

DOTTORATO DI RICERCA IN
VALORIZZAZIONE E GESTIONE DELLE RISORSE AGRO-FORESTALI

INDIRIZZO
ANALISI E MODELLISTICA DEI SISTEMI AGRARI E FORESTALI

XIX CICLO

UNA PROPOSTA METODOLOGICA PER LA ZONAZIONE OLIVICOLA
CASO DI STUDIO IN AREALE CILENTANO

Tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca

Coordinatore:

Ch.mo Prof. Antonio Cioffi

Tutor:

Ch.mo Prof. Ing. Guido D'Urso

Dottoranda:

Elena De Marco

Co-tutori:

Ch.mo Prof. Fabio Terribile

Ch.mo Prof. Raffaele Sacchi



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AGRARIA E AGRONOMIA DEL TERRITORIO
Portici, Novembre 2006

*Ricerca è ciò che faccio
quando non so che cosa sto facendo*

Wernher Von Braun



GRAZIE...

... alle Dr.sse Cristina Parisini e Maria Savarese, che mi hanno introdotto nel mondo a me nuovo della chimica dell'olio, senza farmi sentire, neanche per un momento, l'ultima arrivata, che mi hanno aiutato a ritrovare la curiosità della ricerca, l'entusiasmo della scoperta, la forza di lavorare insieme. La loro dolcezza, la loro premura, la loro disponibilità le hanno rese ben presto molto più che colleghe.

... al Dr. Francesco Vuolo, mai stanco delle mie richieste di aiuto. La sua disponibilità gratuita e sorridente, la leggerezza nel vivere anche i momenti più impegnativi, la capacità di rendere tutto più semplice sono stati per me indispensabili.

... al Dr. Palladino, che voglio assicurare a proposito degli innumerevoli "Grazie, Mario!": suonati a volte come una scherzosa citazione, erano al contrario davvero doverosi e sinceri.

... al Dr. Giuliano Langella, che con generosità mi ha consentito di continuare sulla strada da lui intrapresa, trasmettendomi tutto ciò di cui avevo bisogno per non partire da zero.

... ai Proff. Raffaele Sacchi e Fabio Terribile, che mi hanno di buon grado accolta come loro "discepola", e allo staff del Laboratorio Oli e Grassi, alla cui porta sempre sono stata accolta con un sorriso.

... ad Alessandra (mi perdonerà, non riesco a chiamarla Dr.ssa Borrello...), mia compagna di cammino, di ansie, di successi, di pianti, di sogni (e di sonno...), mia consigliera, mia testarda consulente d'immagine, mia sorella ormai... e alla sua stupenda famiglia, dove chiunque varchi la soglia è un figlio in più di cui prendersi cura.

... a Tonino, che ancora non ha desistito dal tentativo di insegnarmi a dare il giusto peso ad ogni cosa, a rallentare il passo, ad apprezzare i traguardi raggiunti, che si è offerto di condividere molto più di quanto fosse tenuto a fare, perché le lunghe serate e i frequenti week-end dedicati al mio lavoro si trasformassero, da tempo sottratto a lui, in tempo guadagnato da vivere insieme.

... a Guido, il mio Tutor (e lo è stato a pieno titolo), che ha creduto in me anche quando ero io stessa a non farlo, che mi ha esortato a cercare senza accontentarmi, a cui è stata a cuore la mia ricerca molto più della sua. Ciò che mi ha insegnato è di certo differente da quello che avrebbe pensato e sperato, ma forse più profondo e duraturo.

INDICE

CAPITOLO 1. INTRODUZIONE

1.1	SCOPO DELLA TESI.....	1
1.2	OLIO VERGINE DI OLIVA: DEFINIZIONE DI QUALITÀ	2
1.3	ZONAZIONE: OBIETTIVI E STRUMENTI.....	3
1.4	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	4
1.5	ORGANIZZAZIONE DELLA TESI	6

CAPITOLO 2. STATO DELL'ARTE

2.1	PREMESSA	7
2.2	ZONAZIONE: UNA BREVE REVIEW	7
2.3	RISPOSTA PRODUTTIVA DELL'OLIVO ALLE CARATTERISTICHE PEDOCLIMATICHE.....	13
2.3.1	Composizione e qualità dell'olio di oliva.....	13
2.3.2	Influenza dello stadio di maturazione e dei fattori ambientali sulla composizione acidica	15
2.3.3	Influenza dello stadio di maturazione e dei fattori ambientali su contenuto e composizione in composti fenolici.....	17
2.3.4	Influenza dei fattori ambientali sulla qualità sensoriale dell'olio.....	21
2.4	BILANCIO IDROLOGICO DELL'OLIVO	21
2.4.1	Risposta dell'olivo allo stress idrico.....	21
2.4.2	Modellazione di bilancio idrologico per la coltura dell'olivo	24

CAPITOLO 3. INDAGINE PUNTUALE: CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE

3.1	L'AREA DI STUDIO E LA CULTIVAR	27
3.1.1	Il Cilento.....	27
3.1.2	La Pisciottana	30
3.2	I SITI SPERIMENTALI	30
3.3	IL CLIMA	32
3.4	IL SUOLO	35
3.5	PARAMETRI VEGETAZIONALI	39
3.5.1	Soil Cover.....	39
3.5.2	Indice di Area Fogliare	40
3.6	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE DI BILANCIO IDROLOGICO	50
3.6.1	Equazione del moto dell'acqua nel suolo.....	50
3.6.2	Simulazione delle condizioni di stress idrico	51
3.6.3	Caratteristiche idrauliche del suolo	53
3.6.4	Implementazione del modello	54

3.6.5	Output delle simulazioni.....	62
-------	-------------------------------	----

CAPITOLO 4. INDAGINE PUNTUALE: IL RISULTATO PRODUTTIVO

4.1	CARATTERIZZAZIONE DEL FRUTTO: MATERIALI E METODI.....	65
4.1.1	Campionamento	65
4.1.2	Determinazioni carpologiche.....	66
4.1.3	Determinazione dell'umidità.....	66
4.1.4	Determinazione del contenuto in lipidi.....	67
4.1.5	Determinazione della composizione acidica	67
4.1.6	Estrazione dei composti fenolici dalla polpa delle olive.....	68
4.1.7	Identificazione dei composti fenolici mediante LC-MS.....	68
4.1.8	Determinazione del contenuto e della composizione della frazione fenolica mediante analisi HPLC/UV.....	69
4.1.9	Quantificazione dei composti fenolici mediante metodo colorimetrico.....	69
4.2	CARATTERIZZAZIONE DEL FRUTTO: RISULTATI.....	70
4.2.1	Determinazioni carpologiche.....	70
4.2.2	Contenuto d'acqua e d'olio	71
4.2.3	Composizione in acidi grassi	72
4.2.4	Contenuto e composizione in composti fenolici	74
4.3	CARATTERIZZAZIONE DELL'OLIO: MATERIALI E METODI.....	86
4.3.1	Micro-oleificazione	86
4.3.2	Determinazione degli indici di qualità.....	87
4.3.3	Determinazione del contenuto e della composizione in composti fenolici.....	87
4.3.4	Determinazione del contenuto e della composizione in tocoferoli	88
4.3.5	Analisi sensoriale.....	88
4.3.6	Determinazione dei composti volatili mediante DHS/GC-MS	89
4.4	CARATTERIZZAZIONE DELL'OLIO: RISULTATI.....	90

CAPITOLO 5. INDAGINE PUNTUALE: RELAZIONI TRA VARIABILI AMBIENTALI E PRODUTTIVE

5.1	PRECOCITÀ DI MATURAZIONE.....	97
5.2	MISURE CARPOLOGICHE.....	98
5.3	CONDIZIONI FITOSANITARIE.....	99
5.4	COMPOSIZIONE IN ACIDI GRASSI.....	100
5.5	SIMULAZIONI DI BILANCIO IDROLOGICO.....	102
5.6	CONTENUTO E COMPOSIZIONE IN COMPOSTI FENOLICI	103
5.7	CONSIDERAZIONI EMERGENTI DALL'ANALISI PUNTUALE	109

CAPITOLO 6. INDAGINE TERRITORIALE

6.1	PREMESSA	113
6.2	MAPPE RELATIVE A VARIABILI STORICHE.....	114
6.2.1	Spazializzazione dei dati termometrici storici	114
6.2.2	Spazializzazione dei dati pluviometrici storici	117
6.2.3	Mappe di radiazione solare extra-atmosferica	121

6.3	MAPPE RELATIVE A VARIABILI DELL'ANNO 2005.....	124
6.3.1	Spazializzazione dei dati termometrici 2005	124
6.3.2	Spazializzazione dei dati pluviometrici 2005	127
6.3.3	Mappe di radiazione solare globale.....	127
6.3.4	Mappe di evapotraspirazione di riferimento	129
6.3.5	Mappa di Indice di Area Fogliare	130
6.3.6	Mappa di deficit pluviometrico	132
	CAPITOLO 7. CONCLUSIONI.....	135
	BIBLIOGRAFIA.....	139

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 SCOPO DELLA TESI

Negli ultimi anni gli ambienti scientifici si mostrano particolarmente interessati ad approfondire l'importanza delle caratteristiche dell'ambiente nel determinare la qualità, l'originalità e la tipicità delle produzioni agro-alimentari. La conoscenza dell'intimo legame esistente tra il prodotto ed il territorio con le sue peculiari caratteristiche geologiche, pedologiche e climatiche consente di migliorare la gestione agronomica e di orientare le scelte colturali in maniera da rendere ottimali i rapporti tra ambiente e cultivar, al fine di consentire la manifestazione di tutte le sue potenzialità produttive, intese non solo sotto l'aspetto quantitativo, ma anche sotto quello qualitativo.

La conoscenza di tale legame tra ambiente e risultato produttivo è avanzata soprattutto per la coltura della vite: negli ultimi decenni l'attitudine di differenti zone alla viticoltura è stata oggetto di numerosi studi a carattere interdisciplinare (Lulli *et al.*, 1989; Costantini, 1992; Fregoni e Zamboni, 1992), che hanno esaminato le influenze esercitate sul risultato produttivo da condizioni ambientali (suolo, clima), pratiche agronomiche, patrimonio genetico, tecniche di vinificazione. È valutando l'interazione di tutti questi fattori che si può formulare un giudizio sull'attitudine di un ambiente alla coltivazione della vite (Scienza *et al.*, 1992). Con il termine "zonazione" si intende appunto la suddivisione di un territorio in aree omogenee dal punto di vista delle caratteristiche eco-pedologiche e geografiche e conseguentemente del risultato produttivo (Morlat, 1992).

Per altre colture, quale quella dell'olivo, a differenza di quanto accade per la vite, le conoscenze sui legami esistenti tra parametri climatici e pedologici e risultato produttivo sono ancora piuttosto limitate.

Tenuto conto del fatto che l'olio di oliva è uno dei prodotti agro-alimentari per i quali si riscontrano un consumo in aumento a livello mondiale e un crescente interesse del mercato per produzioni di pregio, dallo stretto legame con il territorio, potrebbe risultare utile approfondire lo studio delle relazioni che intercorrono tra le caratteristiche del territorio ed il risultato produttivo ottenibile per tale coltura, sia sul piano quantitativo che qualitativo.

Scopo della presente tesi è quello di individuare una metodologia per un lavoro di zonazione olivicola che sia sostenuta da una robusta base fisica e che, allo stesso tempo, sia "low-cost", ovvero non molto dispendiosa in termini di tempo e di risorse umane e materiali, e che possa conseguentemente essere estesa con facilità a differenti areali e genotipi.

Le potenzialità produttive della coltura, la cui piena espressione è l'obiettivo di un lavoro di zonazione, sono state intese più che sotto l'aspetto della resa produttiva, sotto quello della qualità del prodotto. Il miglioramento della qualità delle produzioni agro-alimentari, infatti, si configura sempre più spesso come un obiettivo primario ed assume in molti casi un'importanza persino maggiore rispetto all'incremento della resa, in un mercato sempre più attento alle proprietà nutrizionali ed organolettiche degli alimenti.

1.2 OLIO VERGINE DI OLIVA: DEFINIZIONE DI QUALITÀ

Per la coltura dell'olivo, le conoscenze sulle influenze esercitate dai fattori ambientali sulla composizione del frutto e sulla qualità dell'olio sono molto limitate. Lo stesso concetto di qualità è molto ampio e caratterizzato da non univoche interpretazioni. Risulta, infatti, piuttosto difficile definire la qualità di un olio vergine di oliva, dal momento che questa può essere valutata sotto diversi punti di vista e che svariati sono i parametri analitici sensoriali e strumentali che possono essere adottati per la valutazione.

La qualità dell'olio può essere considerata sotto quattro punti di vista (Montedoro e Garofolo, 1984):

- merceologico (genuinità, adulterazioni, alterazioni, ecc., secondo le disposizioni di legge);
- igienico-sanitario (assenza di residui estranei e tossici);
- nutrizionale e dietetico (composizione chimica che soddisfi le esigenze fisiologiche di chi lo assume);
- organolettico o edonistico (composizione chimica che lo renda gradevole e quindi appetibile).

Per quanto concerne gli oli vergini di oliva, queste due ultime caratteristiche assumono una grande rilevanza.

La World Health Organization ha definito la "salute" come "uno stato di completo benessere fisico e mentale e non solo l'assenza di malattie o infermità". Ecco perché anche il colore, l'odore ed il sapore costituiscono tre parametri fondamentali che acquisiscono una funzione fisiologica al di là dei puri aspetti nutrizionali. Come riporta Montedoro (1985), uno degli attributi di qualità di un prodotto alimentare è "l'insieme delle proprietà che lo rendono accettabile o desiderabile" a cui il consumatore può attribuire "un significato affettivo e simbolico ed un potere gratificante".

L'importanza assunta dalle proprietà organolettiche sulla qualità complessiva del prodotto è stata recepita anche a livello legislativo: gli standard qualitativi minimi fissati dall'attuale normativa europea (Regolamento CEE 2568/91 e successivi aggiornamenti) perché un olio di oliva possa essere commercializzato con la dicitura "verGINE" o "extra vergine" comprendono non solo parametri chimico-fisici (acidità, numero di perossidi, indici spettrofotometrici), ma anche parametri organolettici risultanti dall'analisi olfattiva e gustativa da parte di un panel di assaggiatori appositamente addestrati. Il superamento dei limiti anche per uno solo di tali parametri provoca il declassamento dell'olio ad una categoria merceologica inferiore. Per poter essere commercializzato come "extra vergine", un olio di oliva deve essere esente da qualsiasi difetto organolettico, a testimoniare l'importanza che il profilo sensoriale assume nella definizione della qualità del prodotto olio.

Diversi fattori concorrono a determinare la composizione, e conseguentemente la qualità, degli oli di oliva vergini; di questi, alcuni sono legati alla materia prima (cultivar, ambiente di coltivazione, tecniche agronomiche, stato sanitario ed epoca di raccolta dei frutti), altri alla tecnologia di lavorazione (modalità di raccolta e stoccaggio delle olive, trasformazione, conservazione del prodotto finito). Dal momento che questi parametri interagiscono in maniera complessa, influenzandosi vicendevolmente, mettere in evidenza le modificazioni delle caratteristiche compositive degli oli di oliva vergini indotte da una sola variabile si presenta come un problema di non facile soluzione. La conoscenza delle relazioni tra caratteristiche del territorio e

qualità/quantità del prodotto ottenuto, per quanto difficile da perseguire, è però un presupposto fondamentale per ogni lavoro di zonazione agronomica.

1.3 ZONAZIONE: OBIETTIVI E STRUMENTI

La realizzazione del binomio ottimale ambiente/cultivar è un obiettivo che gli agricoltori hanno cercato di perseguire fin dai tempi più antichi. Soltanto negli ultimi decenni, però, la valutazione del territorio allo scopo di scegliere l'uso del suolo più appropriato per ciascuna unità territoriale è diventata oggetto di attenzione anche da parte degli ambienti scientifici, dei tecnici e degli enti preposti alla pianificazione del territorio, assumendo così un crescente carattere di scientificità.

La valutazione del territorio o *land evaluation* è definita come "il processo di stima del comportamento del territorio quando viene usato per fini specifici" (FAO, 1976) ed ha come obiettivo finale la classificazione, ovvero l'inserimento di ciascuna unità cartografica territoriale in una classe di attitudine alla realizzazione di attività agro-silvo-pastorali nel loro complesso (*land capability*) o alla coltivazione di una determinata specie o cultivar o all'impiego di determinate pratiche agronomiche (*land suitability*).

Un principio che oggi è di particolare attualità e che deve essere tenuto presente durante la valutazione è quello dell'uso sostenibile, cioè di un uso in grado di essere praticato per un periodo di tempo indefinito. In fase di valutazione vanno prese in considerazione le probabili conseguenze di un uso del suolo e delle pratiche agronomiche che esso comporta, declassando le unità che non garantiscono un uso sostenibile. Si definiscono, cioè, non adatti tutti quegli usi agricoli o forestali che provocherebbero un deterioramento severo o permanente delle qualità del territorio.

L'importanza della valutazione del territorio sta nelle ricadute che essa ha sia sui risultati produttivi ottenuti che sulla conservazione del suolo. Lo studio della vocazionalità di un territorio alla coltivazione di una determinata specie o cultivar e la sua suddivisione in aree omogenee per quanto riguarda il risultato produttivo (zonazione) può essere estremamente utile ai fini di una razionale pianificazione del territorio, consentendo di realizzare i migliori binomi genotipo-ambiente, che garantiscano buoni risultati produttivi senza cure colturali particolarmente onerose o pesanti interventi di sistemazione del suolo o rischi di degradazione del suolo stesso.

In un procedimento di zonazione, la valutazione della vocazionalità di un territorio per una specifica coltura e tipologia di prodotto desiderato viene effettuata in rapporto ad un modello agronomico di riferimento. Ogni singola situazione ambientale va valutata in termini potenziali rispetto a tale modello e alle condizioni ambientali che ne permettono la realizzazione. Stabilito l'obiettivo agronomico che si intende perseguire, si valutano le limitazioni che le condizioni naturali oppongono al suo raggiungimento; il giudizio sulla vocazionalità di un ambiente viene formulato in relazione alla distanza che intercorre tra le condizioni specifiche e quelle di riferimento.

Il processo di valutazione inizia con la precisazione del tipo di utilizzazione e continua con il rilevamento dei caratteri del territorio, ovvero di "attributi del territorio che possono essere misurati o stimati", integrando i quali vengono stimate le qualità del territorio, definite come "attributi complessi del territorio che influenzano in modo specifico le attitudini" (Favi e Costantini, 1991). Il terzo e fondamentale elemento ai fini del processo di valutazione consiste nel definire le proprietà che deve avere il territorio per sostenere un determinato uso. Queste proprietà

possono essere di tipo fisiologico, tecnologico o di conservazione. Nel primo caso si tratta di stabilire quali sono le condizioni ottimali per la crescita di una pianta (*crop requirements*), nel secondo quali sono i requisiti per la realizzazione di tecniche di gestione (*management requirements*), nel terzo quali sono le condizioni per eliminare i processi erosivi e di degrado (*conservation requirements*). Dopo aver stabilito lo scopo della valutazione, acquisito i dati per l'elaborazione e definito i requisiti che un uso specifico necessita, occorre procedere al trattamento di questi tre elementi per attribuire le classi di attitudine alle unità cartografiche. Questo obiettivo viene raggiunto mediante la realizzazione di una tabella di confronto (*matching table*), in cui vengono confrontati i requisiti di un determinato tipo di utilizzazione con le qualità delle unità territoriali. Da questo confronto scaturisce l'attribuzione di una classe di attitudine a ciascuna unità territoriale (Favi e Costantini, 1991).

Nel processo di valutazione del territorio, i caratteri del suolo in senso stretto non possono essere sufficienti: la caratterizzazione pedologica e la determinazione delle proprietà fisiche e fisico-chimiche del suolo devono, infatti, integrarsi con lo studio delle caratteristiche idrologiche e morfologiche, oltre che dei dati climatici, per essere poi completate dalla valutazione della risposta produttiva e delle caratteristiche qualitative del prodotto. Un lavoro di zonazione richiede, dunque, l'integrazione di competenze e di metodologie mutuata da differenti discipline, assumendo, in tal modo, un forte carattere di interdisciplinarietà.

1.4 METODOLOGIA DI INDAGINE

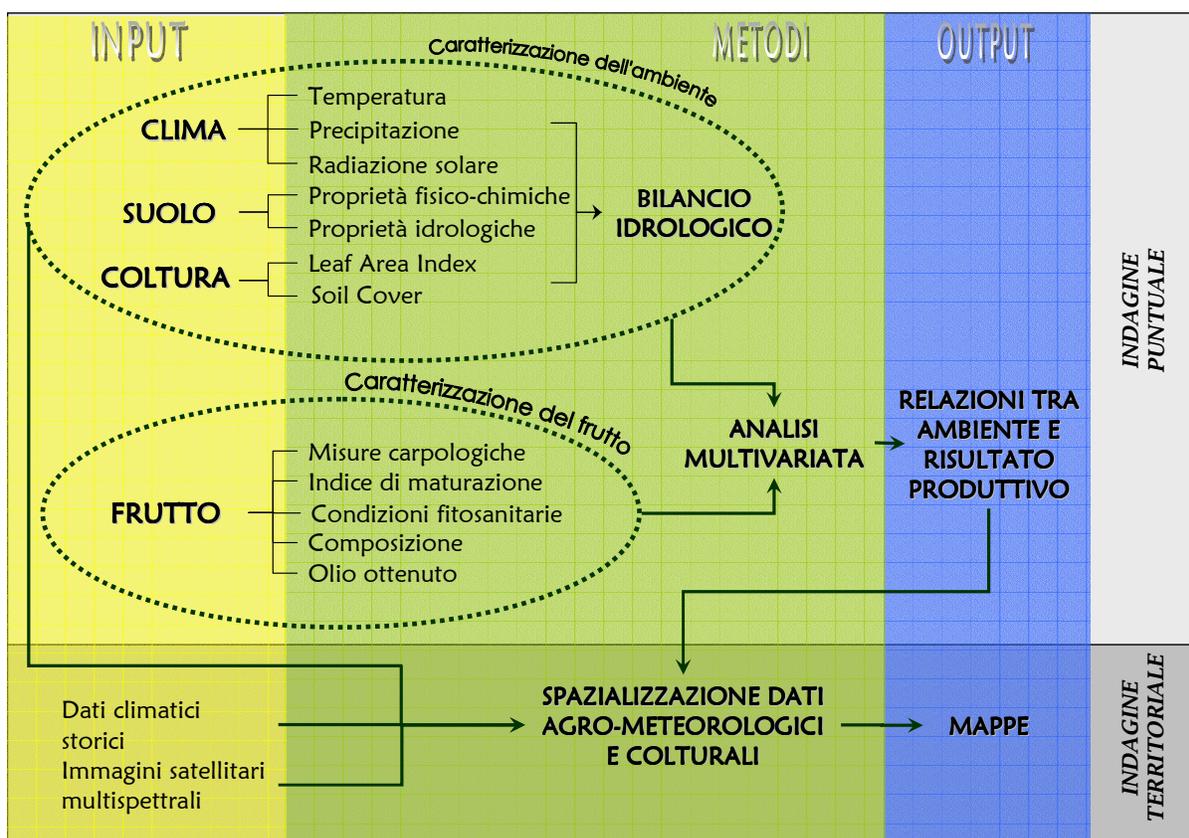


Figura 1. Rappresentazione schematica della metodologia proposta per un lavoro di zonazione olivicola.

Il presente studio si compone di una indagine multidisciplinare effettuata a scala puntuale in 14 siti sperimentali distribuiti nel territorio cilentano e di una indagine a scala territoriale che ha interessato l'intero areale in cui i siti sperimentali sono ubicati.

L'indagine a scala puntuale è consistita in una caratterizzazione ad ampio raggio del sito di coltivazione di cui si intendeva valutare l'attitudine alla coltura dell'olivo. Tale caratterizzazione ha riguardato il clima, mediante stima del regime termico, pluviometrico e radiativo; il suolo, mediante indagine pedologica e determinazione delle proprietà chimico-fisiche; il bilancio idrologico, simulato mediante modelli dinamici dopo stima delle proprietà idrauliche del suolo; la coltura, mediante misura dell'Indice di Area Fogliare e raccolta di informazioni sulla gestione agronomica; il frutto, di cui, oltre a sviluppo, maturazione e condizioni fitosanitarie, è stata determinata la composizione delle frazioni più importanti dal punto di vista qualitativo; il prodotto finale olio, caratterizzato mediante tecniche analitiche sensoriali e strumentali.

