOLTILVA M.J. 2005. *Evaluation of L-phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic profile in olive drupe (Olea europaea L.) from fruit setting period to harvesting time*. Plant Science 168: 65-72.
- MOLTILVA M.J., TOVAR M.J., ROMERO M.P., ALEGRE S., GIRONA J., 2000. *Influence of regulated deficit irrigation strategies applied to olive trees (Arbequina cultivar) on oil yield and oil composition during the fruit ripening period*. J. Sci. Food Agric., 80: 2037-43.
- MOLTILVA M.J., TOVAR M.J., ROMERO M.P., ALEGRE S., GIRONA J., 2002. *Evolution of oil accumulation and polyphenol content in fruits of olive tree (Olea europaea L.) related to different irrigation strategies*. Acta Hort. 586: 345-348.
- MOUSA Y.M., GERASOPOULOS D., 1996. *Effect of altitude on fruit and oil quality characteristics of 'Mastoides' olives*. J. Sci. Food Agric., 71: 345-350.
- NINFALI P., BACCHIOCCA M., BIAGIOTTI E., ESPOSTO S., SERVILI M., ROSATI A., MONTEODORO G.F., 2008. *A 3-year study on*

- quality, nutritional and organoleptic evaluation of organic and conventional extra-virgin olive oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 85: 151-158.
- OSMAN M., METZIDAKIS I., GERASOPOULOS D., KIRITSAKIS A., 1994. *Qualitative changes in olive oil of fruits collected from trees grown at two altitudes*. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, LXXI aprile: 187-190.
- PALLIOTTI A., FAMIANI F., PROIETTI P., BOCO M., ANTOGNOZZI E., PREZIOSI P., FERRADINI N., GUELF P., 1999. *Effects training system on tree growth, yield and oil characteristics in different olive cultivars*. *Acta Hort.*, 474: 189-192.
- PANDOLFI A., PROIETTI P., FAMIANI F., GUELF P., FARINELLI D., SISANI G., TOMBESI A., 2000. *Effetti del tipo di gestione del suolo e dell'irrigazione sull'attività vegeto-produttiva dell'olivo in centro Italia*. Atti "V Giornate Scientifiche SOI", Sirmione, 28-30 marzo 2000: 329-330.
- PANNELLI G., ALFEI B. 2008. *Valore alimentare, identità e peculiarità sensoriali*. *Olio e Olio*, 4: 38-45.
- PANNELLI G., SERVILI M., BALDIOLI M., SELVAGGINI R., MONTEODORO G.F., 1994. *Effect of agronomic and seasonal factors on olive (Olea europaea L.) production and on the qualitative characterization of the oil*. *Acta Hort.*, 356: 239-243.
- PANNELLI G., SELVAGGINI R., SERVILI M., BALDIOLI M., MONTEODORO G.F., 1995. *La produzione e la composizione dell'olio in relazione alla fisiologia dello stress idrico in olivo (Olea europaea L.) cv. Leccino*. Atti "L'olivicultura Mediterranea: stato e prospettive della coltura e della ricerca", Rende (CS), 26-28 gennaio 1995: 701-721.
- PARLATI M.V., PERRI E., PANDOLFI S., 1998. *Interazione genotipo-ambiente e qualità degli oli estratti in alcune zone olivicole del Lazio (II Contributo)*. Atti del Convegno "L'Olivicoltura nei Paesi del Mediterraneo – Politiche e tecniche a confronto, Roma, 6-7 dicembre: 345-356.
- PATUMI M., D'ANDRIA R., MARSILIO V., FONTANAZZA G., MORELLI G., LANZA B. 2002. *Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (Olea europaea L. cv. Kalamata) in different irrigation regimes*. *Food Chemistry*, 77: 27-34.
- PAZ AGUILERA M., BELTRÁN G., ORTEGA D., FERNANDÉZ A., JIMÉNEZ A., UCEDA M., 2005. *Characterization of virgin olive oil of Italian olive cultivars: 'Frantoio' and 'Leccino', grown in Andalusia*. *Food Chemistr.* 89: 387-391.
- PERRI E., RIZZUTI B., PELLEGRINO M., PAPARELLA N., PANARO N., CAVALLO C., 2002. *Characterization of Italian virgin olive oils from organic farming systems*. *Acta Hort.*, 586: 637-640.
- PREZIOSI P., PROIETTI P., FAMIANI F., ALFEI B., 1994. *Comparison between monocone and vase training systems on the olive cultivars Frantoio, Moraiolo and Nostrale di Rigali*. *Acta Hort.*, 356: 306-310.
- PROIETTI P., NASINI L., FAMIANI F., GUELF P., STANDARDI A., 2009. *Influence of light availability on fruit and oil characteristics in Olea europea L.* Proceedings "VI International Symposium on olive Growing", Evora, Portugal, 9-13 November 2008, *Acta Hort.* (in press).
- RANALLI A., DE MATTIA G., FERRANTE M.L., GIANSAnte L., 1997. *Incidence of olive cultivation area on the analytical characteristics of the oil*. *Note 1*. *Riv. It. Sostanze Grasse*, LXXIII: 501-508.
- RAPOPORT H.F., COSTAGLI G., GUCCI R., 2004. *The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis*. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 129: 121-127.