Il risultato dell'indagine puntuale è consistito in considerazioni relative alle influenze esercitate dalle variabili ambientali sulla composizione dei frutti e, conseguentemente, sulle potenziali caratteristiche qualitative dell'olio da essi ottenuto. Un ulteriore risultato è rappresentato da una caratterizzazione dell'olio ottenuto da olive cv. Pisciotana dal punto di vista analitico e sensoriale, mirante a formulare un giudizio sulle potenzialità qualitative del genotipo oggetto di studio e, di conseguenza, sulla opportunità di lavorare ad una sua valorizzazione anche attraverso l'individuazione delle condizioni che possano consentirgli di esprimere al meglio le sue potenzialità produttive.

L'indagine territoriale è consistita in una spazializzazione di dati agro-meteorologici e culturali. In particolare, sono state realizzate mappe di:

- temperatura;
- precipitazione;
- radiazione solare;
- evapotraspirazione di riferimento;
- Indice di Area Fogliare;
- deficit pluviometrico (differenza tra evapotraspirazione potenziale e precipitazione).

1.5 ORGANIZZAZIONE DELLA TESI

Lo schema secondo il quale risulta organizzata la presente tesi è riportato di seguito, assieme alla corrispondenza tra argomenti trattati e numerazione dei capitoli:

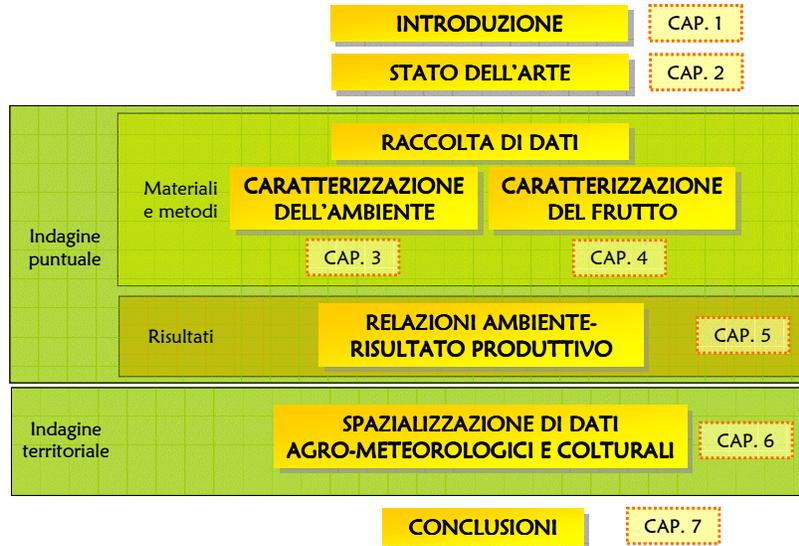


Figura 2. Schema rappresentante l'organizzazione della presente tesi.

CAPITOLO 2

STATO DELL'ARTE

2.1 PREMESSA

Presupposto per lo svolgimento del presente lavoro è stata una attenta analisi della letteratura scientifica inerente le tematiche affrontate e le metodologie utilizzate.

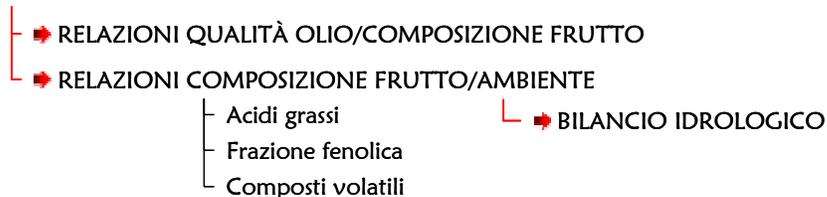
Tale lavoro di ricerca bibliografica ha avuto come oggetto in primo luogo gli approcci fino ad oggi utilizzati in studi di zonazione agronomica, che hanno interessato colture differenti da quella oggetto del presente studio.

Il passo successivo è stato quello di passare in rassegna le attuali conoscenze sulle relazioni tra ambiente e risultato produttivo per la coltura dell'olivo. Dopo aver analizzato il legame tra qualità dell'olio e composizione del frutto, sono state raccolte le informazioni ad oggi disponibili sulle influenze esercitate sulla composizione della drupa (in acidi grassi, biofenoli e composti volatili) dai fattori ambientali.

Tra questi ultimi un ruolo fondamentale per il risultato produttivo è svolto dalla disponibilità di acqua per la coltura. Per questo motivo il bilancio idrologico della coltura dell'olivo, la cui simulazione è stata inclusa tra le metodologie di studio adottate, è stato oggetto di una revisione bibliografica, riportata nella parte conclusiva del presente capitolo.

➤ APPROCCI DI ZONAZIONE AGRONOMICA (per lo più per la coltura della vite)

OLIVO: RELAZIONI AMBIENTE/RISULTATO PRODUTTIVO



2.2 ZONAZIONE: UNA BREVE REVIEW

Il complesso legame esistente tra fattori pedo-climatici e risultato produttivo, inteso essenzialmente dal punto di vista qualitativo, è stato oggetto di studio soprattutto per la coltura della vite, per la quale la qualità del prodotto costituisce sicuramente un risultato più ambito rispetto alla quantità e ad essa viene attribuita un'importanza decisamente superiore a quella assunta per altre colture.

L'interesse per la qualità del prodotto e la consapevolezza che il risultato enologico desiderato potesse essere raggiunto esclusivamente nell'ambiente caratterizzato dalle opportune potenzialità e che, di conseguenza, fosse necessario selezionare accuratamente i territori da destinare alla

viticoltura di qualità, ha portato alla definizione del concetto di *terroir*, comparso per la prima volta nella letteratura scientifica in Francia all'inizio degli anni '80 (Seguin, 1983). Il potenziale viticolo di un *terroir* è determinato da un complesso di influenze ambientali, tra le quali il suolo, la roccia madre, la profondità e le fluttuazioni stagionali della falda acquifera, il mesoclima, l'altitudine, la pendenza, la morfologia, la vicinanza ad entità in grado di operare modificazioni del clima (Morlat, 1996).

Numerosi studi sono stati condotti sull'effetto esercitato dal *terroir* sulle caratteristiche dell'uva e del vino, soprattutto in Francia e in altri paesi europei (Morlat, 1992, 1997, 1998; Barbeau *et al.*, 1998a, 1998b; Vaudour *et al.*, 1998; Costantini *et al.*, 1996; Falcetti e Iacono, 1996; Hronsky, 1999), ma le conoscenze al riguardo sono ancora piuttosto limitate e lo stesso concetto di *terroir* è piuttosto vago e oggetto di non univoche interpretazioni. A volte, infatti, quando si parla di *terroir* ci si riferisce al suolo, altre volte ad una vigna nel suo complesso, o ancora ad un intreccio di fattori ambientali (e occasionalmente viticoli ed enologici) esercitanti un'influenza sulle caratteristiche del frutto e del vino. La conoscenza dell'influenza esercitata dai fattori ambientali sul risultato viticolo ed enologico risulta di considerevole importanza per il settore produttivo: la scelta di un sito opportuno all'atto dell'impianto di una vigna è condizione necessaria per il raggiungimento del massimo valore del prodotto finito. Come è stato osservato da Costantini *et al.* (1996), la conoscenza approfondita dell'ambiente, oltre a dare indicazioni per un lavoro di zonazione, consente l'applicazione della più opportuna gestione agronomica e, conseguentemente, il raggiungimento della migliore qualità di prodotto ottenibile in ogni determinato areale.

Studi condotti sull'influenza esercitata dalle condizioni ambientali (al di sopra e al di sotto della superficie del suolo) sulla fenologia, lo sviluppo e le caratteristiche del frutto della vite hanno portato a risultati simili in ambienti anche molto differenti (Tesci *et al.*, 2001a; Barbeau *et al.*, 1998b). Ciò induce a ritenere possibile la determinazione non soltanto qualitativa, ma anche quantitativa delle influenze esercitate dall'ambiente sul vigore e sulla fenologia della coltura e, in ultima analisi, sulla composizione del frutto e sugli attributi del vino.

Queste considerazioni hanno condotto nel tempo alla messa a punto di diversi indici bioclimatici allo scopo di caratterizzare un territorio in termini di vocazione alla coltura della vite.

Uno tra gli indici più utilizzati finora è l'indice di Winkler (Amerine e Winkler, 1944), dato dalla somma termica a base 10°C calcolata per il periodo intercorrente tra il 1° aprile e il 31 ottobre.

L'indice di Huglin (Huglin, 1986), proposto come migliorativo del precedente e denominato dallo stesso autore "eliotermico", pur utilizzando la sommatoria termica, propone di ridurre il periodo utile da aprile a settembre per aree comprese tra 40° e 50° di latitudine Nord (considerando trascurabile l'apporto termico del mese di ottobre) e di tener conto anche delle temperature massime giornaliere, oltre che di quelle medie.

La formula dell'indice di Huglin (Heliothermal Index) è la seguente:

$$HI = \sum_{01/04}^{30/09} \frac{(T_{med} - 10^{\circ}C) - (T_{max} - 10^{\circ}C)}{2} \cdot k$$

dove T_{med} e T_{max} sono rispettivamente la temperatura media e la temperatura massima giornaliera espresse in °C e k è un coefficiente di correzione per la latitudine legato alla lunghezza del giorno.

Entrambi gli indici sopracitati sono monofattoriali, prendendo in considerazione un'unica variabile meteorologica, ovvero la temperatura. Pur esercitando la temperatura dell'aria un ruolo determinante per la maturazione dell'uva e per lo sviluppo di aroma e colore (Jackson e Lombard, 1993), non è l'unico fattore da dover prendere in considerazione: la disponibilità di acqua, ad esempio, esercita una considerevole influenza sulla qualità dell'uva e, di conseguenza, del vino (Conradie *et al.*, 2002). Jackson e Cherry (1988) hanno mostrato come in regioni caratterizzate da elevata piovosità la maturazione raggiunta dall'uva è inferiore a quella prevista mediante gli indici termici. È stato osservato che, nelle regioni temperate che generalmente non sono caratterizzate da condizioni di siccità, una certa carenza d'acqua durante la maturazione è favorevole alla qualità organolettica del vino (Riou *et al.*, 1994). La regolazione delle restituzioni idriche appare, dunque, determinante ai fini dell'ottenimento di una produzione di qualità (Mérouge *et al.*, 1998): Bravdo e Hepner (1987) hanno mostrato come un moderato deficit idrico può migliorare la qualità dell'uva. Partendo dalla considerazione della grande importanza esercitata dall'alimentazione idrica sul risultato produttivo, Riou *et al.* (1994) hanno formulato, per la coltura della vite, un indice di bilancio idrico, rappresentante la potenziale disponibilità di acqua nel suolo. Nell'adattamento proposto da Tonietto e Carbonneau (2004), tale indice, denominato Dryness Index (DI), è calcolato nel modo seguente:

$$W = W_0 + P - T_v - E_s$$

dove W rappresenta la stima della riserva d'acqua nel suolo al termine di un dato periodo, W_0 è la riserva idrica iniziale disponibile per l'attingimento radicale, P è la precipitazione, T_v la traspirazione potenziale della vigna, E_s l'evaporazione da suolo nudo. W è calcolato mese per mese, per un periodo di 6 mesi (lo stesso utilizzato per il calcolo dell'indice di Huglin), utilizzando i valori mensili di P , T_v ed E_s ; il Dryness Index è dato dal valore assunto da W al termine del semestre di interesse, assumendo $W_0=200$ mm.

Tesic *et al.* (2001b) hanno proposto un indice multifattoriale (denominato Site Index) che si propone, mediante l'integrazione di diverse variabili bioclimatiche, di caratterizzare un determinato sito dal punto di vista dell'attitudine alla viticoltura. Il Site Index, messo a punto nell'areale viticolo di Hawke's Bay (Nuova Zelanda), può essere calcolato mediante la seguente formula:

$$SI = \frac{(t_0 - t_j)^2 \cdot \left(1 - \frac{G_p}{100}\right)}{R_s \cdot \sqrt{CS \cdot RD}}$$

dove t_0 è la temperatura media dell'aria nel mese di ottobre (°C); t_j è la temperatura media dell'aria nel mese di gennaio (°C); G_p è la percentuale di scheletro nell'orizzonte superficiale; R_s è la precipitazione stagionale (da ottobre ad aprile, mm); CS è il rapporto tra la percentuale di argilla e la percentuale di limo nello strato di suolo compreso tra 35 e 70 cm di profondità; RD è la profondità massima dell'apparato radicale (m).

Ciascuna delle variabili introdotte nel calcolo del Site Index assume una sua rilevanza ai fini del risultato produttivo:

- la temperatura dell'aria nel mese di ottobre riveste un ruolo importante nel determinismo della fioritura, la cui data è strettamente correlata con la data di raccolta; la temperatura dell'aria nel mese di gennaio è un indice climatico frequentemente utilizzato in viticoltura (Coombe, 1987), dal momento che risulta strettamente correlato con la somma termica stagionale ed integra altre condizioni ambientali del sito;
- la percentuale di scheletro nell'orizzonte superficiale influenza chiaramente diversi importanti attributi del suolo, principalmente le sue proprietà termiche e di ritenzione idrica;
- la precipitazione stagionale assume una particolare rilevanza nella caratterizzazione di un sito soprattutto in condizioni di agricoltura non irrigua: in stagioni di siccità estrema e in siti caratterizzati da un suolo particolarmente permeabile, lo stress idrico potrebbe risultare eccessivo e compromettere il risultato produttivo; al contrario, precipitazioni eccessive esercitano, in generale, un'influenza negativa sulla qualità dei frutti inducendo un eccessivo sviluppo vegetativo, ritardando la fenologia della pianta ed aumentando la pressione dei parassiti (Jackson e Lombard, 1993);
- la tessitura del suolo esercita una grande influenza sul suo regime idrico, il quale a sua volta è strettamente collegato con la fisiologia della pianta;
- la profondità radicale è una variabile importante, dal momento che determina la "capacità di immagazzinamento" di acqua e nutrienti a disposizione delle radici.

Il Site Index, così calcolato, risulta ben correlato con la temperatura del suolo a 30 cm di profondità e con il contenuto idrico volumetrico del suolo tra 0 e 30 cm di profondità.

Tale indice presenta il vantaggio di essere calcolato a partire da variabili facilmente disponibili o rapidamente misurabili; un indice simile potrebbe essere formulato anche sulla base della temperatura del suolo o del suo contenuto d'acqua, ma tali variabili risulterebbero di più difficile ottenimento.

Il Site Index ha mostrato una forte correlazione con numerosi parametri vegetativi e qualitativi della coltura: valori più alti del SI sono coincisi con una più rapida maturazione ed un minore sviluppo vegetativo, un maggiore grado zuccherino ed un minore livello di acido malico nelle bacche, punteggi più alti assegnati agli attributi sensoriali del vino. Il Site Index, infine, è risultato fortemente e positivamente correlato con il contenuto, nelle bacche, di antocianine e di composti fenolici; ciò conferma quanto riportato da altri autori sull'influenza esercitata, su diverse cultivar di vite, dalla disponibilità di acqua sul contenuto di antociani e fenoli: lo stress idrico sembra determinare un aumento nella biosintesi di tali composti (Freeman, 1983; Scienza *et al.*, 1996).

In Italia, l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze si occupa da più di venti anni di indagare i legami tra il suolo e la qualità dei prodotti (Lulli *et al.*, 1980; Costantini *et al.*, 1985), con riferimento essenzialmente al comparto produttivo vitivinicolo. Il gruppo di ricerca è partito dallo studiare le relazioni tra suolo e livello produttivo (suoli differenti = livelli produttivi differenti; Costantini, 1987) per arrivare ad indagare la correlazione tra suolo e qualità del vino (suoli differenti = qualità del vino differente; Lulli *et al.*, 1989; Costantini *et al.*, 1991) e poi a comparare le caratteristiche del suolo e del vino, allo scopo di fornire informazioni sulla migliore gestione colturale (differenti caratteri funzionali del suolo = differenti profili sensoriali del vino; Costantini *et al.*, 1996).

Costantini *et al.* (1996) hanno valutato la vocazionalità alla viticoltura ed effettuato una zonazione dell'areale di produzione del "Vino Nobile di Montepulciano". Lo studio ha dimostrato come le proprietà fisico-idrologiche del suolo possano essere importanti nel determinare la risposta

fenologica delle colture e il loro risultato produttivo, quantitativo e qualitativo, e conseguentemente rappresentare dei potenti strumenti di indagine ambientale per la definizione dell'attitudine dei suoli e la valutazione del territorio (Costantini, 1998). I suoli dotati di maggiore fertilità fisico-chimica e di ottime caratteristiche fisico-idrologiche (disponibilità di acqua e di ossigeno per le radici in ogni momento dell'anno) non si sono dimostrati particolarmente adatti alla realizzazione di un prodotto di qualità, determinando una elevata produzione a ceppo, elevato peso del grappolo e degli acini (Campostrini *et al.*, 1997) e conseguentemente un insoddisfacente risultato enologico, oltre che un ritardo nella maturazione. Neanche i suoli caratterizzati da rilevanti e permanenti limitazioni di crescita per le colture (riserva d'acqua utilizzabile fortemente ridotta, bassa capacità per l'aria, bassa fertilità chimica, elevata salinità) sono risultati vocati alla coltura della vite: la loro scarsa fertilità complessiva, in particolare la loro incapacità di ridurre gli effetti sulle viti della variabilità climatica, fa sì che i risultati enologici siano molto variabili a seconda dell'annata. I suoli che hanno fornito risultati enologici buoni e stabili nel tempo sono risultati quelli caratterizzati da un ambiente di buona fertilità per la crescita delle piante in genere, ma con qualche limitazione, di moderata entità, che fa sì che si realizzino quelle condizioni di contenuto stress idrico estivo, indispensabili per ottenere un vino di buona qualità.

L'importanza della capacità d'aria e dell'acqua disponibile nel determinare il risultato produttivo è stata verificata anche in un altro sistema colturale, quello tabacchicolo, molto diverso da quello vitivinicolo per ambiente fisico ed agrotecnica, ma simile ad esso perché entrambi puntano a prodotti di qualità. Come per il sistema produttivo vitivinicolo, la sperimentazione è stata realizzata in un comprensorio tipico, cioè di larga e consolidata tradizione agronomica: la zona di pianura attorno a Bovolone, nel veronese. La capacità d'aria è risultata essere il fattore che ha influenzato più sensibilmente le rese in senso positivo, essendo in grado di soddisfare i due principali requisiti per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright: l'elevata e costante disponibilità di ossigeno (requisito colturale) e la tempestiva trafficabilità (requisito gestionale); i suoli invece con maggiore acqua disponibile si collocano tra quelli a minore attitudine produttiva.

Con il caso studio della Provincia di Siena (Costantini e Sulli, 2000), poi, l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze si è proposto di mettere a punto una metodologia per la valutazione del territorio che consenta di migliorare le politiche di pianificazione del territorio stesso. Una zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena è stata commissionata all'Istituto Sperimentale dall'amministrazione provinciale, interessata a conoscere la possibilità di estendere la coltivazione di queste due specie sul proprio territorio in maniera ecocompatibile ma allo stesso tempo preservando il livello qualitativo del prodotto. Per valutare la vocazionalità si è fatto ricorso a modelli colturali di riferimento, che ad oggi sono stati messi a punto più per il settore viticolo che per quello olivicolo. In particolare, è stato osservato che il risultato enologico corrisponde ad uno specifico modello di sviluppo della pianta e di maturazione dei frutti, che a sua volta è determinato da pratiche agricole, clima e caratteristiche del suolo. Così ogni sito può essere valutato in base al divario tra le caratteristiche del suolo reali e quelle del modello agronomico che corrisponde al risultato enologico desiderato. Alla base di questo procedimento c'è l'osservazione che i fattori ambientali influenzano l'equilibrio ormonale di ciascuna varietà e questo a sua volta regola l'espressione del genotipo (Van Leeuwen e Seguin, 1997). Il lavoro, che ha portato alla realizzazione delle due mappe di vocazionalità in scala 1:100.000, ha previsto anche una prova sperimentale allo scopo di calibrare la caratterizzazione effettuata in campo delle qualità idrologiche del suolo. Le proprietà idrologiche del suolo ed il suo regime idrico, regolando

la disponibilità di acqua e di ossigeno per le piante di vite e di olivo, sono tra i principali fattori che determinano le condizioni di stress in grado di influenzare la secrezione ormonale; per questo motivo vanno presi in considerazione in un rilevamento del suolo effettuato nell'ambito di una zonazione viticola od olivicola. Allo scopo di mettere a punto una metodologia che potesse essere usata per validare la caratterizzazione in campo delle proprietà idrologiche, la stima delle classi di drenaggio interno del suolo e della presenza di condizioni riducenti è stata messa a confronto con: 1) il monitoraggio del contenuto d'acqua di suoli campione; 2) l'analisi statistica dei dati ottenuti da un'analisi extra-routinaria delle proprietà fisiche, chimiche e idrologiche del suolo; 3) l'analisi d'immagine micromorfologica della porosità; 4) la simulazione del contenuto d'acqua giornaliero ottenuta con il modello EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator). I quattro metodi proposti per validare la stima del drenaggio interno e della presenza di condizioni riducenti hanno tutti mostrato punti di forza e di debolezza; nel complesso, i risultati ottenuti hanno mostrato che si potrebbe ricorrere alla combinazione di più metodologie per ottenere una più accurata caratterizzazione delle qualità idrologiche del suolo, migliorando così la valutazione del territorio ai fini di una zonazione viticola od olivicola.

Nell'ambito del concetto di "terroir", di cui i viticoltori del "Vecchio Mondo", in particolare quelli francesi, sono strenui sostenitori, il suolo riveste un ruolo di primaria importanza (Wilson, 1998). Il concetto di terroir, dal momento della sua comparsa (Seguin, 1983), ha subito nel tempo degli aggiustamenti (Yravedra Llopis, 1983; Vedel, 1984) in maniera da includere, in ordine di importanza decrescente, aspetti fisici e chimici del suolo, configurazione della stazione, clima, roccia madre, cultivar, età del vigneto, pratiche colturali, microflora dell'acino, tecniche di vinificazione.

Il concetto di terroir è stato riformulato nei primi anni 90 in maniera da includere la disponibilità di acqua per le piante durante le diverse fasi del ciclo colturale. I suoli della Valle della Loira che precedentemente erano stati associati ad un intenso carattere varietale del vino sono risultati essere sabbiosi e ben drenati e quindi causa di un moderato stress idrico per le viti durante la maturazione (Penavayre, 1991). Al contrario, i suoli con un orizzonte argilloso posto al di sotto di quello sabbioso comportavano assenza di limitazioni nella disponibilità di acqua e quindi una maggiore vigoria delle viti e una minore intensità del carattere varietale.

Jourjon *et al.* (1991, 1992) hanno ulteriormente modificato il concetto di terroir integrando i parametri climatici (irradiazione e precipitazione) con la classificazione del suolo.

Il concetto più recente di terroir (Riou *et al.*, 1995) è vicino alla concezione di qualità del vino diffusa nel "Nuovo Mondo", in cui il suolo è riconosciuto come un fattore che influenza lo sviluppo radicale, la fotosintesi, la crescita. Sul ruolo svolto dal suolo c'è una sorta di controversia accademica tra i viticoltori europei, i quali sostengono che il suolo è uno dei fattori che ha una maggiore influenza sulla qualità del vino, e quelli americani, che considerano il suolo un fattore che influenza lo sviluppo delle viti ed il loro vigore, ed è l'abilità con cui questo vigore viene gestito che determina la qualità del vino. Per dirimere questa controversia i ricercatori del Cool Climate Oenology and Viticulture Institute della Brock University (Ontario - Canada) hanno realizzato nel 1998 una campagna sperimentale nei vigneti della penisola del Niagara (Reynolds *et al.*, 2005). Gli obiettivi erano essenzialmente due: valutare l'impatto esercitato sui composti aromatici e sugli attributi sensoriali del vino dal tipo di suolo, a parità di clima; stimare l'entità relativa degli effetti esercitati da suolo, vigore delle piante e dimensione delle piante sulla tipicità varietale del vino.

La tessitura e la composizione del suolo hanno mostrato una scarsa correlazione con la composizione degli acini e con il livello produttivo, tranne che in alcuni casi. L'analisi sensoriale dei vini del 1999, nelle varie combinazioni suolo x dimensioni delle piante o suolo x categorie produttive, ha evidenziato solo piccole differenze tra siti, tipi di suolo o dimensioni delle piante. Questi risultati hanno indotto gli autori a domandarsi se il concetto di terroir fosse sovrastimato e se la qualità del prodotto finale dipendesse molto più dalle tecniche viticole ed enologiche che non dalle caratteristiche del sito.

2.3 RISPOSTA PRODUTTIVA DELL'OLIVO ALLE CARATTERISTICHE PEDOCLIMATICHE

2.3.1 Composizione e qualità dell'olio di oliva

Le caratteristiche qualitative dell'olio di oliva intese in senso ampio, cioè merceologico, salutistico-nutrizionale ed organolettico, sono il risultato della complessa matrice di sostanze chimiche che costituiscono il prodotto.

La considerazione che tutte le sostanze presenti nell'olio sono sintetizzate nel frutto di olivo durante il suo ciclo di maturazione da sistemi enzimatici spiega la grande variabilità che è possibile osservare nella composizione e, di conseguenza, nelle caratteristiche qualitative delle produzioni. Infatti l'azione dei sistemi enzimatici è principalmente modulata dal patrimonio genetico di ogni cultivar, ma risente anche delle condizioni di umidità e temperatura a cui si trova il frutto oltre che dal periodo di raccolta dello stesso. Queste considerazioni di tipo generale valgono per tutte le classi di composti presenti nell'olio, tra le quali la frazione preponderante è rappresentata dai trigliceridi, che costituiscono più del 98% del prodotto olio.



La composizione acidica ha una influenza rilevante sulla qualità del prodotto: un buon livello dell'acido monoinsaturo oleico è un parametro importante di qualità perché indice di un materiale lipidico con minori rischi di perossidazione (Lercker *et al.*, 1997); all'aumentare, al contrario, del contenuto di acidi grassi polinsaturi, aumenta la tendenza all'ossidazione e si riduce la conservabilità del prodotto. Effetti benefici dell'assunzione con la dieta di grassi monoinsaturi nella prevenzione di glicemia, obesità, cancro del colon-retto, del polmone, dell'ovario e della prostata sono da tempo riportati (Granados *et al.*, 2006). Tali considerazioni inducono a ritenere assicurato un buon indice di qualità in corrispondenza di un contenuto di acido oleico superiore al 70%, un contenuto di acido linoleico inferiore al 10%, un rapporto oleico/linoleico pari, dunque, almeno a 7 (Viola, 1996).

L'importanza attribuita all'elevato contenuto di acido oleico nel determinare la qualità nutrizionale dell'olio di oliva è andata, però, nel tempo ridimensionandosi. L'alta concentrazione di acido

oleico, infatti, non è più una caratteristica esclusiva dell'olio di oliva: diverse nuove varietà di girasole e colza hanno una composizione in acidi grassi simile. Ciononostante, l'olio vergine di oliva è da considerarsi tuttora esclusivo per la sua composizione in componenti minori. Queste sostanze, che in peso rappresentano soltanto il 2 % circa dell'olio, sono oltre 230 e comprendono alcoli alifatici e triterpenici, steroli, idrocarburi, composti volatili e antiossidanti, questi ultimi rappresentati da caroteni, tocoferoli, e composti fenolici.

Importanti proprietà sensoriali e nutrizionali sono conferite all'olio extravergine di oliva dai numerosi componenti minori presenti, accanto alla frazione lipidica, nella polpa dell'oliva.

Nell'ambito di tali componenti minori, i composti fenolici rivestono un ruolo fondamentale, contribuendo in maniera essenziale alla stabilità ossidativa e alle proprietà nutrizionali e sensoriali del prodotto.

L'attività antiossidante dei fenoli dell'olio vergine di oliva è stata ampiamente studiata. Come riportato da differenti autori, la concentrazione di composti fenolici è altamente correlata alla shelf-life dell'olio e alla sua attività antiossidante (Servili *et al.*, 2004; Del Carlo *et al.*, 2004). Dallo studio dell'attività antiossidante di specifici composti fenolici è emerso come gli *o*-difenoli, quali l'idrossitirosole e i suoi derivati, siano dotati di una attività antiossidante significativamente maggiore rispetto a composti monoidrossilati, come il tirosole, e all' α -tocoferolo (Servili *et al.*, 2004).

L'attività antiossidante dei composti fenolici li rende importantissimi, oltre che dal punto di vista tecnologico (contributo alla stabilità ossidativa), anche dal punto di vista nutrizionale: sembra ormai chiaro che l'azione difensiva esercitata dall'olio vergine di oliva nei confronti di malattie croniche degenerative sia da mettere in relazione più alla componente fenolica (in particolare all'idrossitirosole) che alla composizione acidica (Servili *et al.*, 2004). Numerose sono le azioni protettive messe in evidenza, tra le quali: riduzione dell'ossidazione dei fosfolipidi, protezione delle lipoproteine a basso peso molecolare (LDL) dall'ossidazione, riduzione dei danni da ossidazione agli eritrociti, inibizione della formazione della placca aterosclerotica, attività anti-infiammatoria (Obied *et al.*, 2005); per l'idrossitirosole è stata, inoltre, dimostrata l'abilità di inibire la proliferazione e di indurre l'apoptosi in linee cellulari tumorali (Fabiani *et al.*, 2002).

Un secondo importante gruppo di composti dotati di attività antiossidante, oltre che vitaminica, è costituito dai tocoferoli, il cui contenuto nell'olio vergine di oliva è influenzato dalla cultivar, dal grado di maturazione delle drupe e dal sistema di estrazione dell'olio. L'attività vitaminica si manifesta con un'azione protettiva a carico dell'apparato genitale e muscolare; l'attività antiossidante, invece, si traduce in un aumento delle capacità immunitarie e in una riduzione del rischio di malattie coronariche, di alcune forme tumorali e della cataratta (Cooper, 1997). Nell'olio vergine di oliva la struttura chimica predominante è la forma α , cioè quella dotata di maggiore attività vitaminica e di minor potere antiossidante, mentre il β e il γ -tocoferolo sono presenti in piccole quantità o in tracce.

La frazione antiossidante dell'olio vergine di oliva esercita una grande influenza anche sul profilo sensoriale: in particolare, i composti fenolici sono associati alle note sensoriali amare e piccanti. Numerosi sono gli studi effettuati allo scopo di mostrare la relazione tra la sensazione, giudicata positiva, di "amaro" e di "piccante" e il contenuto totale di fenoli (Gutiérrez Rosales *et al.*, 1992; Tsimidou, 1998); tuttavia, l'effetto esercitato dai singoli composti sul profilo sensoriale non è ancora completamente chiarito. Numerosi autori hanno individuato nei derivati dell'oleuropeina i

principali responsabili della percezione amara dell'olio (García *et al.*, 2001; Kiritsakis, 1998); questi risultati sono stati confermati da Gutiérrez Rosales *et al.* (2003), i quali hanno trovato una buona correlazione lineare tra le note sensoriali amare e i derivati dell'oleuropeina e del ligstroside. Anche altri autori hanno evidenziato una relazione tra i derivati agliconici del ligstroside e la nota di piccante (Andrewes *et al.*, 2003), mentre i derivati dell'oleuropeina quali l'oleuropeina aglicone (OHTy-EA) e la decarbossimetil oleuropeina aglicone (OHTy-DEDA) sono stati messi più strettamente in relazione alle note di amaro (Angerosa *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 2004).

Oltre che dai composti fenolici, la qualità sensoriale di un olio vergine di oliva è fortemente influenzata dai composti volatili responsabili dell'aroma. La correlazione tra i più di 180 composti volatili identificati nello spazio di testa di un olio e il flavour del prodotto non è ancora completamente conosciuta (Angerosa *et al.*, 2004). Allo stato attuale delle conoscenze 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 durante l'estrazione meccanica dell'olio. Sono ancora oggetto di studio le relazioni tra le sostanze volatili (esteri, alcoli, aldeidi) e gli attributi positivi ("fruttato") e negativi ("rancido", "muffa", "avvinato", ...) dell'olio vergine di oliva, e le particolari note sensoriali (pomodoro, carciofo, mela, ...) che possono contribuire a rendere più complesso e gradevole il profilo sensoriale del prodotto.

2.3.2 Influenza dello stadio di maturazione e dei fattori ambientali sulla composizione acidica

Per la coltura dell'olivo, i pochi studi condotti sulle influenze esercitate dai fattori ambientali sul risultato produttivo ed, in particolare, sulla composizione e sulla qualità del frutto riguardano, soprattutto, la composizione in acidi grassi, che costituiscono la frazione di gran lunga più abbondante del frutto dell'olivo, e il contenuto e la composizione della frazione fenolica, oggetto di grande interesse per l'importanza che riveste nella determinazione della qualità nutrizionale ed organolettica dell'olio.

La composizione acidica nel corso della maturazione subisce importanti modificazioni, con una diminuzione dell'acido palmitico ed un aumento dell'oleico, che nelle prime fasi di maturazione producono un aumento del rapporto insaturi/saturi. Servili *et al.* (1990) nel biennio 1986-87 in due cultivar di olivo hanno riscontrato nel corso della maturazione una significativa variazione del contenuto percentuale di acido palmitico (in negativo) e di acido oleico (in positivo) ed una leggera diminuzione del contenuto percentuale di acido linoleico e acido linolenico.

Nel corso della maturazione si verificano, dunque, nel frutto aggiustamenti negli equilibri enzimatici controllati probabilmente da fattori diversi, non solo genetici, con una rilevante formazione ex novo di acidi grassi diversi. Il processo che appare esaltato dal tempo è quello di elongazione, che porta alla costituzione preferenziale della catena a 18 atomi di carbonio (C₁₈); dopo il processo di elongazione (C₁₆ – C₁₈) è richiesta una successiva azione di desaturazione per arrivare alla sintesi dell'acido oleico (Δ^9 -desaturasi).

Anche Beltrán *et al.* (2004) hanno riscontrato, nel corso della maturazione (incremento dell'indice di maturazione da 0,18 a 3,38) di olive della cv. Picual, un decremento nel contenuto percentuale di acido palmitico e di acido linolenico ed un incremento degli acidi grassi stearico, oleico e linoleico, con una conseguente diminuzione del rapporto oleico/linoleico e, più in generale, del rapporto acidi grassi monoinsaturi/polinsaturi, ed un aumento del rapporto oleico/palmitico e, più in generale, del rapporto acidi grassi insaturi/saturi. Nello stesso studio è stato verificato come la

variabilità nella composizione acidica sia spiegata solo in parte dal grado di maturazione, mentre una considerevole quota di tale variabilità sia da attribuire all'annata, ovvero all'andamento climatico nel periodo di sviluppo del frutto e di inolizione. In particolare, è possibile evidenziare un effetto della temperatura sul metabolismo lipidico: basse temperature durante lo sviluppo del frutto determinano un aumento nel grado di insaturazione dei lipidi di membrana, in modo tale che la fluidità delle membrane venga garantita anche a basse temperature (Harwood *et al.*, 1994); sembra, dunque, che anche nel frutto dell'olivo, così come è stato osservato nei semi di girasole (García-Díaz *et al.*, 2002), l'attività della desaturasi responsabile della conversione dell'acido oleico a linoleico sia regolata dalla temperatura.

Da uno studio effettuato nel periodo 1995-2000 volto a valutare l'evoluzione della composizione trigliceridica nel corso della maturazione (periodo settembre-dicembre), è emerso come questo doppio passaggio rappresenti la sequenza principale per le due cultivar Frantoio e Coratina nelle condizioni sperimentali di Montepaldi (FI) (Fiorino e Ottanelli, 2003). Infatti, il tenore in acido palmitico, elevato nel frutto "giovane", cala regolarmente per tutto il periodo osservato, sostituito, nell'invecchiamento del frutto, dalla prevalente produzione di acido oleico. L'esame delle variazioni dei rapporti tra i diversi acidi grassi insaturi ($C_{18:1}$ e $C_{18:2}$) in annate successive segue, invece, andamenti irregolari: nelle condizioni delle prove, una successiva più spinta desaturazione della catena dell'acido grasso sembra avvenire in modo diverso ed indipendente dalla sequenza principale e non risulta legata solo all'età del frutto. In accordo con altri dati, fattori ambientali sarebbero influenti sulla velocità di sviluppo della sequenza principale, nonché sulla quantità di acido linoleico (Fiorino e Ottanelli, 2003).

Differenze nella composizione acidica per una stessa cultivar in ambienti diversi è da tempo indicata (Modi *et al.*, 1990): tra i fattori che possono influenzare il contenuto in acido oleico sono riportati la latitudine ed il clima (Montedoro *et al.*, 2003).

Da uno studio effettuato su due cultivar allevate nel loro sito di origine (Arbequina, Spagna; Frantoio, Italia) ed in un areale di coltivazione (Argentina) caratterizzato da condizioni pedoclimatiche marcatamente differenti, è emersa l'importanza di queste ultime ma anche l'influenza del fattore varietale nel determinare la composizione acidica (Patumi, 2002). Per quanto riguarda la cv Frantoio, infatti, si evidenzia come nella zona di coltivazione argentina, caratterizzata da elevate temperature durante la fase di maturazione del frutto (35-40 °C), vi è una leggera diminuzione dell'acido oleico con una leggera crescita dell'acido polinsaturo linoleico. A parità di condizioni, il comportamento dell'Arbequina è del tutto diverso e mostra una drammatica diminuzione dell'acido oleico a vantaggio della elevata formazione dell'acido linoleico, con la conseguenza di avere un olio scarsamente conservabile. Vi è, quindi, una relazione variabile tra condizioni pedoclimatiche e fattori genetici, per cui le risposte di adattabilità delle cultivar a differenti ambienti sono difficilmente generalizzabili e da studiare caso per caso. Le differenze riscontrate sono imputabili alle diverse modulazioni genetiche degli enzimi: da studi ancora in fase preliminare sembra emergere come sia le desaturasi che le aciltransferasi delle varie cultivar rispondono in maniera differenziata agli effetti della temperatura.

In uno studio volto a valutare l'effetto dell'altitudine sulle caratteristiche compositive dei frutti dell'olivo, Mousa e Gerasopoulos (1996) hanno verificato non solo come la diminuzione di acido palmitico e l'aumento di linoleico si traducano in un aumento del rapporto insaturi/saturi nel corso della maturazione, ma anche come l'altitudine eserciti un'influenza sulla composizione acidica: le olive ottenute ad altitudine maggiore presentano un minore contenuto di acido palmitico e un

maggior contenuto di acido oleico e acido linoleico, quindi un più alto rapporto insaturi/saturi. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che le basse temperature favoriscono l'insaturazione dell'olio. L'altitudine alla quale le piante di olivo si sviluppano sembra, dunque, in grado di influenzare significativamente la composizione chimica e le caratteristiche qualitative dell'olio: ad altitudini maggiori si ottiene un olio con una più alta percentuale di acidi grassi insaturi (Kiritsakis e Markakis, 1987), un più basso contenuto di composti fenolici e tocoferoli, un maggior valore degli indici di ossidazione (Mousa e Gerasopoulos, 1996). L'olio ottenuto ad una altitudine maggiore ha mostrato anche un più alto contenuto di clorofilla, probabilmente a causa di una maturazione più lenta; questo potrebbe indicare che la clorofilla contribuisce al deterioramento foto-ossidativo dell'olio, portando ad un aumento degli indici di ossidazione. Il maggior grado di insaturazione dell'olio ottenuto ad altitudini maggiori potrebbe accelerare ulteriormente il processo di ossidazione (Kiritsakis, 1991).

Questo risultato non conferma quanto riportato da Osman *et al.* (1994), i quali, al contrario, hanno riscontrato un maggior contenuto di acido palmitico ed un minore contenuto di acido oleico a maggiori altitudini, quindi una diminuzione, piuttosto che un aumento, del rapporto insaturi/saturi all'aumentare della quota.

Il regime idrico, invece, non sembra avere influenza sulla composizione acidica (Patumi *et al.*, 2002); i risultati ottenuti da Tovar *et al.* (2002) nel corso di tre anni indicano che un deficit idrico controllato applicato all'inizio dell'indurimento del nocciolo, momento in cui inizia ad aumentare in maniera rilevante la biosintesi dell'olio, non influenza significativamente la composizione acidica, su cui invece ha un maggior effetto la stagione colturale. Ciò concorda con i risultati ottenuti da Inglese *et al.* (1996) e da Patumi *et al.* (1999), i quali hanno osservato come la composizione acidica di differenti cultivars italiane risulti influenzata da fattori varietali e non dal regime idrico.

2.3.3 Influenza dello stadio di maturazione e dei fattori ambientali su contenuto e composizione in composti fenolici

Nell'ambito dei componenti minori dell'olio vergine di oliva, i composti fenolici rivestono un ruolo fondamentale per il loro contributo sia alla stabilità ossidativa che alle proprietà nutrizionali e sensoriali del prodotto. La composizione qualitativa e quantitativa dei fenoli dell'olio vergine di oliva è fortemente influenzata da numerosi fattori agronomici e tecnologici.

La concentrazione dei composti fenolici nell'olio, essendo strettamente legata all'attività di diversi enzimi endogeni del frutto, è fortemente influenzata dalle condizioni di estrazione; la frangitura e la gramolatura sono i principali punti critici, ma anche la fase di estrazione svolge un ruolo importante nel determinare il profilo fenolico dell'olio (Servili *et al.*, 2004).

Tra i fattori agronomici, i più studiati includono la cultivar, lo stadio di maturazione, le condizioni pedo-climatiche e alcune tecniche agronomiche come l'irrigazione (Servili *et al.*, 2004; Tovar *et al.*, 2001).

Come riportato da differenti autori, la composizione fenolica del frutto è qualitativamente, oltre che quantitativamente, influenzata dalla cultivar (Ryan *et al.*, 1998; Brenes *et al.*, 2000); così, mentre l'oleuropeina è presente nelle drupe di quasi tutte le cultivars, la demetiloleuropeina e il verbascoside, al contrario, sono cultivar-dipendenti, tanto da essere stati proposti come markers dell'origine genetica (Amiot *et al.*, 1989).

Anche lo stadio di maturazione influenza la composizione fenolica della drupa: durante la maturazione si osserva una diminuzione dell'oleuropeina contemporaneamente ad un aumento della demetiloleuropeina; la concentrazione di entrambi i composti, comunque, diminuisce sensibilmente in olive sovra-mature (Amiot *et al.*, 1989). Particolarmente chiaro è l'effetto negativo della maturazione sul contenuto totale di fenoli: i valori più bassi si riscontrano in olive sovra-mature (Brenes *et al.*, 1999; Beltrán *et al.*, 2005).

Bouaziz *et al.* (2004) hanno riscontrato, tra frutti immaturi e frutti giunti a maturazione, notevoli differenze nella composizione fenolica, attribuibili a modificazioni chimiche ed enzimatiche a carico di alcuni composti fenolici, quali idrolisi dei glucosidi da parte di glucosidasi, ossidazione da parte di fenol ossidasi e polimerizzazione di fenoli semplici. In particolare, nel corso della maturazione è stato osservato un decremento di oleuropeina ed un contemporaneo aumento di idrossitirosolo, suo prodotto di degradazione; allo stesso modo, l'aumento di tirosolo osservato è probabilmente originato dall'idrolisi del ligstroside. L'acido ferulico ha mostrato nel corso della maturazione un leggero aumento, mentre il contenuto di composti fenolici minori, quali l'acido caffeico, l'acido *p*-cumarico, l'acido vanillico, è rimasto pressoché costante. Per quanto riguarda i composti flavonoidi e flavonoli, la luteolina-7-glucoside, dopo un rapido aumento in una prima fase, ha mostrato successivamente una costante diminuzione, con conseguente aumento del contenuto di luteolina, suo prodotto di degradazione ad opera di enzimi glucosidasici; anche il contenuto di rutina e di quercetina-3-arabino-glucoside è aumentato in una prima fase, per poi iniziare a diminuire, mentre il contenuto di apigenina e di quercetina è rimasto molto basso, senza variare nel tempo in maniera significativa (Bouaziz *et al.*, 2004). Il contenuto totale di composti fenolici, a differenza di quanto riportato da altri autori, ha mostrato un costante aumento nel corso della maturazione, raggiungendo il valore massimo in olive di colore nero.

Per quanto riguarda l'influenza esercitata su contenuto e composizione in composti fenolici dalle condizioni stagionali di sviluppo della pianta, diverse sono le prove che la concentrazione fenolica sia significativamente influenzata dalla disponibilità e dalla distribuzione dell'acqua durante il ciclo vegetativo della pianta (Gómez-Rico *et al.*, 2007; Salas *et al.*, 1997): vi è ampia evidenza sperimentale che condizioni di scarsa umidità nel suolo determinano un aumento della concentrazione di composti fenolici idrofili (ed *orto*-difenolici in particolare) e della stabilità dell'olio rispetto all'ossidazione (Berenguer *et al.*, 2004; Faci *et al.*, 2002; D'Andria *et al.*, 1996), anche se qualche studio conduce a conclusioni differenti: Ismail *et al.* (1999), ad esempio, hanno riscontrato il più alto valore di fenoli nel frutto in olivi regolarmente irrigati. Recentemente, i risultati riportati da Tovar *et al.* (2001), in riferimento a giovani piante della cultivar Arbequina sottoposte a diversi regimi idrici, mostrano una correlazione lineare negativa tra la quantità di acqua fornita e la concentrazione di derivati di secoiridoidi come le forme agliconiche di oleuropeina e ligstroside; un comportamento inverso si evidenzia, invece, per i lignani, la cui concentrazione è più bassa nella tesi meno irrigata. Motilva *et al.* (2000) hanno riscontrato un aumento dei fenoli dell'olio in piante (cultivar Arbequina) sottoposte a condizioni di deficit idrico controllato: nella tesi meno irrigata (restituzione del 25% dell'ET_p) l'olio ha mostrato un contenuto di biofenoli ed una stabilità ossidativa significativamente maggiori rispetto al controllo e alle altre due tesi (restituzione rispettivamente del 100%, del 75% e del 50% dell'ET_p) durante tutto il periodo di maturazione, ma con differenze più accentuate nelle prime fasi; non sono state osservate differenze, invece, tra il controllo e le tesi T-50 e T-75. Questi risultati trovano conferma in un lavoro di Patumi *et al.* del 2002, in cui sono stati valutati gli effetti di differenti regimi irrigui

su piante di olivo della cv. Kalamata in coltura intensiva in una tipica area olivicola dell'Italia meridionale. Il contenuto di composti fenolici sia nel frutto che nell'olio è risultato negativamente influenzato dall'irrigazione, diminuendo all'aumentare degli apporti idrici da assenza di irrigazione fino alla restituzione del 66% dell'ET_p e non rispondendo ad un ulteriore aumento dell'apporto fino al 100% dell'ET_p. La diminuzione di composti fenolici si riflette, come atteso, sulle caratteristiche organolettiche: nello stesso studio è stato osservato che l'irrigazione, lasciando inalterata la sensazione di fruttato, comporta una diminuzione delle sensazioni di amaro e piccante.

Tovar *et al.* (2002) propongono due possibili spiegazioni dell'influenza negativa esercitata dalla disponibilità idrica sul contenuto di composti fenolici: le differenze riscontrate nella concentrazione fenolica degli oli potrebbero essere una conseguenza del più alto contenuto d'acqua misurato nelle olive provenienti dai trattamenti con deficit idrico meno severo; dal momento che i composti fenolici sono solubili sia nell'acqua che nell'olio e si ripartiscono tra le due fasi durante il processo di estrazione, quantità consistenti di questi composti potrebbero allontanarsi con la fase acquosa all'atto dell'estrazione. Una seconda ipotesi è che cambiamenti nella disponibilità idrica inducano modificazioni nella biosintesi dei composti fenolici e che, quindi, la variabilità nella concentrazione fenolica riscontrata nell'olio sia conseguenza di una variabilità fisiologica nei frutti.

Fa propendere per questa seconda ipotesi un lavoro di Sofo *et al.* (2005), i quali hanno osservato un'influenza esercitata dallo stress idrico su un enzima coinvolto nel metabolismo dei composti fenolici. In condizioni di carenza idrica le piante hanno necessità di incrementare le difese messe in atto contro lo stress ossidativo: il deficit idrico, assieme ad elevati livelli di irraggiamento ed elevate temperature, determina infatti un aumento del potere riducente, dovuto alla ridotta assimilazione di CO₂, e di conseguenza un innalzamento dei livelli di specie reattive dell'ossigeno (ROS, reactive oxygen species) e un accumulo di radicali liberi (Vranovà *et al.*, 2002). Ci si attende, dunque, che in queste condizioni di stress la pianta reagisca mediante un rafforzamento dei meccanismi di difesa (enzimatici e non enzimatici) messi in atto per inattivare i ROS. Sofo *et al.* (2005) hanno verificato come nei tessuti fogliari e radicali di piante di olivo sottoposte a stress idrico si verifici un significativo aumento dell'attività di enzimi, quali la superossido dismutasi e la catalasi, in grado di inattivare le specie reattive dell'ossigeno, ed una contemporanea riduzione dell'attività della polifenolossidasi (PPO). Quest'ultimo enzima è in grado di catalizzare la *o*-idrossilazione dei composti fenolici e l'ossidazione degli *o*-difenoli a *o*-chinoni ed è, dunque, coinvolto nel metabolismo dei fenoli, i quali svolgono un'azione antiossidante non enzimatica. Inoltre, alcuni composti fenolici sembrano in grado di contrastare l'azione dell'acido abscissico nell'indurre la chiusura degli stomi (Purohit *et al.*, 1991) e ciò suggerirebbe un importante ruolo di questi composti nelle dinamiche di scambio gassoso.