- RIPA V., DE ROSE F., CARAVITA M.L., PARISE M.R., PERRI E., ROSATI A., PANDOLFI S., PAOLETTI A., PANNELLI G., PADULA G., GIORDANI E., BELLINI E., BUCCOLIERO A., MENNONE C., 2008. *Qualitative evaluation of olive oils from new olive selections and effects of genotype and environment on oil quality*. *Adv. Hort. Sci.*, 22(2): 95-103.
- SAKOUHI F., HARRABI S., ABSALON C., SBEI K., BOUKHCHINA S., KALLEL H., 2008. *Tocopherol and fatty acid contents of some Tunisian table olives (Olea europaea L.): changes in their composition during ripening and processing*. *Food Chemistry*, 108: 833-839.
- SALVADOR M.D., ARANDA F., GÓMEZ-ALONSO S., FREGAPANE G., 2001. *Cornicabra virgin olive oil: a study of five crops seasons. Composition, quality and oxidative stability*. *Food Chemistry* 74: 267-274.
- SERVILI M., MONTEODORO G.F., PANNELLI G., FAMIANI F., 1990. *Influenza delle variabili pedologiche, tecnologiche e varietali sulla qualità degli oli vergini di oliva*. Atti del Convegno "Problematiche qualitative dell'olio di oliva", Sassari, 6 novembre 1990: 231-245.
- SERVILI M., SELVAGGINI R., ESPOSTO S., TATICCHI A., MONTEODORO G.F., MOROZZI G., 2004. *Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil*. *J. Chromatography A*, 1054: 113-127.
- SERVILI M., ESPOSTO S., LODOLINI E., SELVAGGINI R., TATICCHI A., URBANI S., MONTEODORO G.F., SERRAVALLE M., GUCCI R., 2007. *Irrigation effects on quality, phenolic composition and selected volatiles of virgin olive oil cv Leccino*. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6609-6618.
- SIMÕES P., PINHEIRO-ALVES C., CORDEIRO A.M., MARCELO M.E., 2002. *Effect of nitrogen and potassium fertilization on fatty acids composition and oxidative stability for 'Carrasquenha' cultivar olive oil at different harvest periods - Preliminary study*. *Acta Hort.*, 586: 337-340.
- SOLINAS M., MARSILIO V., ANGEROSA F., 1987. *Evolution of some aroma components in olive oil in relation to the olive ripening degree*. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 64: 475-480.
- STEFANOUDAKY E., KOTSIFAKI F., KOUTSAFTAKIS A., 1999. *Classification of virgin olive oils of the two major cretan cultivars based on their fatty acid composition*. *J. Am. Oil Chemists Society*, 76(5): 623-626.
- SWEENEY S., BUTLER K., KONLAN D., CORREL R., JONES G., MCCLURE P., TAILOR R., 2002. *A survey of selected oil composition and fruit characteristic in different olive varieties across Australia*. *Adv. Hort. Sci.* 3-4: 254-258.
- TOMBESI A., 1994. *Olive fruit growth and metabolism*. *Acta Hort.*, 356: 225-232.
- TOMBESI A., FAMIANI F., PROIETTI P., GUELF P., 1996. *Manual, integrated and mechanical olive harvesting: efficiency and effects on trees and oil quality*. *Ezzaitouna, Revue scientifique de l'oléiculture et de l'oléotechnie*, 2(1-2): 93-101.
- TOMBESI A., CAPOCCIA L., BOCO M., FARINELLI D., 2006. *Evoluzione degli indici di maturazione per ottimizzare l'epoca di raccolta in olivo*. *Frutticoltura*, 3: 12-19.
- TOVAR M.J., ROMERO M.P., GIRONA J., MOTILVA M.J., 2002. *Phenylalanine ammonia-lyase activity and concentration of phenolics in developing olive (Olea europaea L. cv. Arbequina) fruit grown under different irrigation regimes*. *J. Sci. Food Agric.* 2002, 82: 892-898.
- TURA D., FAILLA O., PEDÒ S., GIGLIOTTI C., BASSI D., SERRAIOCO A., 2008. *Effects of seasonal weather variability on olive oil composition in northern Italy*. *Acta Hort.*, 791: 769-776.
- UCEDA OJEDA M., 1985. *El cultivo del olivo*. Junta de Andalucía – Edic. Mundi-Prensa.
- UCEDA M., HERMOSO M., GARCÍA-HORTIZ, JIMENEZ A., BELTRÁN G., 1999. *Intraspecific variation of oil contents and the characteristics of oils in olive cultivars*. *Acta Hort.*, 474: 659-662.
- VITAGLIANO C., 1969. *Osservazioni comparative sull'olio prodotto da olive intensivi irrigui e in coltura tradizionale asciutta*. *Tecnica Agricola*, 6-7: 169-177.
- VITAGLIANO M., LEONE A.M., VODRET A., 1961. *Ricerche sull'olio per via gas-cromatografica e possibilità di difenderne la genuinità*. *Rivista delle Sostanze Grasse*, XXXVIII: 111-120.
- ZUCCONI F., KASSINIS D., CORVOUNIS G., 1978. *Considerazioni sulla maturazione commerciale delle olive*. *L'Italia Agricola* n.7-8: 105-112.