L'azione di regolazione della PPO riveste, dunque, un ruolo importante nella fisiologia di piante soggette a condizioni di deficit idrico: lo stress idrico può rafforzare l'azione antiossidante dei composti fenolici inibendo l'attività della PPO e conseguentemente mantenendo la frazione fenolica nello stato ridotto.

Gli stessi autori (Sofo *et al.*, 2004) sono giunti anche alla conclusione che l'intensità dell'irraggiamento solare gioca un ruolo importante nella funzionalità di piante di olivo soggette a condizioni di stress idrico. È stata, infatti, osservata, tra piante ombreggiate e piante soggette al pieno irraggiamento solare, una differenza nella risposta allo stress ossidativo generato dalla

carezza idrica e da alti livelli di irraggiamento solare, in termini di biosintesi di enzimi ad azione antiossidante: gli enzimi in grado di inattivare le specie reattive dell'ossigeno, dopo un aumento nel corso del periodo di stress, ritornano ai valori consueti nel successivo periodo di recupero dal deficit idrico, ma tale ritorno è più veloce nelle piante ombreggiate rispetto a quelle soggette al pieno irraggiamento solare. Inverso è il comportamento della PPO: le condizioni di stress ne determinano una diminuzione, piuttosto che un aumento; anche per questo enzima, comunque, il recupero durante il re-inumidimento risulta più veloce in piante protette da un forte irraggiamento solare.

Questa differenza osservata nell'attività enzimatica tra piante ombreggiate e non induce a ritenere che un'elevata intensità luminosa accentui gli effetti dello stress idrico, ovvero che tra i due fattori di stress si verifichi un effetto sinergico.

Un altro importante enzima coinvolto nel metabolismo fenolico nelle cellule vegetali è la fenilalanina ammonio liasi (PAL), che catalizza la riduzione e deaminazione della L-fenilalanina per formare l'acido *trans*-cinnamico, primo step nella biosintesi dei composti fenilpropanoidi vegetali, che comporta la formazione di lignina, flavonoidi e acidi idrossicinnamici: una elevata attività di questo enzima è associata con l'accumulo di antocianine e di altri composti fenolici nei tessuti di diverse specie vegetali (Kataoka *et al.*, 1983). L'attività della PAL ha mostrato in diverse cultivar di olivo una stretta relazione con il contenuto di composti fenolici (Patumi, 2002), per cui l'attività di tale enzima è da considerarsi alla base della biosintesi delle sostanze fenoliche e del controllo del loro quantitativo all'interno del frutto. Se la PAL controlla gli aspetti quantitativi, altri enzimi, a valle della formazione dell'acido *trans*-cinnamico, sono responsabili della differenziazione qualitativa delle sostanze fenoliche (vedi schema sintesi composti fenolici a pag. 104).

Tutto il complesso sistema di formazione dei composti fenolici risente fortemente delle condizioni ambientali ed in modo significativo del quantitativo di acqua a disposizione della coltura; l'attività della PAL, infatti, risulta più alta in piante allevate in asciutto. Anche l'età della pianta gioca un ruolo importante attraverso lo sviluppo del suo apparato radicale, che tende a minimizzare l'effetto dell'apporto irriguo su questo enzima: è stato evidenziato come tra tesi in asciutto e tesi irrigate la differenza tra le attività della PAL si va gradatamente riducendo con il crescere dell'età delle piante (Patumi, 2002).

Oltre alla carezza idrica, diverse altre fonti di stress, quali irraggiamento solare, ferite, carenze nutritive, attacchi da parte di agenti patogeni, hanno mostrato determinare un aumento nella biosintesi della PAL in diverse piante (Chalker-Scott e Fuchigami, 1989); per quanto riguarda l'effetto della nutrizione minerale, una limitata disponibilità di azoto o una carezza di boro sembrano essere associate con maggiori livelli di composti fenolici nelle piante (Ruiz *et al.*, 1998). Uno dei fattori che influenzano significativamente la biosintesi fenolica è la luce: foglie di piante cresciute in condizioni di fotoperiodo lungo contengono alti livelli di fenoli solubili e riducono rapidamente l'accumulo di tali composti, così come i livelli della PAL, quando sono trasferite in condizioni di fotoperiodo breve (Balsa *et al.*, 1979); nel mango, l'irraggiamento determina un aumento di alcuni composti fenolici e flavonoidi (Lacroix *et al.*, 1990).

2.3.4 Influenza dei fattori ambientali sulla qualità sensoriale dell'olio.

La qualità sensoriale dell'olio vergine di oliva è strettamente correlata sia alla frazione fenolica, per ciò che riguarda le sensazioni gustative di amaro e piccante (Servili *et al.*, 2004; Tsimidou, 1998), sia ai composti volatili che ne definiscono l'aroma.

Vi è unanimità di risultati sul fatto che la sensazione di amaro sia correlata negativamente con i volumi idrici somministrati e che risulti, quindi, fortemente attenuata in oli ottenuti da tesi irrigate abbondantemente (Berenguer *et al.*, 2004; Patumi *et al.*, 1999; Tovar *et al.*, 2002). Anche la nota di piccante (Patumi *et al.*, 1999) e, in minor misura, di fruttato sembrano inversamente correlate alla quantità di acqua somministrata, almeno entro certi intervalli di volumi idrici erogati (Berenguer *et al.*, 2004). Il regime irriguo influisce, comunque, in modo complesso sul profilo sensoriale completo. Da prove effettuate su cv. Leccino in Toscana (Gucci e Servili, 2005), è risultata evidente l'attenuazione dell'amaro e del piccante nella tesi pienamente irrigata, dalla quale sono stati ottenuti oli dal profilo "addolcito" con note evidenti di erbaceo, fruttato, carciofo, floreale e fieno. Le tesi irrigate in deficit o di soccorso hanno prodotto, invece, oli più amari e piccanti con note erbacee, di mela, di pomodoro e di fieno. Anche in prove effettuate in Campania su cv. Kalamata (Patumi *et al.*, 2002), negli oli ottenuti da piante irrigate gli attributi di amaro e piccante sono risultati attenuati (-40% e -25%, rispettivamente) al confronto con la tesi di controllo non irrigata. Lo stesso risultato è stato recentemente ottenuto in Spagna su cv. Cornicabra (Gómez-Rico *et al.*, 2007).

2.4 BILANCIO IDROLOGICO DELL'OLIVO

2.4.1 Risposta dell'olivo allo stress idrico

Da molti anni l'uso dell'acqua nella coltura dell'olivo è oggetto di studi (Spiegel, 1955), ma solo negli ultimi due decenni si è osservato un rapido approfondimento della conoscenza delle risposte fisiologiche dell'olivo allo stress idrico.

L'olivo è una coltura adattata a climi aridi e capace di dare una produzione, seppure limitata, anche in condizioni di estrema siccità. I recenti risultati di ricerche sulla biologia di questa specie hanno consentito di chiarire i meccanismi principali mediante i quali l'olivo è in grado di utilizzare l'acqua in modo efficiente e di sopportare climi contraddistinti da lunghi periodi di siccità, elevate temperature ed esposizione ad intensa radiazione solare.

Già nel 1966 uno studio di Abd-El-Rahman *et al.* aveva mostrato come il contenuto idrico alla saturazione delle foglie di olivo fosse estremamente basso se paragonato con quello tipico di altre specie dello stesso ambiente. Nello stesso studio è stato osservato un notevole aumento, maggiore di quello osservato in altre xerofite, della pressione osmotica della linfa nel corso della stagione estiva, che consente alle radici di continuare ad estrarre acqua dal suolo anche in condizioni di siccità.

Le foglie dell'olivo sono ricoperte da uno strato di cera cuticolare di notevole spessore, che aumenta considerevolmente la resistenza alla diffusione dell'acqua (Leon e Bukovac, 1978). Il fitto impaccamento delle cellule del mesofillo delle foglie di olivo riscontrato nella cv Ascolana riduce la conduttanza della parete cellulare, costituendo un efficiente sistema per limitare la perdita di acqua da parte delle cellule in condizioni di stress (Bongi *et al.*, 1987).

Un importante carattere per la resistenza a condizioni di aridità nel suolo è dato dalle piccole dimensioni dei vasi conduttori: i vasi xilematici sono stretti e piuttosto lunghi al confronto con

altre specie arboree dell'ambiente mediterraneo (Lo Gullo e Salleo, 1990). Le piccole dimensioni dei vasi consentono di ridurre la probabilità di formazione di emboli all'interno del sistema conduttore della linfa; tuttavia, la scarsa vulnerabilità del sistema idraulico al verificarsi di eventi cavitativi durante i periodi di siccità si associa ad una bassa efficienza nel trasporto della linfa xilematica, in quanto il flusso è funzione della quarta potenza del raggio dei singoli elementi.

Numerosi altri adattamenti morfologici contribuiscono a determinare la tolleranza dell'olivo alla scarsa disponibilità idrica: le foglie piccole, gli stomi infossati nel mesofillo e dall'apertura ridotta, la cuticola impermeabile piuttosto spessa che riveste la foglia ed il fitto strato di peli stellati che ricopre l'epidermide nella pagina inferiore limitano la perdita di acqua per traspirazione.

In condizioni di aridità, inoltre, si stabilisce un maggior rapporto tra apparato radicale e parte aerea che consente un migliore sfruttamento dell'acqua. In un olivo adulto, in genere, le radici si distribuiscono nei primi 80 cm di profondità ed in gran parte si estendono superficialmente; le iperplasie presenti alla base del tronco producono radici superficiali che permettono un più efficiente assorbimento dell'acqua in occasione di piogge di bassa intensità ed intermittenti, quali spesso si verificano nel periodo estivo. Alcune radici, tuttavia, nei terreni sciolti e siccitosi si spingono a profondità superiori, fino a 6-7 m, allo scopo di raggiungere le riserve idriche nel sottosuolo. In condizioni di carenza idrica l'olivo è in grado non solo di aumentare il rapporto radice-chioma, ma anche di modificare le caratteristiche anatomiche della radice ed il flusso attraverso di essa. In piante allevate in asciutto si osserva una maggiore rapidità nella maturazione dei tessuti dell'apice radicale ed un maggiore spessore del cilindro corticale che in piante irrigate, sebbene non sia chiaro se questo ultimo carattere dipenda dalla carenza idrica o da stress meccanico causato dal suolo in asciutto (Fernandez *et al.*, 1994).

Anche l'efficiente regolazione stomatica contribuisce alla resistenza dell'olivo a condizioni di siccità. La conduttanza stomatica (g_s) dell'olivo presenta valori medi rispetto ad altre specie arboree da frutto in condizioni di buona disponibilità idrica nel suolo, pertanto la traspirazione fogliare dell'olivo non è particolarmente bassa se l'acqua non è un fattore limitante. Al diminuire della disponibilità idrica nel suolo la g_s dell'olivo si mantiene piuttosto elevata e superiore a quella di specie come l'albicocco e l'actinidia che hanno stomi particolarmente sensibili sia alla diminuzione di potenziale idrico fogliare (Ψ_w) che all'incremento di deficit di pressione di vapore tra la foglia e l'atmosfera (VPD) (Gucci, 2001). La minore pendenza della curva g_s/Ψ_w per l'olivo rispetto alle altre due specie indica che gli stomi dell'olivo rimangono parzialmente aperti anche quando l'albero è soggetto a severo deficit idrico, il che consente il mantenimento di una certa attività fotosintetica e di termoregolazione della chioma.

Un ulteriore fattore che contribuisce alla resistenza a condizioni di aridità è dato dall'aggiustamento osmotico che l'olivo è in grado di realizzare in maniera molto efficiente: l'accumulo nella parte aerea di soluti osmoticamente attivi, costituiti nel caso specifico dell'olivo da mannitolo, glucosio e acidi organici (Gucci *et al.*, 1998), consente di aumentare il gradiente di potenziale tra chioma ed apparato radicale, rendendo possibile l'estrazione di acqua dal suolo a potenziali idrici molto bassi.

La sensibilità della pianta di olivo a stress idrici varia sensibilmente con la fase fenologica. Nelle fasi di differenziazione delle gemme, antesi ed allegagione, stress idrici anche di breve durata, che in Italia frequentemente si verificano nelle aree olivicole meridionali, possono causare anomalie nella formazione del fiore, quali aborto dell'ovario, assenza di stami, riduzione del numero di fiori e riduzione dell'allegagione.

Dopo l'allegagione, quando nei frutti per 30-50 giorni si ha un'intensa attività di divisione cellulare, un insufficiente rifornimento idrico può determinare un'accentuata cascola di frutticini. Inoltre, condizioni di stress in questa fase, riducendo la velocità della divisione cellulare, condizioneranno negativamente le dimensioni finali del frutto anche in caso di rimozione dello stress nelle fasi successive.

Anche nella seconda fase di rapido accrescimento del frutto (in cui l'aumento delle dimensioni avviene essenzialmente per distensione cellulare), che inizia nella seconda metà di agosto e termina con l'invaiaatura, la disponibilità idrica assume notevole importanza ai fini produttivi: in questa fase un'adeguata disponibilità di acqua determina l'aumento dello spessore del mesocarpo e del rapporto polpa/nocciolo.

Con l'invaiaatura i frutti rallentano il loro accrescimento e di conseguenza le loro esigenze idriche.

Nella tarda estate ed in autunno, la carenza di acqua, che a volte si verifica negli ambienti del Sud Italia, può causare una riduzione dell'accumulo di sostanze di riserva e nell'anno successivo un ritardo della fioritura, un aumento dei fiori con anomalie e una diminuzione dell'entità della fioritura e dell'allegagione.

Scarse e contraddittorie, probabilmente a causa di differenti condizioni ambientali e pedologiche, sono le informazioni disponibili sugli apporti idrici stagionali che consentono di ottenere produzioni soddisfacenti sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo dalle diverse cultivar di olivo e sugli effetti del deficit idrico sulla qualità della drupa e dell'olio (Dettori e Russo, 1993; Patumi *et al.* 1999).

In generale, l'irrigazione aumenta la pezzatura dei frutti, il rapporto polpa/nocciolo, il contenuto idrico del frutto, la produzione di olio ad albero (Gómez-Rico *et al.*, 2007; Goldhamer *et al.*, 1994; Inglese *et al.*, 1996; Alegre *et al.*, 2000).

Dell'effetto dell'irrigazione sulla composizione acidica, sul contenuto di composti fenolici e sul profilo sensoriale già si è discusso. Per quanto riguarda l'effetto esercitato dalla disponibilità di acqua sul contenuto di α -tocoferolo, i risultati ottenuti sono contrastanti: Tovar *et al.* (2002) hanno riscontrato un minore contenuto di α -tocoferolo (il principale tocoferolo dell'olio di oliva, corrispondente alla pro-vitamina E, dotato di spiccate proprietà antiossidanti a livello cellulare) nelle tesi più stressate, ed in particolare nella tesi in cui era prevista la restituzione soltanto del 25 % dell'ET_p; in uno studio più recente, invece, non sono state osservate differenze significative tra i diversi trattamenti irrigui (Gómez-Rico *et al.*, 2007).

Non sono state riscontrate differenze, in funzione della gestione irrigua, neanche per quanto riguarda il contenuto nell'olio di clorofille e carotenoidi (Tovar *et al.*, 2002; Gómez-Rico *et al.*, 2007), pigmenti che, oltre a determinare il colore dell'olio, ne influenzano la stabilità ossidativa esercitando un'azione antiossidante al buio e pro-ossidante alla luce; il colore dell'olio, di conseguenza, non è risultato condizionato da una riduzione della disponibilità di acqua.

Anche l'acidità libera dell'olio non è risultata influenzata dal regime irriguo; questo risultato, riportato da Gómez-Rico *et al.* (2007) per piante della cv. Cornicabra, ha confermato quanto osservato da Tovar *et al.* (2002) per piante della cv Arbequina, da Dettori e Russo (1993) su oli ottenuti dalle cv Leccino, Nociara e Ogliarola e da Patumi *et al.* (1999) per le cv Nocellara del Belice e Ascolana Tenera.

Per quanto riguarda l'effetto della disponibilità di acqua sul numero di perossidi, indice dello stato di ossidazione primaria di un olio, i risultati riportati sono contrastanti: Salas *et al.* (1997) hanno riscontrato un numero di perossidi significativamente più alto negli oli ottenuti dalle tesi

maggiormente irrigate; secondo Dettori e Russo (1993), Patumi *et al.* (1999) e Gómez-Rico *et al.*, (2007), invece, il regime irriguo non esercita alcuna influenza su tale parametro.

Anche per quanto riguarda gli indici spettrofotometrici, ed in particolare il K_{270} , non sono state osservate differenze tra i diversi regimi idrici.

La tendenza attuale per l'irrigazione dell'oliveto è di somministrare quantità di acqua inferiori al consumo dell'albero in determinati periodi della stagione di crescita, in modo da risparmiare acqua. Risultati interessanti sono stati ottenuti in Catalogna e in California in prove sperimentali in cui, pur riducendo l'apporto irriguo del 40% rispetto al fabbisogno, non si sono avuti effetti negativi sulla quantità e qualità della produzione (Alegre *et al.*, 2000; Goldhamer *et al.*, 1994). Questi risultati trovano conferma in un lavoro di Patumi *et al.* del 2002, in cui sono stati valutati gli effetti di differenti regimi irrigui su piante di olivo della cv. Kalamata in coltura intensiva in una tipica area olivicola dell'Italia meridionale. Sono state messe a confronto quattro tesi: la tesi di controllo non è stata irrigata, le altre tre tesi hanno ricevuto un apporto irriguo stagionale pari rispettivamente al 33, 66 e 100% dell'evapotraspirazione potenziale. La produttività è risultata positivamente influenzata dall'irrigazione, tuttavia un apporto pari al 66% dell' ET_p è stato sufficiente per raggiungere un livello produttivo simile a quello ottenuto con un volume irriguo stagionale pari al 100% dell' ET_p .

2.4.2 Modellazione di bilancio idrologico per la coltura dell'olivo

Il bilancio idrologico di una coltura va definito tenendo conto dei processi di infiltrazione e di redistribuzione dell'acqua nel suolo e delle interazioni tra il suolo, la vegetazione e l'atmosfera. Attualmente queste interazioni vengono studiate tenendo conto di un unico sistema continuo Suolo-Pianta-Atmosfera, in cui l'acqua, in risposta a gradienti di potenziale, si muove nel suolo, in parte raggiunge le radici, attraversa i tessuti corticali arrivando ai fasci vascolari, dai quali viene trasportata alle foglie; da qui passa nell'atmosfera attraverso gli stomi, sotto forma di vapore (Santini, 1979).

Il trasporto dell'acqua nel sistema Suolo-Pianta-Atmosfera non è facile da caratterizzare analiticamente, a causa dell'elevato numero di parametri coinvolti e della loro variabilità spaziale e temporale. Sono stati messi a punto diversi modelli matematici per descrivere il processo di trasporto dell'acqua nel suolo e nella pianta (Molz, 1981).

I modelli più generali considerano soluzioni numeriche delle equazioni differenziali del moto dell'acqua nel suolo in forma tridimensionale, ma richiedono un notevole impegno di calcolo, soprattutto se applicati per zone abbastanza estese. Per facilitare l'utilizzazione, nella modellizzazione si tende ad effettuare alcune semplificazioni, ignorando alcune interazioni ed utilizzando equazioni che facciano riferimento a processi generalmente unidirezionali.

Per l'olivo, le conoscenze relative al bilancio idrologico e ai flussi evapotraspirativi sono ancora piuttosto limitate, dal momento che per lungo tempo si è ritenuto che tale coltura non necessitasse di un'integrazione agli apporti idrici naturali e che solo recentemente, nell'olivicoltura intensiva, sta diventando sempre più frequente l'irrigazione allo scopo di ottenere produzioni più abbondanti e costanti. Le difficoltà sono incrementate, poi, dalla complessità del comportamento dell'olivo, specie perenne e sempreverde.

Le informazioni sui coefficienti colturali (k_c) dell'olivo sono scarse e ottenute principalmente da stime dell'evapotraspirazione con il metodo del bilancio idrologico (Mickelakis *et al.*, 1994). Orgaz

e Fereres (1997) riportano, per differenti località, valori di k_c compresi tra 0,45 e 0,75, di gran lunga inferiori ai valori relativi a colture annuali, tipicamente compresi tra 1,0 e 1,2 (Doorenbos e Pruitt, 1977). I valori ottenuti da Villalobos *et al.* (2000) variano in maniera consistente nel corso dell'anno, con massimi prossimi a 1 durante l'inverno e minimi attorno a 0,4 in agosto. I valori invernali più alti sono il risultato di più intensi flussi evaporativi dovuti alle maggiori precipitazioni; all'avvicinarsi della stagione estiva, la probabilità di eventi piovosi diminuisce e con essa l'evaporazione e la variabilità nei suoi valori decadali. Oltre alla diminuzione dell'evaporazione dalla stagione invernale a quella estiva, l'aumento del deficit di pressione di vapore e la riduzione della frazione di radiazione intercettata comportano una diminuzione, in estate, dell'incidenza della traspirazione sui flussi complessivi evapotraspirativi. I valori annuali di k_c ottenuti da Villalobos *et al.* (2000) sono risultati pari a 0,62 e 0,55 per un oliveto con Indice di Area Fogliare (LAI) pari a 1,4 e copertura del suolo (*Soil Cover*) pari a 40% e 30%, rispettivamente.

Anche per l'olivo, comunque, sono stati messi a punto modelli maggiormente meccanicistici, che costituiscano un passo in avanti rispetto al modello standard utilizzato per la stima dei fabbisogni idrici ($ET = ET_0 \times k_c$), ampiamente utilizzato dalla pubblicazione del quaderno n. 24 della FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977) e la cui robustezza e applicabilità è stata dimostrata a livello mondiale. Lo scopo è quello di riflettere meglio l'impatto esercitato sui fabbisogni idrici dalla specifica fisiologia della coltura, dal regime pluviometrico e dalla gestione irrigua.

Recentemente (Testi *et al.*, 2006) è stato presentato un modello per la stima dell'ET dell'olivo che calcola separatamente traspirazione (T) ed evaporazione (E) (entrambe sia per l'area bagnata dagli irrigatori sia per la superficie asciutta) e l'evaporazione diretta dalla superficie vegetale bagnata dalla pioggia (E_{pd}), in funzione dell'architettura della vegetazione e della densità d'impianto. In questo modello la traspirazione è calcolata con l'equazione di Penman-Monteith utilizzando un modello specifico per la conduttanza stomatica G_c , concettualmente basato sul legame di G_c con l'assimilazione del carbonio (a sua volta dipendente dalla radiazione fotosinteticamente attiva e dall'efficienza d'uso della radiazione) e con il deficit di pressione di vapore, legato alla temperatura dell'aria. La radiazione fotosinteticamente attiva intercettata dalla vegetazione dipende dall'angolo zenitale solare (legato alla latitudine e al giorno dell'anno), dalla densità d'impianto, dall'Indice di Area Fogliare e dalla trasmittanza atmosferica, che diminuisce per cielo coperto da nubi. L'evaporazione è calcolata, separatamente per la frazione di superficie di suolo asciutta e per quella bagnata, secondo il modello di Bonachela *et al.* (1999), che utilizza una equazione Penman-FAO modificata per la fase iniziale del processo evaporativo, e il modello di Ritchie (1972) per la fase successiva, in cui il suolo è il fattore limitante. Il calcolo della pioggia intercettata dalla vegetazione è basato sul lavoro di Gómez *et al.* (2001); l'acqua intercettata evapora direttamente ad una velocità calcolata con l'equazione di Penman-Monteith, assumendo nulla la resistenza stomatica. La resistenza aerodinamica è calcolata con il modello proposto da Raupach (1994), parametrizzato e validato specificamente per l'olivo secondo quanto riportato da Verhoef *et al.* (1997).

Il modello si è dimostrato capace di simulare correttamente i flussi di evapotraspirazione, interpretando bene la variazione di ET lungo il corso dell'anno e al crescere del LAI. Il valore annuale del coefficiente colturale è risultato variare tra 0,57 e 0,77 in funzione del regime pluviometrico del sito di coltivazione e della densità d'impianto, con valori mensili molto variabili nel corso dell'anno, con massimi nella stagione invernale dovuti alla maggiore frequenza di eventi piovosi, che si traduce in più intensi flussi di evaporazione dal suolo e dalla vegetazione bagnata.

L'evaporazione da suolo nudo è apparsa come una parte consistente dei flussi evapotraspirativi complessivi: tra il 29 e il 40 % della ET, in funzione del valore di *Soil Cover*, che comunque ha mostrato esercitare un'influenza non molto rilevante, e del regime pluviometrico, apparso come maggiormente determinante. Anche i flussi di evaporazione dalla superficie vegetale bagnata si sono dimostrati tutt'altro che trascurabili. La combinazione di elevati flussi di evaporazione (dal suolo e dalla vegetazione bagnata) e di bassi valori di evapotraspirazione di riferimento durante l'inverno sono i responsabili degli alti valori assunti dal coefficiente colturale durante questa stagione.

CAPITOLO 3

INDAGINE PUNTUALE: CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE

3.1 L'AREA DI STUDIO E LA CULTIVAR

3.1.1 Il Cilento

Il territorio cilentano (area più meridionale della provincia di Salerno) si configura come particolarmente interessante ai fini di un lavoro di zonazione olivicola, presentandosi da una parte come un'area a forte e radicata tradizione olivicola, dall'altra come un territorio dalla morfologia molto varia e complessa, che offre alla coltura un'ampia gamma di ambienti differenti.

Inquadramento geologico-strutturale. La "Provincia" cilentana presenta, dal punto di vista geologico-strutturale, una grande complessità e può essere suddivisa in tre macroaree (Cestari, 1967):

- L'ampia struttura carbonatica Monte Cervati – Monte Vesole risulta costituita da una successione di litotipi prevalentemente calcarei, calcareo-dolomitici e calcareo-marnosi. Ai margini della struttura carbonatica affiorano i depositi flyschoidi a prevalente componente marnoso-arenacea ricoperti in alcuni punti da depositi detritici e conglomeratici a matrice sabbioso-argillosa.
- Le successioni litostratigrafiche affioranti a Monte Bulgheria sono attribuite alla evoluzione tettono-sedimentaria del margine interno della Piattaforma Campano-Lucana. Le facies sono variabili dall'ambiente litorale a quello di soglia e scarpata, fino a quello di bacino. Si tratta di una formazione calcareo-dolomitica, passante verso l'alto alla formazione del Flysch Nero, con caratteristiche peculiari che la differenziano dalle altre serie carbonatiche dell'Appennino meridionale e che la fanno ritenere una serie di transizione a sedimenti di mare più aperto o più profondo. L'assetto strutturale è molto complesso e si identifica con una piega coricata, ad asse Est-Ovest, che si sovrappone alle successioni terrigene verso Nord, mentre a Sud alcuni gruppi di faglie dirette ribassano a gradinata la struttura.
- I Monti del Cilento sono costituiti da unità terrigene caratterizzate dalla successione torbiditica conglomeratico-arenaceo-marnoso-argillosa nota come Flysch del Cilento.

Inquadramento idrogeologico. La grande variabilità litologica dei terreni costituenti le unità stratigrafico-strutturali del territorio cilentano, attribuibile alle diversissime caratteristiche degli ambienti di sedimentazione da cui hanno avuto origine, ha una fortissima ricaduta sugli aspetti idrogeologici; dal punto di vista idrogeologico è possibile, dunque, individuare tre grandi unità (Guida *et al.*, 1980):

- I massicci carbonatici sono costituiti fondamentalmente da rocce calcaree di età mesozoica, che per il carattere fragile e per le vicissitudini del passato geologico risultano essere generalmente molto fratturate e per la composizione chimica sono soggette a fenomeni carsici mediante i quali l'azione di dissoluzione delle acque meteoriche tende ad ampliare la rete delle fratturazioni. L'insieme di queste discontinuità fa sì che questi rilievi abbiano una spiccata attitudine ai fenomeni di infiltrazione e quindi in essi il deflusso idrico globale si espliciti principalmente come deflusso

sotterraneo e, subordinatamente, come ruscellamento superficiale. I massicci carbonatici possono essere quindi considerati alla stregua di grandissimi serbatoi in cui la circolazione idrica sotterranea è condizionata dai rapporti geometrici con le unità geologiche circostanti, costituite dai terreni arenaceo-argillosi che, avendo una permeabilità notevolmente inferiore, ne alimentano lateralmente la circolazione idrica sotterranea, orientandola verso i punti del contatto a quota più bassa; in questi punti si concentrano le principali sorgenti dell'intera area.

- Le unità idrogeologiche terrigene, costituite fundamentalmente dalla parte alta della successione del Flysch del Cilento, si caratterizzano per un comportamento idrogeologico profondamente differente dai massicci carbonatici. I terreni arenaceo-conglomeratici di questa unità presentano potenzialità idriche minori; il deflusso idrico globale avviene prevalentemente come ruscellamento superficiale ed in misura minore come infiltrazione.

- I depositi clastici quaternari, che riempiono le piane alluvionali dei principali elementi idrografici del territorio, rappresentano il punto di recapito delle acque provenienti dalle strutture idrogeologiche limitrofe.

Inquadramento climatico. Il clima temperato-caldo della regione mediterranea è nel Cilento mitigato dalla vicinanza del mare, dall'esposizione favorevole e dalla presenza di rilievi montuosi che tagliano la via ai venti di nord.

I dati di temperatura media annuale e di precipitazione annuale (digitalizzati dagli Annali Idrologici dell'Istituto Idrografico e Mareografico di Napoli) relativi al trentennio 1970-1999 sono riportati, per alcune stazioni termometriche distribuite nell'areale cilentano, nelle **tabelle 1 e 2**.

Tabella 1. *Temperatura media annuale (1970-1999) di alcune stazioni meteorologiche distribuite nell'areale cilentano.*

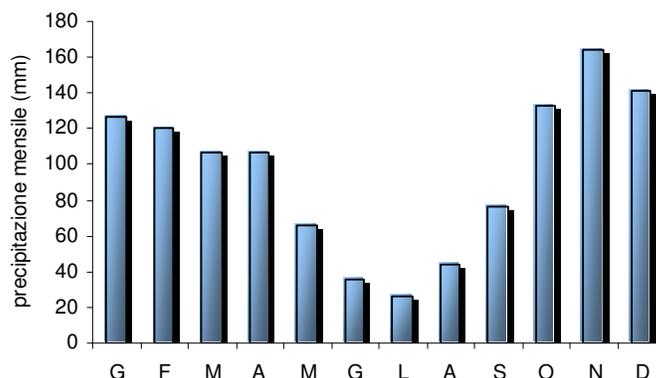
Stazione	Quota (m s.l.m.)	Temperatura annuale (°C) media 1970-1999
Capaccio	430	15,2
Capo Palinuro	184	16,8
Casalbuono	598	12,6
Casalvelino	189	17,6
Montesano Terme	711	11,9
Morigerati	286	16,1
Polla Molino	444	12,6
Sala Consilina	600	14,6

La temperatura annuale risulta ben correlata con l'altitudine, mentre non è possibile osservare una correlazione significativa tra precipitazione annuale e quota, probabilmente a causa della variabilità nella distanza dal mare e nell'orografia e del peso che riveste, nel determinare il regime pluviometrico, la direzione dei venti, a sua volta influenzata dall'andamento orografico.

Il regime pluviometrico annuale è caratterizzato da un elevato deficit idrico estivo, che appare evidente in **figura 3**.

Tabella 2. *Precipitazione annuale (1970-1999) di alcune stazioni meteorologiche distribuite nell'areale cilentano.*

Stazione	Quota (m s.l.m.)	Precipitazioni annuali (mm) media 1970-1999
Bellosguardo	536	1006
Capaccio	430	1148
Capo Palinuro	184	738
Casalbuono	598	1675
Casalvelino	189	1101
Castellabate	278	920
Castelnuovo Cilento	23	1007
Cicerale	436	1089
Gioi Cilento	685	1111
Montesano terme	711	1184
Morigerati	286	1391
Padula	688	937
Piaggine	710	1427
Roccadaspide	359	1316
Rocagloriosa	501	1357
Rofrano	455	1539
S. Giovanni a Piro	585	1500
S. Rufo	639	1359
Sala Consilina	600	884
Torchiaro	390	1032
Torraca	455	1488

**Figura 3.** *Andamento, nel corso dell'anno, dei valori medi (1970-1999) di precipitazione mensile nell'areale cilentano.*

Tale ampia variabilità geologica, morfologica e climatica fa sì che l'olivo trovi, nel Cilento, una notevole disparità di ambienti e di condizioni di crescita, pur rimanendo in ogni caso una componente insostituibile del territorio e della cultura locale.

Il Cilento è un'area ad antica tradizione olivicola: l'origine della coltura viene fatta risalire alla presenza delle colonie della Magna Grecia e successivamente all'occupazione romana. Oggi l'olivo rappresenta per la popolazione locale non soltanto una insostituibile fonte di reddito, ma anche una parte essenziale della vita e della cultura, ricoprendo un ruolo economico, sociale, paesaggistico e di conservazione del territorio. Gli impianti appaiono ancorati a schemi tradizionali, con largo impiego di manodopera, forme di allevamento per lo più a vaso impalcato alto, sestri ampi e irregolari, piante di grande taglia e ultrasecolari, tecniche di coltivazione condizionate dalla dimensione delle piante e da un'orografia non sempre favorevole.

3.1.2 La Pisciotana

La varietà dominante nel Basso Cilento, tra Agropoli e Sapri, è la Pisciotana, che nella provincia di Salerno è seconda solo alla Rotondella e che rappresenta l'unica varietà esistente nel comune di Pisciotta, da cui trae il nome. La tradizione storica assegna ai Focesi, popolazione profuga di origine greca, la sua introduzione all'epoca della fondazione di Velia (546-540 a.C.); questa ipotesi non appare azzardata in considerazione della mole del tronco di alcuni esemplari (in un caso è stata misurata una circonferenza di 11,10 m). La varietà è caratterizzata da vigoria molto elevata e portamento assurgente ed è apprezzata soprattutto per la produttività e la resa in olio. Sensibile agli attacchi di mosca e all'occhio di pavone, resiste bene invece alla rogna e alla siccità (Pugliano, 2002).

Essendo necessario, per gli obiettivi che ci si è proposti nel presente studio, concentrare l'attenzione su un'unica varietà, in maniera da eliminare o ridurre la parte di variabilità attribuibile a fattori genetici ed evidenziare gli effetti delle variabili ambientali, è stata selezionata la varietà Pisciotana, ritenuta particolarmente adatta ad uno studio di zonazione nel Cilento per il ruolo che vi svolge nella caratterizzazione dell'ambiente e del paesaggio e nella difesa del territorio, per l'ampia diffusione e per l'antico legame con il territorio, che ha fatto sì che andasse a rappresentare la principale base varietale dell'olio extravergine DOP "Cilento". Si tratta, però, di una varietà sempre meno apprezzata dagli stessi produttori locali perché ritenuta poco adatta ad una olivicoltura intensiva, meccanizzata e, come tale, più redditizia: in una prospettiva di modernizzazione dell'olivicoltura, essa tende ad essere sostituita con varietà alloctone, dai caratteri agronomici giudicati migliori. Il presente studio potrebbe, dunque, configurarsi come una occasione per rivalutare una varietà profondamente legata al territorio da una lunghissima storia co-evolutiva, individuandone le potenzialità e le condizioni ambientali che consentano loro di esprimersi al meglio.

3.2 I SITI SPERIMENTALI

Il lavoro sperimentale è iniziato con la selezione dei siti di campionamento (oliveti monovarietalmente di Pisciotana), effettuata tenendo in debito conto la necessità di abbracciare per quanto possibile la variabilità pedo-climatica degli areali olivicoli cilentani. Sono stati, dunque, scelti siti di campionamento ricadenti in unità pedo-paesaggistiche differenti e differenzianti per latitudine, quota, pendenza, esposizione, distanza dal mare, in maniera da cogliere tutte le divergenze pedologiche e climatiche che abbiano potuto influenzare il risultato produttivo (**figura 4; tabella 3**). Una seconda esigenza che si è cercato di soddisfare nella organizzazione del disegno sperimentale è stata quella di minimizzare la variabilità nella gestione agronomica, in maniera che le differenze nel risultato produttivo potessero essere attribuite esclusivamente a fattori pedologici o climatici. Si è cercato, dunque, di selezionare siti di campionamento che fossero il più possibile uniformi dal punto di vista dell'età delle piante, della forma di allevamento, della densità d'impianto, della gestione colturale (interventi fitosanitari, fertilizzazione, irrigazione). Questo secondo requisito è risultato, però, soddisfatto soltanto in parte: non è stato possibile rendere del tutto omogenei i parametri agronomici. Forme di allevamento, distanze d'impianto, difesa fitosanitaria, gestione della fertilizzazione sono, infatti, in un'olivicoltura estensiva quale quella cilentana, così variabili, che non è stato possibile individuare un sufficiente numero di oliveti che risultassero, allo stesso tempo, differenti dal punto di vista pedo-climatico e omogenei dal punto di

vista agronomico. Gli appezzamenti individuati sono, comunque, accomunati dall'età adulta delle piante, da un ampio sviluppo della chioma, da distanze d'impianto elevate, da assenza di irrigazione.

Sono stati selezionati 14 siti di campionamento, i quali sono stati caratterizzati dal punto di vista pedologico e climatico e nei quali sono stati prelevati campioni di olive da sottoporre ad analisi. Le coppie di campioni (olive e terreno) sono state prelevate nello stesso punto all'interno della stazione, per eliminare l'interferenza di eventuali differenze locali.

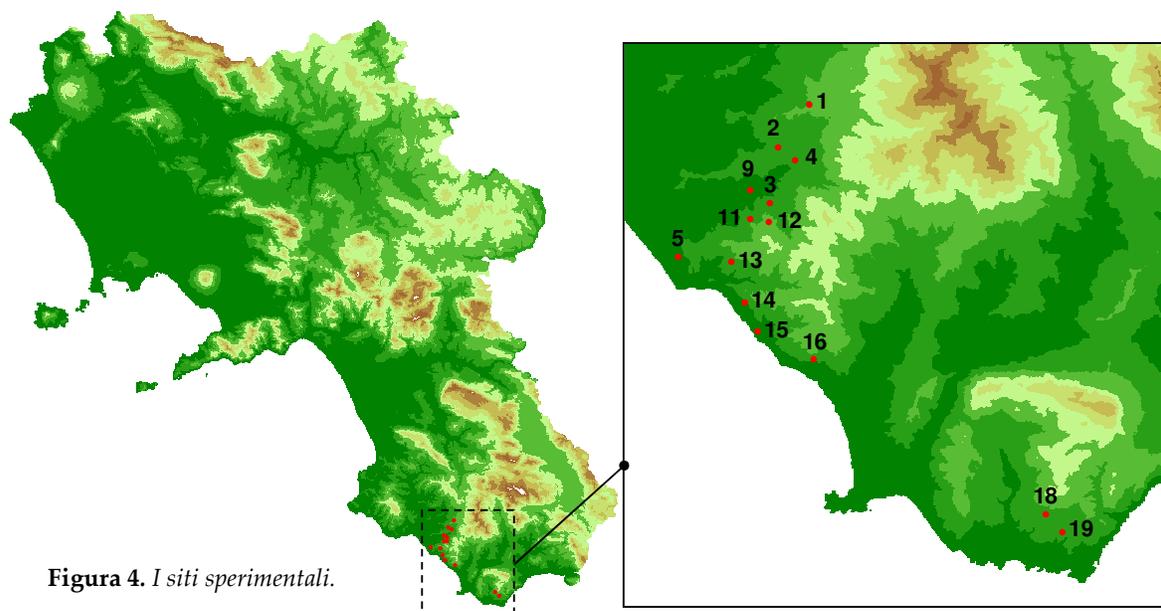


Figura 4. I siti sperimentali.

Tabella 3. Coordinate geografiche e caratteristiche topografiche dei siti sperimentali.

SITO*	LATITUDINE (UTM 33, ED50)	LONGITUDINE (UTM 33, ED50)	QUOTA (m s.l.m.)	PENDENZA (°)	ESPOSIZIONE
Sito 1	4450719	522051	420	18	Nord-Ovest (320°)
Sito 2	4448563	520487	280	8	Sud-Ovest (210°)
Sito 3	4445748	520041	320	13	Nord-Est (50°)
Sito 4	4447875	521312	280	10	Nord-Ovest (335°)
Sito 5	4443036	515415	150	7	Sud-Est (140°)
Sito 9	4446447	519044	110	20	Sud (180°)
Sito 11	4444980	519051	350	30	Nord-Ovest (295°)
Sito 12	4444825	520004	520	30	Est (90°)
Sito 13	4442799	518116	360	30	Ovest (285°)
Sito 14	4440760	518798	150	30	Sud-Ovest (235°)
Sito 15	4439291	519396	10	20	Sud-Ovest (230°)
Sito 16	4437869	522251	140	15	Sud (195°)
Sito 18	4430066	533952	260	15	Ovest (260°)
Sito 19	4429170	534791	170	12	Sud (180°)

* La numerazione dei siti sperimentali è quella assegnata nel corso di una precedente campagna sperimentale che li ha interessati nell'anno 2003.

3.3 IL CLIMA

Nell'areale cilentano sono state individuate 17 stazioni meteorologiche attive nell'anno 2005, cui è stata aggiunta una stazione che, pur essendo molto distante dai siti di campionamento, risultava utile ai fini di un'interpolazione dei dati termometrici, essendo ubicata ad un'elevata altitudine. Di queste stazioni meteo, 1 è gestita dall'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania, 6 dal Consorzio "Velia" per la Bonifica del Bacino dell'Alento (Salerno), le restanti dal Centro Funzionale Meteo-Idrologico della Giunta Regionale della Campania. Per 6 di tali stazioni sono disponibili per l'anno 2005 solo dati pluviometrici, per 6 stazioni sono disponibili dati pluviometrici e termometrici, nelle restanti 6 stazioni sono stati misurati anche radiazione solare, umidità relativa e velocità del vento. In tutti i casi si tratta di dati giornalieri.

I valori di temperatura sono risultati ben correlati con l'altitudine delle stazioni meteorologiche: le regressioni lineari della temperatura media giornaliera verso la quota hanno mostrato un r^2 medio (sui 365 valori giornalieri) pari a 0,59. La pendenza della retta quota-temperatura media giornaliera è risultata pari a -0,006, ovvero la temperatura è risultata subire in media una diminuzione di 0,6°C per ogni 100 m di dislivello rispetto al livello del mare.

Tale valore è stato utilizzato per effettuare un'interpolazione lineare dei dati termometrici giornalieri: il valore di temperatura media giornaliera per ciascun sito di campionamento è stato ottenuto a partire dal valore registrato nella stazione meteorologica più simile (dal punto di vista delle coordinate geografiche e della quota), applicando una riduzione di 0,6°C per ogni 100 m di dislivello tra il sito di campionamento e la stazione meteo.

La pioggia, invece, non ha mostrato una correlazione con la quota, né su scala giornaliera né su scala mensile. Non è stato, dunque, possibile effettuare un'interpolazione dei dati pluviometrici, per cui il valore di precipitazione giornaliera per ciascun sito di campionamento è stato assunto pari a quello registrato nella stazione meteorologica più simile (dal punto di vista delle coordinate geografiche e della quota). Neanche per i valori di umidità relativa e di velocità del vento è stata effettuata alcuna interpolazione.

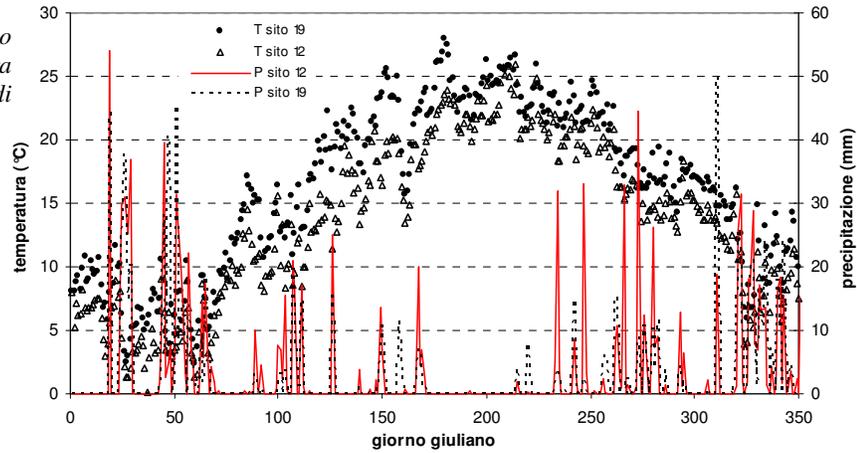
I valori di temperatura giornaliera (minima, media e massima) ottenuti per i 14 siti di campionamento mediante interpolazione dei dati misurati nelle stazioni meteorologiche sono riportati in **tabella 4**.

SITO	TEMPERATURA GIORNALIERA (°C)		
	minima	media	massima
Sito 1	9,0	14,0	19,7
Sito 2	9,9	14,8	20,5
Sito 3	9,6	14,6	20,3
Sito 4	9,9	14,8	20,5
Sito 5	10,1	15,7	22,2
Sito 9	10,9	15,8	21,6
Sito 11	9,5	14,4	20,1
Sito 12	8,4	13,4	19,1
Sito 13	9,4	14,3	20,1
Sito 14	10,1	15,7	22,2
Sito 15	11,0	16,6	23,0
Sito 16	10,2	15,8	22,3
Sito 18	10,8	15,4	20,2
Sito 19	11,4	15,9	20,8

Tabella 4. Valori di temperatura giornaliera (media dell'anno 2005) per i 14 siti di campionamento.

I siti appaiono differenziarsi per quanto riguarda il regime termico e pluviometrico. In **figura 5** sono riportati, a titolo di esempio, gli andamenti di temperatura media giornaliera e precipitazioni per due siti sperimentali.

Figura 5. Andamento nel corso dell'anno 2005 di temperatura e precipitazione per due siti di campionamento.



La radiazione solare globale è stata stimata a partire da quella extra-atmosferica, calcolata mediante il modello riportato da Dingman (2002), le cui relazioni sono tratte per lo più da Iqbal (1983).

Il flusso di radiazione extra-atmosferica su un piano orizzontale (k'_{ET}) può essere calcolato come:

$$k'_{ET} = I_{SC} \cdot E_0 \cdot [\cos(\delta) \cdot \cos(\Lambda) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \sin(\delta) \cdot \sin(\Lambda)]$$

dove:

- I_{SC} è la *costante solare*, ovvero il flusso medio di radiazione che colpisce un piano perpendicolare ai raggi solari sulla superficie esterna dell'atmosfera, ed è assunta pari a 1367 W m^{-2} ;
- E_0 è l'*eccentricità*, pari al quadrato del rapporto tra la distanza media (r_0) e la distanza istantanea (r) tra la terra e il sole, e può essere calcolata per ogni giorno dell'anno come:

$$E_0 = (r_0/r)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cdot \cos(\Gamma) + 0.001280 \cdot \sin(\Gamma) + 0.000719 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma) + 0.000077 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma)$$

dove Γ è il *day angle*, calcolato come: $\Gamma = \frac{[2 \cdot \pi \cdot (J - 1)]}{365}$, essendo J il giorno giuliano;

- Λ è la latitudine (radianti);
- δ è la declinazione del sole, ovvero la latitudine alla quale il sole a mezzogiorno è allo zenith, ed è data da:

$$\delta(^{\circ}) = \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot [0.006918 - 0.399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0.070257 \cdot \sin(\Gamma) - 0.006758 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma) + 0.000907 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma) - 0.002697 \cdot \cos(3 \cdot \Gamma) + 0.00148 \cdot \sin(3 \cdot \Gamma)];$$

- ω è la velocità angolare della rotazione terrestre ($15^{\circ} \text{ h}^{-1} = 0.2618 \text{ radianti h}^{-1}$);
- t è il numero di ore prima (-) o dopo (+) il mezzogiorno solare.

Integrando la precedente equazione su tutta la durata del dì, si ottiene la radiazione solare extra-atmosferica giornaliera, K'_{ET} :

$$K'_{ET} = 2 \cdot I_{SC} \cdot E_0 \cdot \left[\cos(\delta) \cdot \cos(\Lambda) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot T_{hr})}{\omega} + \sin(\delta) \cdot \sin(\Lambda) \cdot T_{hr} \right]$$

dove T_{hr} e T_{hs} corrispondono, rispettivamente, al momento del sorgere e al momento del tramonto del sole (misurati rispetto al mezzogiorno solare) e possono essere calcolati come:

$$T_{hr} = -\frac{\cos^{-1}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\Lambda)]}{\omega}$$

$$T_{hs} = +\frac{\cos^{-1}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\Lambda)]}{\omega}$$

Per il calcolo della radiazione extra-atmosferica su un piano inclinato si fa ricorso al concetto di *piano equivalente* (Lee, 1964): "l'angolo di incidenza dei raggi solari su una superficie inclinata di latitudine Λ e longitudine Ω è uguale all'angolo di incidenza su un piano orizzontale in un punto posizionato su di un grande cerchio ad angolo retto rispetto al piano inclinato, spostato da esso di tanti gradi quanti sono quelli di inclinazione della superficie".

La differenza in longitudine tra il punto sulla originaria superficie inclinata e il piano equivalente, $\Delta\Omega$, è data da:

$$\Delta\Omega = \tan^{-1}\left[\frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\beta) \cdot \cos(\Lambda) - \sin(\beta) \cdot \sin(\Lambda) \cdot \cos(\alpha)}\right]$$

dove β è l'angolo di inclinazione della superficie (pendenza) e α è l'azimuth (esposizione) della superficie inclinata (considerato positivo in senso orario a partire dal nord).

La latitudine equivalente, Λ_{eq} , del piano orizzontale è:

$$\Lambda_{eq} = \sin^{-1}[\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\Lambda) + \cos(\beta) \cdot \sin(\Lambda)]$$

Il momento del sorgere e quello del tramonto del sole per il piano equivalente risultano essere pari a:

$$T_{sr} = -\frac{\cos^{-1}[-\tan(\Lambda_{eq}) \cdot \tan(\delta)] - \Delta\Omega}{\omega}$$

$$T_{ss} = +\frac{\cos^{-1}[-\tan(\Lambda_{eq}) \cdot \tan(\delta)] - \Delta\Omega}{\omega}$$

Ricorrendo al concetto di *piano equivalente* risulta, dunque, possibile calcolare la radiazione extra-atmosferica giornaliera su un piano inclinato, pari a:

$$K_{ET} = I_{SC} \cdot E_0 \cdot \left\{ \cos(\Lambda_{eq}) \cdot \cos(\delta) \cdot \frac{[\sin(\omega \cdot T_{ss} + \Delta\Omega) - \sin(\omega \cdot T_{sr} + \Delta\Omega)]}{\omega} + \sin(\Lambda_{eq}) \cdot \sin(\delta) \cdot (T_{ss} - T_{sr}) \right\}$$

Mediante tali relazioni, a partire dai valori di pendenza ed esposizione, è stata calcolata per ciascun giorno dell'anno la radiazione extra-atmosferica nei 14 siti sperimentali.

Nel passaggio attraverso l'atmosfera, la radiazione solare va incontro ad una riduzione a causa dell'assorbimento e della riflessione da parte dei gas e delle particelle solide presenti.

Il rapporto tra la radiazione diretta che raggiunge la superficie terrestre (K_{dir}) e la radiazione extra-atmosferica prende il nome di trasmittanza atmosferica (τ):

$$K_{dir} = \tau * K_{ET}$$

e dipende dalle condizioni atmosferiche, ad esempio dal contenuto di vapore acqueo.

I valori giornalieri della trasmittanza atmosferica per l'anno 2005 sono stati stimati per la stazione meteorologica di Ascea, risultando quest'ultima piuttosto rappresentativa della maggior parte dei siti sperimentali e disponendo per tale stazione dei valori misurati di radiazione solare diretta. Tali valori sono stati divisi per quelli di radiazione extra-atmosferica, calcolati per la stessa stazione di Ascea. I valori giornalieri di τ , così ottenuti, sono stati moltiplicati per quelli di radiazione extra-atmosferica calcolata per ciascun sito sperimentale, ottenendo i valori giornalieri di radiazione solare diretta al suolo.

Il regime radiativo così stimato, come quello termico, risulta differenziarsi tra i siti sperimentali (figura 6), a causa di una notevole variabilità nelle loro caratteristiche topografiche (pendenza ed esposizione).

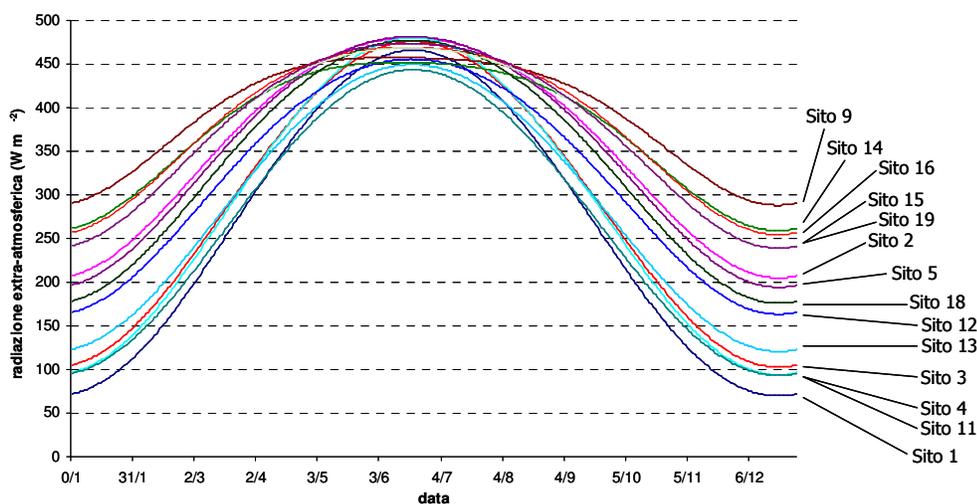


Figura 6. Andamento nel corso dell'anno 2005 della radiazione solare globale stimata per i 14 siti sperimentali.

3.4 IL SUOLO

Il suolo dei 14 siti di campionamento è stato caratterizzato dal Dipartimento di Scienza del Suolo, della Pianta e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Napoli Federico II nel corso di una campagna sperimentale che li ha interessati nell'anno 2003; i dati ottenuti, relativi alla pedologia e alle proprietà chimico-fisiche, sono stati gentilmente forniti dal Dr. Giuliano Langella.

Data l'impossibilità di aprire dei profili pedologici negli oliveti, il suolo di ciascun sito è stato caratterizzato mediante trivellate. La carota di terreno è stata estemporaneamente oggetto di stratificazione e di descrizione, quindi confezionata in sacchetti distinti per i differenti orizzonti.

I campioni così raccolti sono stati essiccati all'aria e sottoposti alle seguenti analisi chimiche e chimico-fisiche secondo le metodiche MiRAAF (1994): scheletro; pH; granulometria; conducibilità elettrica; carbonio organico; calcare totale; capacità di scambio cationico; basi di scambio; Fe, Al, Si e Mn estratti in ossalato d'ammonio acido e ditionito citrato.

Determinazione dello scheletro

Gli aggregati dei campioni di terreno, essiccati all'aria a temperatura ambiente, sono stati frantumati e setacciati a 2 mm per separare la terra fine dallo scheletro.

Determinazione potenziometrica del pH

Il pH è stato determinato per via potenziometrica mediante pH-metro con compensazione della temperatura, dopo taratura del sistema di misura su sospensioni 1:2,5 di:

- suolo-acqua;
- suolo-soluzione sali neutri di KCl

Determinazione della granulometria

La tessitura del suolo è stata determinata con l'idrometro (Patrino, 1997), che misura la densità della sospensione ai tempi prestabiliti. Dalle letture effettuate sul densimetro si perviene alla distribuzione delle particelle con diametro <50 µm nelle varie classi dimensionali; la determinazione della distribuzione delle particelle con diametro >50 µm si effettua per via ponderale, dopo aver raccolto su setaccio la sospensione sottoposta a sedimentazione.

Determinazione della conducibilità elettrica

Dopo un'agitazione meccanica dell'estratto acquoso 5:1 ed una filtrazione, è stata effettuata la misura della conduttanza mediante un conduttivimetro.

Determinazione del carbonio organico

Il contenuto in carbonio organico è stato determinato secondo il metodo Walkley-Black.

Determinazione del calcare totale

La determinazione gas-volumetrica della CO₂ che si svolge trattando il campione con acido cloridrico è stata eseguita con il calcimetro di Dietrich-Fruehling.

Determinazione della capacità di scambio cationico

La determinazione della capacità di scambio cationico (CSC) è stata realizzata con il metodo del cloruro di bario e trietanolamina, mediante retro-titolazione della soluzione limpida con EDTA.

Determinazione delle basi di scambio

Dalla soluzione limpida conservata nel corso della determinazione della CSC, è stata preparata la diluizione per le letture spettrometriche all'ICP-AES (modello Liberty 150, Varian).

Determinazione di Fe, Al, Si e Mn

Le estrazioni di Fe, Al, Mn e Si in ossalato d'ammonio (Fe_{ox}, Al_{ox}, Mn_{ox}, Si_{ox}) ed in ditionito-citrato (Fe_d, Al_d, Mn_d, Si_d) sono state effettuate rispettivamente secondo il metodo di Schwertmann (1964) e Bascomb (1968) ed i contenuti in Fe, Al, Si e Mn sono stati determinati tramite spettrometria di emissione atomica con sorgente al plasma induttivo (ICP-AES).

La composizione granulometrica degli orizzonti di suolo individuati nei 14 siti indagati è riportata in **tabella 5**.

Tabella 5. Tessitura e contenuto di sostanza organica del suolo nei siti sperimentali.

Sito	Orizzonte	Scheletro	Sabbia molto grossa	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fine	Sabbia molto fine	Limo	Argilla	s.o.
			(mm 2-1)	(mm 1-0,5)	(mm 0,5-0,25)	(mm 0,25-0,1)	(mm 0,1-0,05)	(mm 0,05-0,002)	(mm <0,002)	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	A (0-25 cm)	42,7	7,5	10,7	8,4	9,3	8	40,5	15,6	4,47
2	A (0-20 cm)	7,4	3	8,1	9	11,1	7,5	37,7	23,6	4,13
	B (20-60 cm)	19,4	1,9	6,7	9,1	11,6	6,7	36,4	27,6	2,73
3	A (0-20 cm)	35,6	10	13,3	11,2	13,4	9,4	29,7	12,9	0,538
	B1 (20-40 cm)	30	7,3	12,9	12,5	15	10,7	30	11,6	0,624
	B2 (40-80 cm)	31,6	5,2	7,6	11,1	11,2	8	34,9	21,8	0,691
4	A (0-15 cm)	5,9	0,8	4,1	6,1	8,8	5,4	27,6	47,2	1,91
	B1 (15-60 cm)	10,1	0,2	2,5	4,3	6,6	3,9	23,9	58,5	1,18
	B2 (60-80 cm)	5,8	3,8	12,7	12,7	13,2	6,7	25,3	25,7	0,38
5	A (0-50 cm)	40,3	2,7	5,9	7	11,5	10,6	40,5	21,8	3,99
9	A (0-20 cm)	16,8	8,6	14,6	14	13	7,5	24,5	17,9	1,34
	B1 (20-40 cm)	19,1	6,7	12,7	13,5	14,2	8,6	23,2	21,2	0,47
	B2 (40-60 cm)	17,6	8	12,4	13,2	13,1	8,4	23,9	21,2	0,4
11	A1 (0-15 cm)	54,1	13	13,9	11	11,2	8	26,7	16,2	1,87
	A2 (15-40 cm)	57,7	11,2	13,3	10,3	10,2	7	27,8	20,2	1,13
	Ap (0-15 cm)	40,8	9,2	10,8	7,6	9,3	8	31	24,13	2,65
12	B1 (15-35 cm)	39,8	1,9	4,5	4,5	9,9	12,4	29,2	37,55	0,51
	B2 (35-55cm)	34,7	5,4	7,9	8,8	12,5	10	27,4	28	0,3
	B3 (55-75 cm)	41,3	6,9	6,6	7,2	10	10	28,7	30,8	0,28
	C1 (75-85 cm)	17,4	7,8	13,3	12,5	14,3	9,3	17,9	25,1	0,4
	C2 (85-95 cm)	34,8	10,2	12,2	10,2	13	10,3	20	24,1	0,22
13	A (0-10)	40,9	3,7	9	6,9	8,2	7,8	46,1	18,4	1,02
	B1 (10-35)	47,4	4,4	7,1	5,9	7,2	6,4	56	13,1	4,42
	B2 (35-60)	57	2,3	4,6	4	5,1	4,4	49,9	29,8	1,41
14	A (0-20)	51	12,13	13,55	9,56	9,68	7,34	31,74	16,01	4,14
	B (20-40)	43,4	13,39	14,73	10,8	10,7	7,73	28,99	13,66	2,33
	A (0-20)	42,1	6,4	10,6	9,7	12,3	9,3	35,5	16,2	3,72
15	B1 (20-40)	50,7	6,4	10,5	7,7	9,2	7,1	28,1	31	1,64
	B2 (40-60)	45,6	4,4	8,9	9,3	12,2	9,1	30,1	26,1	1,07
	B3 (60-70)	34,4	6,5	10,3	9,1	11,5	8,3	37,7	16,6	0,84
16	Ap (0-20)	24,8	18,7	23,2	20,2	15,5	5,7	10,1	6,7	1,65
	B1 (20-40)	23,2	12,5	18,9	19,3	16,1	6,5	15,6	11,1	1,45
	B2 (40-80)	32,2	11,9	19,9	20,1	16,8	6,3	15,1	9,9	1
	B3 (80-100)	27,2	9	19,1	21	17,8	5,6	14,5	13	0,91
18	A (0-10)	48,2	0,3	1,7	5,3	10,8	7,5	33,2	41,2	5,8
	B (10-30)	47,2	3,4	2,2	4	9,2	8,2	34,5	38,5	4,85
19	A1p (0-20)	46,6	1,1	2,2	3,8	7,4	5,9	42,5	37,1	2,43
	A2 (20-50)	43,6	0,4	1,1	3,6	10,5	7	38,3	38,9	1,26
	B1 (50-90)	61,8	0,1	0,9	2,5	7,4	5	29,2	54,7	0,84
	B2 (90-100)	54,7	0,2	0,5	1,8	6	3,9	26,6	61,1	0,56

È possibile osservare, tra i siti sperimentali, una notevole variabilità per quanto riguarda la composizione granulometrica, così come per le altre proprietà fisico-chimiche indagate, alcune delle quali sono riportate in **tabella 6**.

Tabella 6. Alcune delle proprietà chimiche del suolo misurate su campioni prelevati nei siti sperimentali (media ponderata dei diversi orizzonti).

Sito	Calcare Totale (g/kg)	Conducibilità elettrica (dS/m)	pH		CSC (meq /100 g)	Basi di Scambio (meq /100 g)			
			in H ₂ O	in KCl		Mg	Na	Ca	K
1	3,9	0,2	7,0	7,0	17,0	1,2	0,1	17,5	1,0
2	5,5	0,1	5,6	4,6	21,1	0,9	0,0	8,2	1,1
3	4,9	0,1	6,4	4,9	15,2	0,5	0,1	14,3	0,3
4	6,0	0,1	5,9	4,4	8,0	1,6	0,5	7,6	0,7
5	81,3	0,2	7,8	7,1	22,6	1,4	0,2	25,2	1,4
9	0,0	0,1	6,5	5,2	10,0	0,8	0,3	6,9	0,3
11	0,0	0,1	7,2	5,7	15,7	0,8	0,2	17,2	0,2
12	48,5	0,1	8,3	7,1	15,8	0,5	0,1	20,4	0,2
13	203,6	0,8	7,7	7,0	16,3	0,8	0,2	25,0	1,0
14	125,1	0,1	8,3	7,3	13,6	0,8	0,1	20,3	0,7
15	1,3	0,2	7,5	6,2	14,9	1,4	1,1	15,6	0,8
16	0,0	0,0	6,7	5,4	7,4	0,5	0,2	6,3	0,3
18	193,3	0,2	8,2	7,0	37,3	7,7	0,2	30,2	1,3
19	0,0	0,1	8,1	7,0	6,8	1,0	0,2	16,8	1,1

A partire dai dati misurati di composizione granulometrica e contenuto di sostanza organica, le proprietà idrauliche sono state stimate per ciascun orizzonte mediante funzioni di pedotransfer.

Le funzioni di pedotransfer correlano proprietà del suolo complesse con dati più facili da determinare quali la tessitura, il contenuto di sostanza organica, la densità apparente, rappresentando un'alternativa alla misura diretta delle proprietà idrauliche del suolo, complessa e dispendiosa in termini di tempo, soprattutto su campioni indisturbati.

Nel presente studio si è fatto ricorso alle funzioni di pedotransfer messe a punto nell'ambito del progetto HYPRES (HYdraulic PROPERTIES of European Soils), fondato dall'Unione Europea e coinvolgente 20 istituzioni di 12 Paesi europei. Si tratta di un amplissimo database che, mettendo insieme le proprietà idrauliche con dati più facilmente misurati su campioni di suolo ubicati in numerose nazioni, ha consentito di ottenere funzioni di pedotransfer applicabili su scala europea.

Le proprietà idrauliche di ciascun orizzonte sono state definite attraverso i parametri caratteristici delle curve di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica in suolo insaturo secondo il modello di Mualem-Van Genuchten, che sarà descritto nel § 3.6.3.

Le **figure 7 e 8** mostrano l'andamento, nei 14 siti sperimentali, delle funzioni di ritenzione idrica e i valori di conducibilità idraulica alla saturazione per gli orizzonti A e B, ricavati mediante funzioni di pedotransfer a partire dalle composizioni tessiturali.

Dalle immagini risulta evidente come le differenze nella composizione tessiturale e nel contenuto di sostanza organica tra i suoli dei siti di indagine si traducano in una ampia variabilità nelle loro proprietà idrauliche.

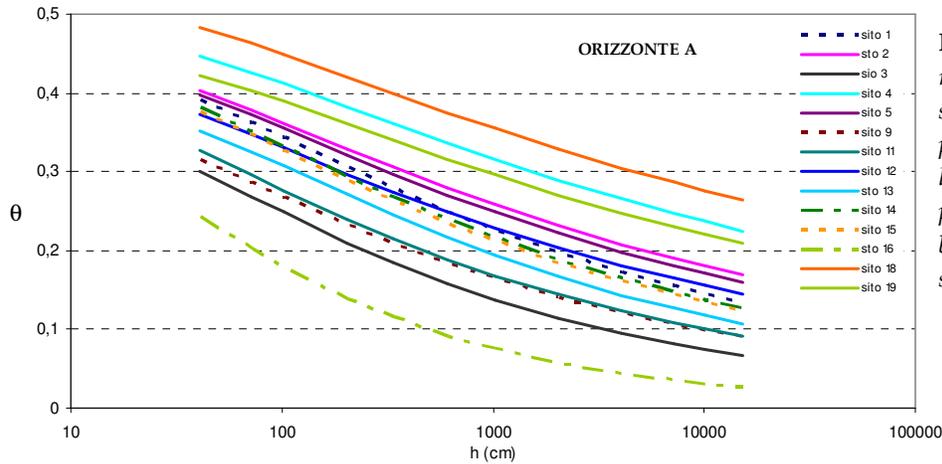


Figura 7. Funzioni di ritenzione idrica del suolo ricavate mediante pedotransfer per l'orizzonte A (in alto) e per l'orizzonte B (in basso) nei siti sperimentali.

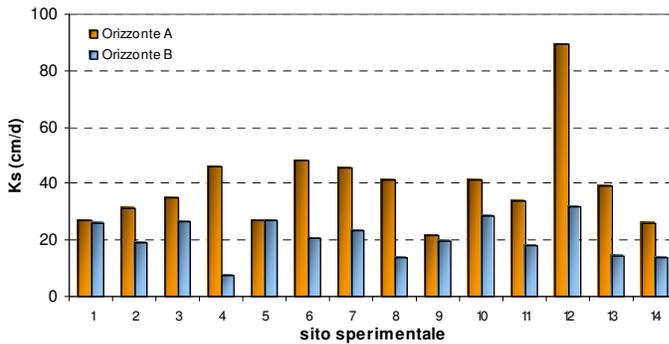
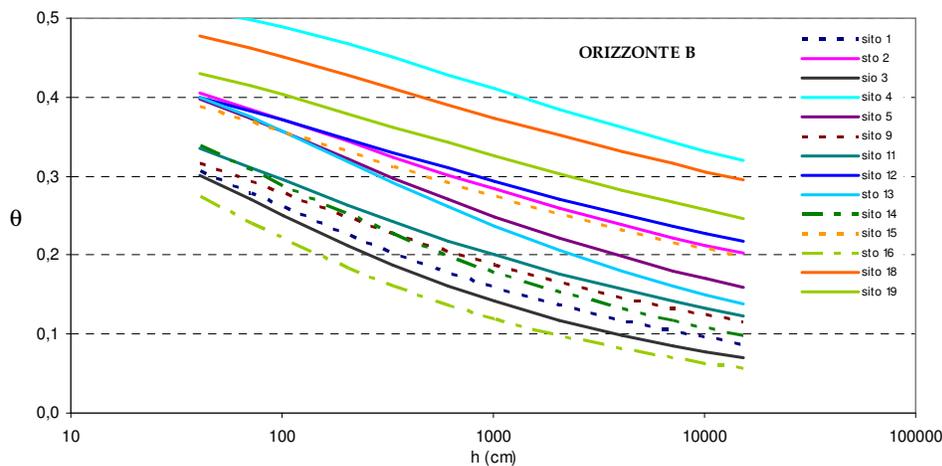


Figura 8. Valori di conducibilità idraulica alla saturazione stimati mediante pedotransfer per i primi due orizzonti di suolo nei 14 siti sperimentali.

3.5 PARAMETRI VEGETAZIONALI

Sono stati presi in considerazione e misurati due parametri vegetazionali caratterizzanti ciascun sito di coltivazione: l'Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index, LAI) e la copertura del suolo da parte della vegetazione (Soil Cover, SC).

3.5.1 Soil Cover

La copertura del suolo da parte della vegetazione è stata stimata in campo mediante misura delle distanze d'impianto e stima da terra del raggio della chioma. Si tratta, ovviamente, di una stima

piuttosto grossolana, dato che le misure sono state effettuate esclusivamente da terra e che le distanze d'impianto e la geometria della chioma si sono dimostrate molto irregolari.

3.5.2 Indice di Area Fogliare

L'Indice di Area Fogliare (LAI) è sicuramente un parametro importante nello studio e nella modellazione delle interazioni tra vegetazione ed atmosfera; di conseguenza risulta essenziale disporre di un metodo rapido, affidabile e obiettivo per la sua stima.

Il concetto di LAI è alquanto controverso, numerose essendo le definizioni e le interpretazioni di tale indice che sono state proposte nel tempo, a partire dalla prima definizione attribuitagli da Watson nel 1947: area totale di una delle due superfici del tessuto fotosinteticamente attivo per unità di area superficiale del terreno. Dal momento che questa definizione risulta non applicabile nel caso di foglie non piane, ma contorte o arrotolate, o nel caso di conifere con aghi cilindrici o semicilindrici (Chen e Black, 1992), alcuni autori hanno proposto di considerare l'area della proiezione dell'apparato fotosintetico in maniera da tener conto della forma irregolare di foglie o aghi (Smith, 1991). In questo caso, tuttavia, risulta decisiva la scelta dell'angolo di proiezione, e una proiezione verticale non sempre corrisponde al valore più alto. Myneni *et al.* (1997) hanno di conseguenza definito il LAI come la massima area fogliare proiettata per unità di area superficiale del terreno. Altri autori hanno invece sostituito il concetto di proiezione, accusato di non avere un significato né fisico né biologico, con quello di intercettazione della radiazione: Chen e Black (1992) hanno sostenuto che la metà dell'area intercettante totale per unità di area superficiale del terreno sarebbe stata una definizione di LAI più adatta a piante con foglie non piane rispetto all'area proiettata. Ancora altre definizioni di LAI sono state proposte e ciascuna può portare ad un valore misurato significativamente diverso dalle altre.

Sfortunatamente, questo parametro caratterizzante l'interfaccia tra vegetazione ed atmosfera risulta molto difficile da quantificare a causa della sua elevata variabilità spaziale (sia orizzontale che verticale) e temporale. Esistono, comunque, diversi metodi per la stima del LAI, classificabili in due categorie principali: metodi diretti e metodi indiretti, nei quali cioè il LAI è ricavato da parametri più facilmente misurabili in termini di tempo, carico di lavoro e tecnologia richiesti.

I metodi diretti sono indubbiamente i più accurati, ma i tempi estremamente lunghi richiesti per una misura diretta dell'area fogliare li rendono non adatti per un monitoraggio delle dinamiche vegetazionali e li relegano essenzialmente al ruolo di metodi di calibrazione.

Nei metodi indiretti l'area fogliare viene ricavata da misure di trasmissione della radiazione attraverso la chioma; sono metodi non distruttivi e sono basati su un approccio statistico e probabilistico alla distribuzione degli elementi fogliari (o del loro complemento, la *gap fraction*) nella vegetazione (Jones, 1992). Tali metodi fanno ricorso alla teoria del 'mezzo torbido', la quale assume che (1) le foglie siano distribuite in maniera casuale nella chioma, e (2) la dimensione della singola foglia sia piccola se comparata alla chioma. L'estinzione della radiazione in un mezzo torbido omogeneo è descritta dalla legge di Beer-Lambert: in un mezzo di questo tipo il flusso è attenuato in misura proporzionale alla distanza ottica. Monsi e Saeki (1953) hanno esteso la legge di Beer-Lambert alle chiome vegetali. La stima del LAI mediante inversione dell'equazione di Beer-Lambert richiede la misura sia della radiazione incidente (I_0) che della radiazione sotto-chioma (I).

Il LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA) è uno degli analizzatori disponibili in commercio in grado di misurare la frazione di radiazione trasmessa attraverso una copertura vegetale e di

calcolare da questa l'indice di area fogliare; si tratta di uno strumento portatile in grado di fornire stime immediate di LAI.

La teoria del LAI-2000 di basa sul concetto che la probabilità che un fascio di radiazione incidente venga intercettato dalla vegetazione è proporzionale alla lunghezza del percorso, alla densità del fogliame e all'orientamento di quest'ultimo (Li-Cor, 1992). Assumendo che gli elementi fogliari siano piccoli rispetto all'intera chioma e che siano distribuiti in maniera casuale nella regione attraverso cui il raggio passa, la probabilità che un raggio di direzione (θ, ϕ) (angolo zenitale θ , angolo azimutale ϕ) non venga intercettato dalla vegetazione risulta pari a:

$$T(\vartheta, \varphi) = \exp(-G(\vartheta, \varphi) * \mu * S(\vartheta, \varphi)) \quad (3.1)$$

dove $G(\theta, \phi)$ è la frazione di fogliame proiettato su un piano perpendicolare alla direzione (θ, ϕ) , μ è la densità della vegetazione (m^2 di foglie per m^3 di chioma) e $S(\theta, \phi)$ è la lunghezza del percorso attraverso la chioma.

Dal momento che i sensori ottici del LAI-2000 mediano su tutti gli angoli azimutali, è possibile eliminare la dipendenza da ϕ con l'intesa che tutte le quantità sono medie azimutali.

L'equazione (3.1) può essere riscritta per raggruppare le variabili incognite sul lato sinistro:

$$G(\vartheta) * \mu = -\frac{\ln(T(\vartheta))}{S(\vartheta)} = K(\vartheta) \quad (3.2)$$

I termini più facilmente misurabili della relazione sono raggruppati in $K(\theta)$, la frequenza di contatto (Miller, 1967). Questa è equivalente al numero medio di contatti per unità di lunghezza del percorso che una sonda avrebbe nell'attraversare la vegetazione all'angolo zenitale θ .

Miller (1967) propone una soluzione esatta per μ :

$$\mu = -2 \int_0^{\pi/2} \frac{\ln(T(\vartheta))}{S(\vartheta)} \sin \vartheta d\vartheta \quad (3.3)$$

Nel caso di copertura completa e di vegetazione omogenea, la densità della vegetazione è correlata all'indice di area fogliare per mezzo dell'altezza della vegetazione z , e la lunghezza del percorso S è correlata all'altezza della vegetazione per mezzo dell'angolo zenitale θ :

$$LAI = \mu * z \quad (3.4)$$

$$S(\vartheta) = \frac{z}{\cos \vartheta} \quad (3.5)$$

Sostituendo queste relazioni nell'equazione (3.3) si ottiene un'espressione per il LAI:

$$LAI = 2 \int_0^{\pi/2} -\ln(T(\vartheta)) \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta \quad (3.6)$$

Il LAI-2000 misura, per mezzo di un sensore *fish-eye*, la radiazione diffusa contemporaneamente in cinque distinti range angolari, con angoli zenitali centrali rispettivamente di 7, 23, 38, 53 e 68°.

Per ciascuno di questi angoli zenitali, $T(\theta)$ viene calcolato come rapporto tra la radiazione misurata sotto-chioma (I) e la radiazione incidente (I_0), misurata al di sopra della chioma. Un elevato contrasto tra vegetazione e cielo è ottenuto mediante un filtro che respinge la radiazione con lunghezze d'onda inferiori a 490 nm, allo scopo di minimizzare la radiazione riflessa o diffusa dalla vegetazione.

Un potenziale punto debole dell'approccio del LAI-2000 è dato dalla necessità di effettuare una lettura di riferimento *above canopy*, cosa che può comportare in alcune situazioni notevoli difficoltà pratiche: per colture molto alte, in cui la misura sopra-chioma è impossibile, bisogna trovare un'area aperta abbastanza grande (teoricamente con un diametro pari almeno a sette volte l'altezza della chioma); spesso un'area con queste caratteristiche è disponibile soltanto ad una certa distanza dalla coltura e il tempo necessario allo spostamento comporta un cambiamento delle condizioni di illuminazione.

Un altro accorgimento consiste nell'effettuare le misure in presenza di sola radiazione diffusa, cioè in condizioni di cielo uniformemente coperto o, in alternativa, durante le prime o ultime ore di luce.

Il LAI-2000, come tutti i metodi basati sulla trasmissione della radiazione, non misura propriamente l'indice di area fogliare, a causa dell'incapacità di distinguere tra tessuti fogliari fotosinteticamente attivi e altri elementi quali fusto, rami o fiori, per cui tutti gli elementi in grado di intercettare la radiazione sono considerati nel calcolo. Per questo motivo, le definizioni di *plant area index* (PAI) o di *surface area index* (SAI) sarebbero da preferire, a meno che non venga effettuata una correzione per rimuovere rami e fusti (Bréda, 2003).

Il LAI-2000 è stato utilizzato con successo per stime di LAI in colture continue ed omogenee, validate da misure dirette dell'area fogliare; in colture discontinue ed eterogenee lo strumento tende invece a sottostimare il LAI in misura variabile tra il 25% ed il 50% a seconda degli appezzamenti (Bréda, 2003). È concordemente riconosciuto che tale sottostima vada attribuita alla distribuzione non casuale degli elementi fogliari nell'ambito della chioma. L'entità dell'errore nella misura del LAI è legata alla deviazione dall'assunzione di una distribuzione casuale della vegetazione, deviazione a cui è stato dato il nome di 'clumping' (Nilson, 1971).

Diverse soluzioni sono state proposte per superare questo problema: la prima proposta è stata avanzata da Nilson (1971), il quale introdusse un fattore di correzione Ω nella formulazione della gap fraction. Chen *et al.* (1991) hanno introdotto il concetto di LAI efficace (L_e), che equivale al prodotto di Ω per L , dove L rappresenta il LAI reale (cioè il valore ottenuto mediante una misura diretta della superficie fogliare) e Ω rappresenta un *clumping index* che descrive la distribuzione non casuale della vegetazione. Quando la vegetazione presenta una distribuzione uniforme, Ω è pari ad 1; quando, invece, la vegetazione non è uniforme, ma aggregata, Ω ha un valore inferiore all'unità. Valori di Ω sono stati calcolati per diverse specie forestali (Bréda, 2003), mentre non si ritrovano in letteratura valori del *clumping index* relativi a specie arboree da frutto. Non risulta, dunque, possibile ottenere stime affidabili di LAI per la coltura dell'olivo mediante il LAI-2000, non disponendo di valori di *clumping index* che consentano di correggere i valori forniti dallo strumento, basati sull'assunzione di una distribuzione uniforme della vegetazione, assunzione certamente non verificata per la coltura dell'olivo.

Valori di *clumping index*, e di conseguenza valori di LAI reale, possono essere ottenuti mediante processamento di immagini emisferiche. La **fotografia emisferica** è una tecnica utilizzata per lo studio dell'architettura della vegetazione (distribuzione, dimensioni e densità degli spazi vuoti) basata sull'attenuazione della luce e sul contrasto che si evidenzia nella foto tra cielo e vegetazione.



Figura 9. Immagine emisferica relativa ad uno dei siti di campionamento.

Le fotografie acquisite mediante una lente emisferica (fish-eye) coprono generalmente un campo visuale di 180°, realizzando una proiezione di una semisfera su un piano (**figura 9**). In una proiezione perfettamente equiangolare (corrispondente alla più semplice e comune geometria delle lenti) di un campo visuale di 180°, la risultante immagine circolare mostra una vista completa del cielo in tutte le direzioni, con lo zenith nel centro dell'immagine e l'orizzonte lungo il contorno. Sono stati sviluppati diversi software per il processamento di immagini emisferiche. Uno di questi è il software CAN-EYE, messo a punto dall'INRA-CSE di Avignone, che consente di ottenere parametri strutturali della vegetazione quali l'Indice di Area Fogliare (LAI) e l'Angolo di Inclinazione Medio delle Foglie (ALA) mediante la stima della *gap fraction* effettuata su una serie di immagini emisferiche.

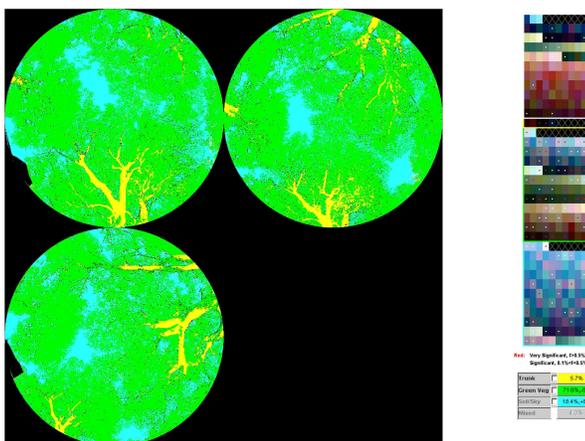


Figura 10. Classificazione dei pixel con il software CAN-EYE.

La *gap fraction* è stimata mediante tecniche di classificazione: i pixel vengono classificati, in base al colore e alla luminosità, in diverse categorie; le due categorie principali sono vegetazione e cielo (o suolo, nel caso in cui l'immagine venga scattata dall'alto verso il basso), alle quali possono essere

aggiunte categorie relative ad elementi fotosinteticamente non attivi, quali tronco, fiori, frutti o vegetazione senescente (**figura 10**).

Uno dei principali problemi dell'impiego della fotografia emisferica per la stima del LAI è dato dalla selezione del valore limite di luminosità che consente di distinguere in maniera migliore l'area delle foglie dall'area del cielo in modo da produrre un'immagine binaria. Con una camera digitale ad alta risoluzione la scelta di tale valore limite risulta meno critica, dal momento che la frequenza dei pixel misti è ridotta rispetto a camere con una risoluzione inferiore (Blennow, 1995). L'immagine è suddivisa in settori in base alla risoluzione angolare indicata dall'operatore (sia per gli angoli zenitali che per gli angoli azimutali), per ciascuno dei quali viene calcolata la *gap fraction* come rapporto tra numero di pixel appartenenti alla categoria 'Suolo/Cielo' e numero totale di pixel (**figura 11**).

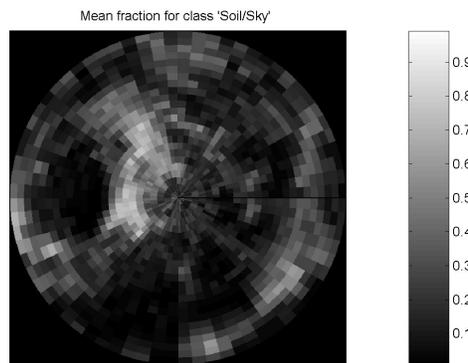


Figura 11. Suddivisione dell'immagine in settori angolari e calcolo della *gap fraction* per ciascun settore.

Indice di Area Fogliare e Angolo di Inclinazione Medio delle Foglie (ALA) sono calcolati mediante il ricorso ad una look-up-table (LUT), cioè ad una tabella costituita dai valori di *gap fraction* in corrispondenza di differenti valori di LAI e ALA.

Nilson (1971) dimostrò, a partire da evidenze sia teoretiche che empiriche, che la *gap fraction* in una direzione visuale definita dall'angolo zenitale θ_v e dall'angolo azimutale φ_v , può essere espressa come una funzione esponenziale del LAI anche quando le assunzioni del 'mezzo torbido' omogeneo non sono soddisfatte:

$$P_0(\theta_v, \varphi_v) = e^{-K(\theta_v, \varphi_v) * LAI}$$

$K(\theta_v, \varphi_v)$ è un coefficiente di estinzione, espresso come:

$$K(\theta_v, \varphi_v) = \lambda_0 * G(\theta_v, \varphi_v) / \cos(\theta_v)$$

dove:

- λ_0 è il *clumping index*. Quando $\lambda_0 < 1$, la vegetazione è aggregata (tipicamente, una foresta di conifere); quando $\lambda_0 = 1$, le foglie sono distribuite uniformemente (tipicamente, un prato omogeneo); quando $\lambda_0 > 1$, la vegetazione è disposta in maniera regolare (tipicamente, una coltura di soia);
- $G(\theta_v, \varphi_v)$ è la funzione di proiezione, cioè la proiezione media della vegetazione nella direzione (θ_v, φ_v) , definita come:

$$G(\theta_v, \varphi_v) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} |\cos \psi| g(\theta_L, \varphi_L) \sin \theta_L d\theta_L d\varphi_L$$

$$\cos \psi = \cos \theta_v \cos \theta_L + \sin \theta_v \sin \theta_L \cos(\varphi_v - \varphi_L)$$

dove $g(\theta_L, \varphi_L)$ è la funzione di probabilità che descrive la distribuzione dell'orientamento delle foglie. Questo comporta le due condizioni di normalizzazione seguenti:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} g(\theta_L, \varphi_L) \sin \theta_L d\theta_L d\varphi_L = 1$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} G(\theta_v, \varphi_v) \sin \theta_v d\theta_v d\varphi_v = 1/2$$

La variazione azimutale dell'orientamento delle foglie è spesso assunta uniforme, cioè la funzione di probabilità $g(\theta_L, \varphi_L)$ dipende solo dall'angolo zenitale delle foglie. Questa assunzione è verificata in molte colture, ma può risultare problematica per piante eliotropiche quali il girasole (Andrieu e Sinoquet, 1993). Con questa assunzione, diversi modelli sono proposti in letteratura (Weiss *et al.*, 2004). Comunque, a causa della difficoltà di determinare accuratamente la reale funzione di distribuzione dell'inclinazione delle foglie da misure di *gap fraction*, il più semplice modello di distribuzione è ritenuto generalmente sufficiente. La distribuzione ellissoidale (Campbell, 1990) è la più semplice e flessibile dal momento che richiede solo un parametro. Inoltre, la distribuzione ellissoidale consente di rappresentare il caso particolare di una distribuzione sferica, che è ampiamente utilizzata per descrivere la reale inclinazione fogliare di molte colture. Dunque, in queste condizioni, l'angolo medio di inclinazione è sufficiente per caratterizzare la funzione di distribuzione dell'angolo fogliare.

La LUT viene creata utilizzando un *clumping factor* pari ad 1 ed una distribuzione ellissoidale dell'inclinazione delle foglie. Solo due parametri sono, quindi, richiesti per descrivere l'architettura fogliare: l'Indice di Area Fogliare (LAI) e l'Angolo di Inclinazione Medio delle Foglie (ALA). La LUT comprende 50.000 casi, con una distribuzione casuale di LAI tra 0 e 9 e di ALA tra 0 e 90°.

Data una *gap fraction* misurata, l'algoritmo calcola una funzione di errore tra il valore misurato e quello simulato di *gap fraction* per tutti i 50.000 casi; tale funzione di errore C per ciascun elemento k della LUT è calcolata come:

$$C_k = \sqrt{\sum_i w_i (P_{LUT}^i - P_{meas}^i)^2}$$

dove:

- P_{meas}^i e P_{LUT}^i sono i valori di *gap fraction* rispettivamente misurato e calcolato dalla LUT nel settore di immagine i;
- w_i è il peso attribuito a ciascun settore di immagine in considerazione del fatto che alcuni settori possono contenere molti pixel mascherati (che l'operatore ha cioè tagliato dall'immagine perché rappresentanti oggetti estranei, come case, recinzioni, operatore stesso,...) e, quindi, la corrispondente *gap fraction* potrebbe non essere molto rappresentativa dell'intera immagine:

$$w_i = \frac{Npix_i - Nmask_i}{Npix_i}$$

dove $Npix_i$ e $Nmask_i$ sono rispettivamente il numero totale di pixel ed il numero di pixel mascherati nel settore i .

Essendo w_i un peso attribuito a ciascuno scarto quadratico allo scopo di calcolarne una media ponderata, vige la condizione di normalizzazione $\sum_i w_i = 1$.

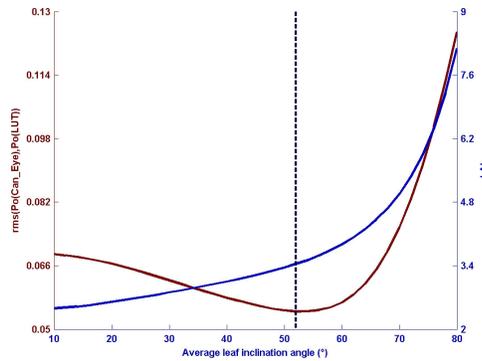


Figura 12. Andamento della funzione di errore e del LAI in funzione dell'angolo di inclinazione medio delle foglie.

I valori della funzione di errore C_k sono distribuiti secondo un ordine crescente e vengono prese in considerazione le prime 200 soluzioni. I valori di LAI e di ALA sono calcolati come media delle prime 200 soluzioni.

I valori di LAI efficace e di ALA calcolati mediante la look-up-table sono, quindi, utilizzati per calcolare il valore del *clumping factor* per ciascuno degli angoli zenitali (**figura 13**).

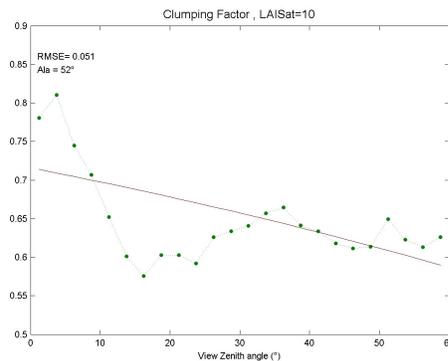


Figura 13. Andamento del *clumping factor* in funzione dell'angolo zenitale.

Il *clumping factor* così calcolato consente di ottenere il valore di LAI reale a partire dal valore di LAI efficace.

L'operatore può scegliere il range angolare di interesse, il range di angoli zenitali per il quale, cioè, calcolare, come media, il valore di LAI. È consigliabile limitare l'analisi al range 0-60°, dal momento che, per angoli zenitali maggiori, gli elementi sono molto distanti rispetto alla camera se confrontati con quelli posti su direzioni più vicine allo zenith, i vuoti (gaps) sono quindi molto piccoli, ponendo seri problemi di classificazione (Jonckheere *et al.*, 2004). Al LAI calcolato per il range 0-60° spesso viene preferito il valore relativo al solo angolo zenitale di 57.5° dal momento che quest'ultimo (che il software CAN-EYE è in grado di fornire) risulta meno dipendente dal carattere aggregato della vegetazione. Diversi lavori hanno mostrato come la *gap fraction* a 57.5° sia

indipendente dalla funzione di distribuzione dell'inclinazione fogliare (Welles e Norman, 1991) e sia in grado di fornire una stima indiretta del LAI.

Martinez *et al.* (2004) hanno confrontato le misure di LAI effettuate con il LAI-2000 con quelle ottenute mediante processamento di immagini emisferiche utilizzando il software CAN-EYE. Il confronto è stato effettuato per numerose colture erbacee così come per vite e colture arboree da frutto. Con l'eccezione della coltura più fitta (patata) e di quella meno fitta (aglio), è stata osservata una buona concordanza tra i valori misurati dal LAI-2000 ed i valori di LAI efficace relativi all'angolo zenitale di 57.5° ottenuti dal processamento di immagini emisferiche, con discrepanze inferiori al 25% ed in alcuni casi vicine allo zero. Le differenze maggiori tra i due metodi sono state osservate per le colture di patata e di aglio; in entrambi i casi la misura effettuata con il LAI-2000 forniva un valore circa doppio rispetto a quella ottenuta da immagini emisferiche. Per quanto riguarda la coltura di aglio, era rilevante la presenza di vegetazione senescente, per la quale non è stato possibile effettuare alcuna correzione nel caso del LAI-2000 e che invece è stata considerata come vegetazione non fotosinteticamente attiva nel processo di classificazione delle immagini.

Un confronto è stato anche effettuato tra i valori di LAI 57.5° calcolati a partire dalle stesse immagini da operatori differenti. La concordanza è nel complesso buona, tuttavia differenze significative si sono verificate per immagini scattate dall'alto verso il basso, a causa di difficoltà di discriminare tra elementi verdi e non verdi, per immagini relative a colture molto fitte, per le quali risulta difficoltoso distinguere i pixel verdi da quelli non verdi a causa delle ombre proiettate dalla vegetazione, e per colture con elementi molto piccoli, qual è il caso del prato, a causa della considerevole presenza di pixel misti.

Nel complesso, la fotografia emisferica si è dimostrata in grado di fornire stime accurate dei parametri biofisici delle colture, con considerevoli vantaggi rispetto ad altri metodi indiretti, quali la possibilità di effettuare misure anche in presenza di radiazione diretta e anche per colture molto alte, per le quali risulterebbero impossibili misure sopra-chioma, la possibilità di non considerare gli elementi fotosinteticamente non attivi, quali tronco o vegetazione senescente, la possibilità di tener conto del carattere aggregato della vegetazione. Il punto debole dell'utilizzo della fotografia emisferica per la stima del LAI è rappresentato dal processo di classificazione dell'immagine, che risulta alquanto soggettivo, essendo legato al criterio utilizzato dall'analista per distinguere tra elementi verdi e non verdi.

La misura dell'Indice di Area Fogliare nei 14 siti presi in esame in questo studio è stata effettuata mediante processamento di immagini emisferiche utilizzando il software CAN-EYE, versione 3.6, disponibile gratuitamente per scopi di ricerca.

Preventivamente alla misura nei siti di interesse, è stato effettuato un confronto tra le misure di LAI effettuate con il LAI-2000 e quelle ottenute mediante processamento di immagini emisferiche su una coltura di mais, non essendo possibile utilizzare il LAI-2000 sulla coltura dell'olivo per i motivi di cui si è fatto cenno in precedenza.

Successivamente si è proceduto alla stima del LAI per i siti di interesse mediante processamento di immagini emisferiche scattate con una camera Nikon Coolpix 5700 (Nikon Corporation, Tokyo, Japan). In ciascun sito sono state scattate 12 fotografie, distribuite in maniera uniforme tra filari ed interfilari in maniera da risultare rappresentative dell'intero appezzamento.

Il processo di classificazione dell'immagine è stato effettuato suddividendo i pixel in 3 categorie (cielo; vegetazione verde; tronco) con una risoluzione angolare di $2,5^\circ$ per gli angoli zenitali e 5° per gli angoli azimutali.

È stato scelto di utilizzare il valore di LAI stimato dal software per l'angolo zenitale di $57,5^\circ$, meno dipendente dal carattere aggregato della vegetazione rispetto al valore medio relativo al range angolare zenitale $0-60^\circ$.

I valori ottenuti hanno mostrato un'ampia variabilità tra i siti sperimentali, attribuibile a differenze sia nelle dimensioni della chioma e nella densità del fogliame, sia nelle distanze d'impianto. La superficie della proiezione della chioma e la distanza d'impianto sono risultate molto variabili, influenzando così in maniera rilevante i valori di Soil Cover e di Indice di Area Fogliare stimato a livello di parcella.

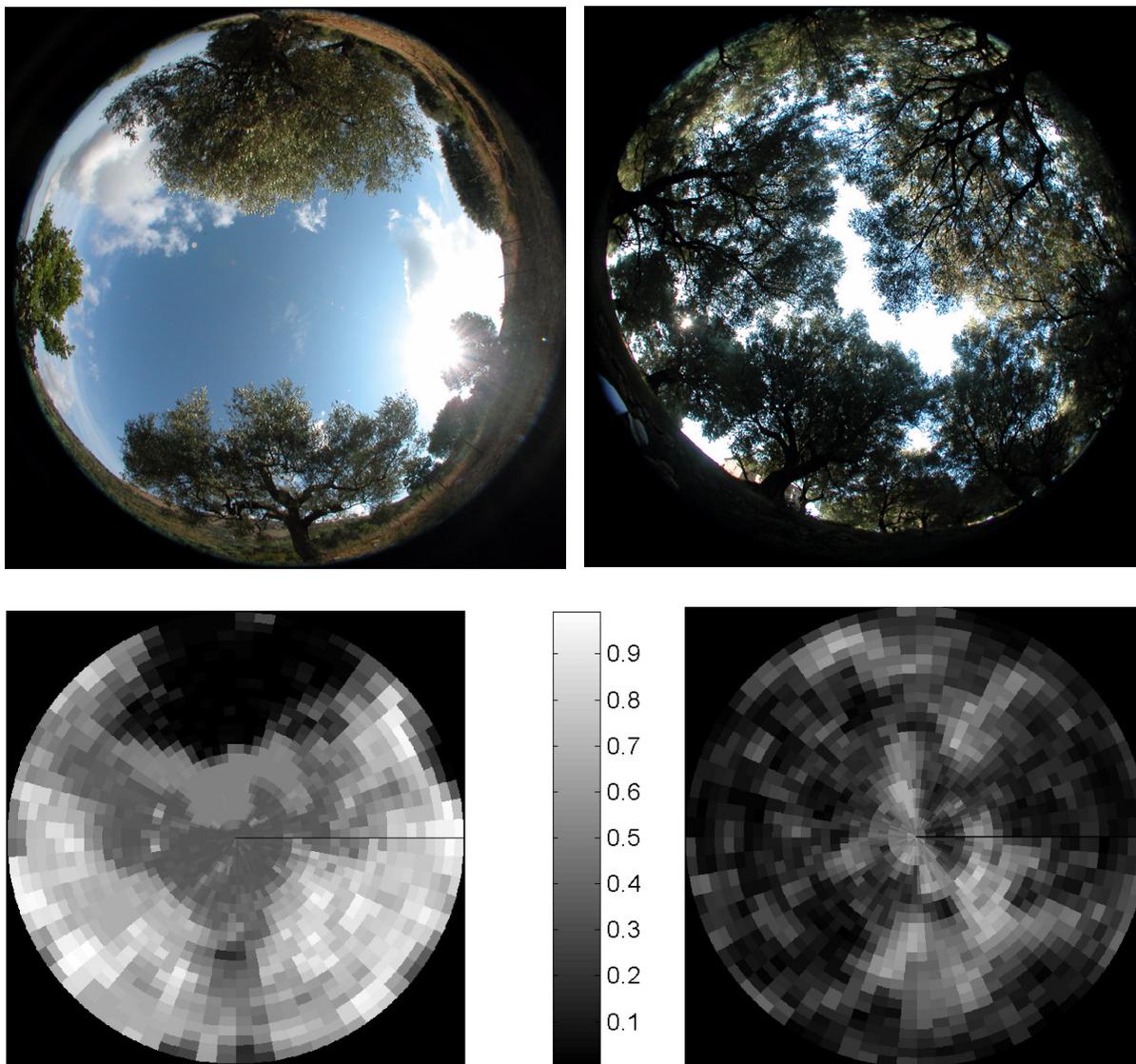


Figura 14. Immagini emisferiche e stima della gap fraction per ciascun settore angolare relative ai siti 18 (a sinistra) e 13 (a destra), caratterizzati da valori molto differenti di Soil Cover.

Tale variabilità appare evidente già ad una osservazione visiva delle immagini emisferiche scattate in due siti con valori di Soil Cover molto differenti: in **figura 14** sono mostrate, a titolo di esempio,

due immagini relative ai siti 18 e 13, caratterizzati da valori di Soil Cover rispettivamente molto basso (0,22) e molto alto (0,84); nella stessa figura sono riportate le immagini relative alla gap fraction calcolata per gli stessi due siti dal software CAN-EYE per ciascun settore angolare come rapporto tra numero di pixel appartenenti alla categoria "cielo" e numero totale di pixel.

Il fatto che non solo la densità del fogliame ma anche, e forse soprattutto, la copertura del suolo giochino un ruolo fondamentale nel determinare il valore di Indice di Area Fogliare nei siti oggetto di studio appare evidente anche dalla **figura 15**, dove sono mostrati per tutti i siti i valori di Soil Cover e di LAI parcellare.

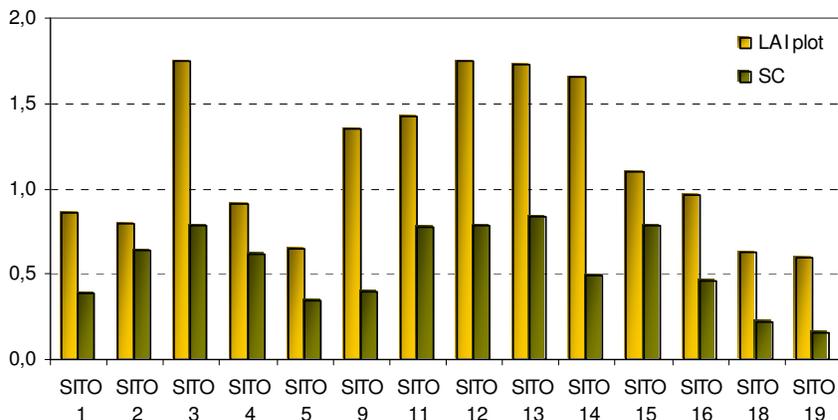


Figura 15. Valori di LAI parcellare e di Soil Cover stimati per i siti sperimentali.

Oltre che a scala di parcella, il valore di LAI è stato stimato anche a livello di singola pianta. In questo caso, piuttosto che immagini relative sia ai filari che agli interfilari, sono state utilizzate porzioni di immagine relative alla sola chioma dell'albero da cui è stato effettuato il campionamento delle olive.

Rispetto al LAI parcellare, fornisce un diverso tipo di informazione: mentre il valore del LAI plot risente fortemente anche dell'influenza di proiezione della chioma e distanza d'impianto, il valore del LAI single tree dipende esclusivamente dell'altezza della chioma e della densità di vegetazione. L'andamento del LAI single tree nei diversi siti (**figura 16**) appare, infatti, differente rispetto a quello del LAI plot.

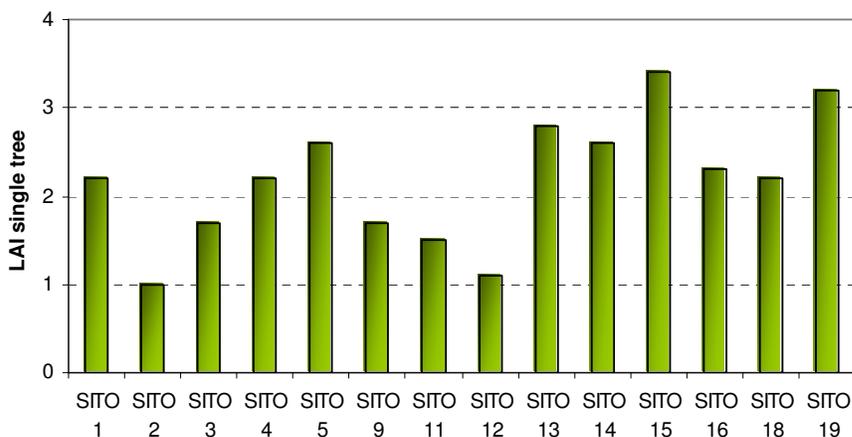


Figura 16. Valori di LAI single tree stimati per i siti sperimentali.

3.6 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE DI BILANCIO IDROLOGICO

3.6.1 Equazione del moto dell'acqua nel suolo

I dati raccolti in ciascun sito relativamente alle caratteristiche del suolo, al clima e ai parametri vegetazionali sono stati utilizzati per effettuare simulazioni di bilancio idrologico.

È stato impiegato, a tal fine, il modello SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant environment), messo a punto presso la Wageningen Agricultural University, basato sulla simulazione numerica del flusso dell'acqua nel sistema continuo suolo-pianta-atmosfera. Il movimento dell'acqua in tale sistema avviene in risposta a gradienti di potenziale ed è, dal modello SWAP, assunto unidirezionale. Allo scopo di ridurre l'impegno di calcolo, vengono, cioè, trascurati i flussi laterali. L'equazione di Darcy viene utilizzata per descrivere questo moto (Van Dam *et al.*, 1997). Per un flusso verticale unidirezionale, la legge di Darcy può essere scritta come:

$$q = -k(h) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (3.7)$$

dove q è la velocità di infiltrazione (cm d^{-1}), k è la conducibilità idraulica (cm d^{-1}), che in un suolo insaturo è funzione del potenziale di pressione h , e H è il potenziale totale riferito all'unità di peso di acqua (cm).

Nell'ipotesi in cui si possa trascurare la componente osmotica, H è pari alla somma del potenziale di pressione h e della quota z :

$$H = h + z \quad (3.8)$$

Alla legge di Darcy si affianca l'equazione di continuità, che, considerando un flusso verticale unidirezionale, può essere scritta nella forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(h) \quad (3.9)$$

dove θ è il contenuto idrico volumetrico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) ed S è la portata estratta dalle radici da un'unità di volume di suolo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$).

Dalla combinazione delle equazioni (3.7), (3.8) e (3.9) si ottiene la seguente relazione, nota come equazione di Richards (Richards, 1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \left[k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S(h) \quad (3.10)$$

dove C è la "capacità capillare", definita come $\frac{\partial \theta}{\partial h}$.

La descrizione dell'attingimento radicale non è affatto semplice: l'apparato radicale ha una geometria molto complessa e irregolare, inoltre questa geometria non è stabile nel tempo, ma si evolve continuamente in risposta a vari fattori, per cui una sua descrizione dettagliata a livello "microscopico" è praticamente impossibile. Sono, dunque, proponibili solo approcci di tipo "macroscopico", i quali presentano il vantaggio di non richiedere una visione completa del processo fisico di assorbimento radicale e, quindi, di eliminare la necessità di parametri riguardanti il suolo e la pianta, difficili da ottenere.

Nell'approccio di tipo macroscopico si prendono in considerazione solo parametri globali; inoltre si assume l'attingimento radicale diffuso in tutta la zona esplorata dalle radici ed espresso dalla portata idrica estratta per unità di volume di suolo variabile con continuità da punto a punto, in dipendenza non solo delle caratteristiche delle piante, ma anche dei valori locali di potenziale e contenuto d'acqua nel suolo e della domanda traspirativa dell'atmosfera (Santini, 1979; Santini *et al.*, 1990).

La portata potenziale estratta dalle radici da un'unità di volume di suolo ad una certa profondità, $S_p(z)$ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}\text{d}^{-1}$), può essere calcolata con la seguente formula (Bouten, 1992):

$$S_p(z) = \frac{l_{root}(z)}{\int_0^{z_r} l_{root}(z) dz} \cdot T_p \quad (3.11)$$

dove z_r è lo spessore di suolo occupato dalle radici (cm), $l_{root}(z)$ è la lunghezza delle radici in un'unità di volume di suolo (cm cm^{-3}) e T_p è la traspirazione potenziale (cm d^{-1}).

La distribuzione della densità radicale l_{root} lungo il profilo spesso non è nota, per cui si può effettuare una semplificazione e considerare costante la densità radicale lungo il profilo :

$$\frac{l_{root}(z)}{\int_0^{z_r} l_{root}(z) dz} = \frac{1}{z_r} \quad (3.12)$$

L'equazione (3.11) si semplifica dunque nel modo seguente :

$$S_p(z) = \frac{T_p}{z_r} \quad (3.13)$$

3.6.2 Simulazione delle condizioni di stress idrico

L'assorbimento radicale può essere inferiore a quello potenziale a causa di condizioni di eccesso o di carenza d'acqua e/o concentrazione salina eccessiva.

Si possono, quindi, introdurre dei coefficienti riduttivi dell'assorbimento potenziale $S_p(z)$: α_{rw} , che tiene conto dell'effetto dello stress idrico, e α_{rs} , che tiene conto dell'effetto della salinità. Entrambi hanno un valore compreso tra 0 e 1.

Non è ancora chiaro se, nel caso siano applicati entrambi gli stress, gli effetti siano additivi o moltiplicativi (Van Genuchten, 1987; Dirksen *et al.*, 1993; Shalhevet *et al.*, 1981). Nel modello SWAP si assume che lo stress idrico e quello dovuto alla salinità abbiano un effetto moltiplicativo. Questo

significa che l'assorbimento reale di acqua da parte delle radici $S_a(z)$ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}\text{d}^{-1}$) viene calcolato come:

$$S_a(z) = \alpha_{rw} \cdot \alpha_{rs} \cdot S_p(z) \quad (3.14)$$

Integrando $S_a(z)$ su tutto lo strato di terreno esplorato dalle radici si ottiene la traspirazione reale T_a (cm d^{-1}).

Si considera che S varia con continuità da punto a punto.

Diverse funzioni sono state proposte per descrivere l'effetto dello stress idrico sull'assorbimento di acqua da parte delle radici.

Si tratta di relazioni empiriche che descrivono l'assorbimento di acqua da parte della pianta basandosi sulla risposta al potenziale matriciale osservata.

La funzione più comune, nell'ambito dell'approccio macroscopico, è quella proposta da Feddes *et al.* (1978).

Tale funzione, utilizzata dal modello SWAP per la simulazione delle condizioni di stress idrico, è formulata come:

$$\alpha_{rw} = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \quad (3.15)$$

Il coefficiente α_{rw} è correlato al valore del potenziale di pressione h , come rappresentato in **figura 17**.

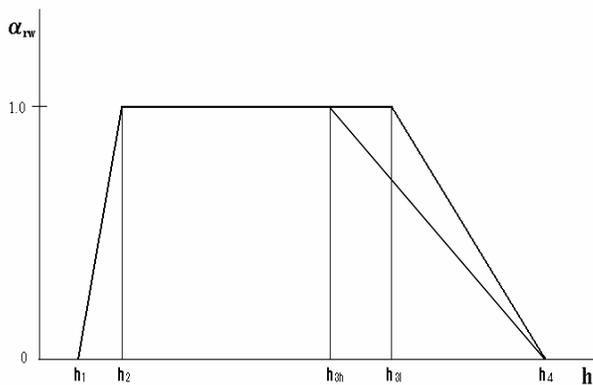


Figura 17. Rappresentazione grafica della funzione di attingimento idrico radicale in condizioni di stress idrico proposta da Feddes. Lungo l'asse delle ascisse il potenziale aumenta in valore assoluto.

Per valori di h compresi tra 0 e h_1 il suolo è saturo o molto vicino alla saturazione e le condizioni di asfissia radicale impediscono del tutto l'assorbimento.

A partire da h_1 comincia ad essere disponibile ossigeno per le radici, dunque si comincia ad avere assorbimento. Il valore di α aumenta rapidamente in maniera lineare fino a raggiungere il valore massimo (pari ad 1) in corrispondenza di h_2 .

Tra h_2 e h_3 la disponibilità di acqua è ottimale, per cui $\alpha = 1$. Ciò significa che l'assorbimento reale è uguale a quello potenziale. Si considerano due differenti valori di h_3 , uno valido in condizioni di elevata evapotraspirazione potenziale (convenzionalmente assunta pari a 5 mm/giorno nei nostri climi), l'altro valido in condizioni di bassa evapotraspirazione potenziale (intorno a 1 mm/giorno).

Tra h_3 e h_4 l'assorbimento radicale si riduce linearmente fino ad annullarsi per valori superiori ad h_4 . Per questi valori di potenziale la pianta si trova in condizioni di stress idrico. Oltre h_4 le radici non sono in grado di estrarre l'acqua dal suolo, condizione corrispondente al concetto di "punto di appassimento".

I valori critici del potenziale di pressione dipendono quindi dalla tolleranza della pianta allo stress e sono stati determinati per diverse colture (Wesseling, 1991; Taylor e Ashcroft, 1972).

Per quanto riguarda l'effetto della salinità sull'assorbimento radicale, la funzione proposta da Maas e Hoffman (1977) è stata calibrata per molte colture (Maas, 1990).

Questa funzione descrive l'andamento del coefficiente di riduzione dell'assorbimento radicale α_s , in funzione della conducibilità elettrica della soluzione circolante nel suolo EC_{sw} , e può essere rappresentata dalla **figura 18**.

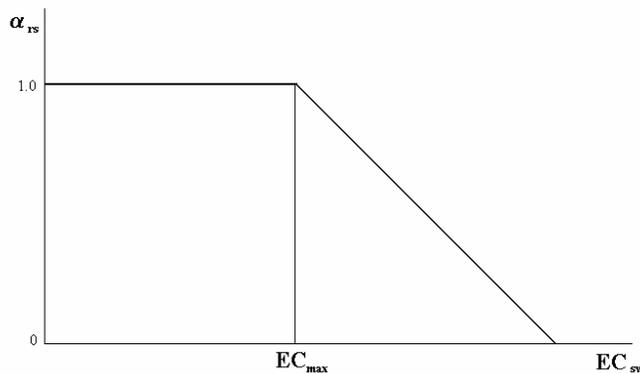


Figura 18. Rappresentazione grafica della funzione di attingimento idrico radicale in condizioni di salinità proposta da Maas e Hoffman.

3.6.3 Caratteristiche idrauliche del suolo

Per l'applicazione di un modello di simulazione di bilancio idrologico occorre disporre di informazioni riguardanti le proprietà idrauliche del suolo.

Le relazioni tra il contenuto idrico volumetrico θ , il potenziale di pressione h e la conducibilità idraulica k sono generalmente espresse mediante la funzione di ritenzione idrica $\theta(h)$ e la funzione di conducibilità idraulica in suolo insaturo $k(\theta)$.

E' preferibile utilizzare come dati di input per un modello le espressioni analitiche di queste relazioni piuttosto che i dati tabulari.

Equazioni analitiche per le relazioni $\theta(h)$ e $k(\theta)$ sono state ottenute confrontando valori sperimentali con un'equazione empirica.

Van Genuchten (1980) ha proposto un'equazione empirica per descrivere la curva di ritenzione idrica di un suolo :

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{\left(1 - |\alpha \cdot h|^n\right)^m} \quad (3.16)$$

dove: θ_{res} = contenuto idrico volumetrico residuo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)

θ_{sat} = contenuto idrico volumetrico alla saturazione ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)

$\alpha(\text{cm}^{-1})$, $n(-)$ ed $m(-)$ = parametri empirici

m può essere posto uguale a $1-1/n$.

Combinando l'equazione precedente con il modello di Mualem sulla conducibilità idraulica in suolo insaturo (1976), si ottiene l'espressione analitica della relazione $k(\theta)$:

$$k = k_{sat} \cdot Se^\lambda \cdot \left[1 - \left(1 - Se^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (3.17)$$

dove k_{sat} è la conducibilità alla saturazione (cm d⁻¹), λ è un parametro dimensionale che dipende da $\partial k / \partial h$ e Se è la saturazione relativa, definita come :

$$Se = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (3.18)$$

I parametri richiesti dal modello di Mualem-Van Genuchten possono essere stimati in base a dati sperimentali di $\theta(h)$ e $k(\theta)$. Sono disponibili valori tabulari di tali parametri per le classi tessiturali USDA (Carsel e Parrish, 1988).

La relazione $\theta(h)$ non è unica, ma varia tra un processo di inumidimento e uno di essiccamento. Questo fenomeno prende il nome di isteresi ed è dovuto a variazioni nel diametro dei pori, a differenze nel raggio tra il menisco che avanza e quello che retrocede, all'aria intrappolata, ai processi di rigonfiamento/contrazione (Hillel, 1998; Feddes *et al.*, 1988).

Se si utilizza il modello di Mualem-Van Genuchten, servono quattro parametri per descrivere la curva di ritenzione idrica: θ_{res} , θ_{sat} , α , n . Di questi, solo il parametro α assume diversi valori se si considera il fenomeno dell'isteresi: un valore (α_d) per il processo di essiccamento ed un altro (α_w) per il processo di inumidimento.

La relazione $k(\theta)$ non è influenzata significativamente dal fenomeno dell'isteresi, dunque si può considerare unica.

3.6.4 Implementazione del modello

La simulazione di bilancio idrologico è stata effettuata per ciascuno dei 14 siti di campionamento, su base giornaliera, per il periodo intercorrente tra il 20/01/2005 (giorno successivo ad un consistente evento piovoso) e il 14/10/2005 (inizio del periodo di raccolta).

Il modello SWAP richiede una serie di dati di input che riguardano le condizioni al contorno superiore, le condizioni al contorno inferiore dello strato esplorato dalle radici, le caratteristiche pedologiche e le proprietà idrauliche del suolo, i parametri colturali.

Condizioni al contorno superiore

Le condizioni al contorno superiore consistono in dati meteorologici che consentono di valutare gli scambi di acqua attraverso il limite superiore del profilo di suolo. Sono espresse attraverso i valori di precipitazione, cioè gli apporti di acqua al profilo, e quelli di evapotraspirazione, cioè la perdita di acqua sotto forma di vapore acqueo dalla superficie della vegetazione e dal suolo nudo.

L'evapotraspirazione (ET) è la somma dell'evaporazione da suolo nudo e della traspirazione dalla vegetazione.

In passato sono state proposte diverse formule empiriche per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale, cioè dell'ET di una coltura in condizioni idriche ottimali, basate su dati climatici facilmente disponibili, quali la temperatura dell'aria e la lunghezza del giorno (Blaney e Criddle,

1950), o la temperatura dell'aria e la radiazione solare (Turc, 1954; Jensen e Haise, 1963). Queste equazioni empiriche presentano lo svantaggio di risultare valide solo nelle condizioni microclimatiche in cui sono state ottenute e di essere difficilmente applicabili in zone differenti. Per questo motivo attualmente si preferiscono formule con una base fisica, che hanno una più ampia applicabilità.

Il metodo che attualmente viene considerato più valido per il calcolo dell'ET è quello di Penman-Monteith. Sulla scia del lavoro di Penman (1948), il quale aveva stimato l'evaporazione da uno specchio libero di acqua, utilizzandola poi come evaporazione di riferimento, Monteith (1965) ha ottenuto un'equazione che permette di calcolare sia l'ET di riferimento, sia quella potenziale, sia quella reale.

L'equazione di Penman-Monteith può essere scritta come :

$$\lambda_w * ET = \frac{10^{-4} * \Delta v * (R_n - G) + 8,64 * 10^6 * \rho_{air} * C_{air} * (e_{sat} - e_{act}) / r_a}{\Delta v + \gamma_{air} * \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (3.19)$$

dove :

λ_w = calore latente di evaporazione (J g⁻¹)

ET = evapotraspirazione (cm d⁻¹)

R_n = radiazione netta che arriva alla superficie vegetale (J m⁻² d⁻¹)

G = flusso di calore nel suolo (J m⁻² d⁻¹)

ρ_{air} = densità dell'aria (g cm⁻³)

C_{air} = calore specifico dell'aria a pressione costante (J g⁻¹ K⁻¹)

e_{sat} = pressione di vapore alla saturazione (kPa)

e_{act} = pressione di vapore reale (kPa)

r_c = resistenza colturale (s m⁻¹)

r_a = resistenza aerodinamica (s m⁻¹)

Δv = pendenza della curva di pressione di vapore = $\frac{\partial e_{sat}}{\partial T}$ (kPa K⁻¹)

γ_{air} = costante psicrometrica (kPa K⁻¹)

L'ET è data cioè dalla somma di un termine radiativo e un termine aerodinamico :

$$ET = ET_{rad} + ET_{aero} \quad (3.20)$$

Il termine radiativo è pari a :

$$ET_{rad} = \frac{10^{-4} * \Delta v * (R_n - G)}{\lambda_w * \left[\Delta v + \gamma_{air} * \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right) \right]} \quad (3.21)$$

La radiazione netta R_n è pari alla differenza tra la radiazione netta incidente ad onda corta R_{ns} ($\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e la radiazione netta ad onda lunga in uscita R_{nl} ($\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.22)$$

R_{ns} dipende dall'albedo o coefficiente di riflessione da parte della vegetazione $\alpha(-)$:

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \quad (3.23)$$

R_{nl} è la differenza tra la radiazione emessa da suolo e vegetazione verso l'atmosfera e la radiazione riflessa dall'atmosfera e dalle nuvole:

$$R_{nl} = \sigma_{sh} * T_{air,K} * \left(0,34 - 0,14 * \sqrt{e_{act}}\right) * \left(0,1 + 0,9 * N_{net}\right) \quad (3.24)$$

dove :

σ_{sh} = costante di Stefan-Boltzmann = $4.90 * 10^{-6}$ ($\text{J m}^{-2} \text{K}^{-4} \text{d}^{-1}$)

$T_{air,K}$ = temperatura assoluta dell'aria (K)

N_{net} = durata relativa di insolazione (-), che è calcolata come:

$$N_{net} = \frac{(T_{atm} - a)}{b} \quad (3.25)$$

dove :

T_{atm} = trasmissione atmosferica (-)

a, b = costanti empiriche (-), calcolate come :

$$a = 0,4885 - 0,0052 * L_g \quad (3.26)$$

$$b = 0,1563 - 0,0074 * L_g \quad (3.27)$$

dove L_g è la latitudine (gradi, N = +)

G può essere considerato trascurabile.

Il termine aerodinamico è pari a :

$$ET_{aero} = \frac{8,64 * 10^6 * \rho_{air} * C_{air} * (e_{sat} - e_{act})}{\lambda_w * \left[\Delta v + \gamma_{air} * \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right] * r_a} \quad (3.28)$$

Il calore latente di evaporazione λ_w (J g^{-1}) dipende dalla temperatura dell'aria T_{air} ($^{\circ}\text{C}$) (Harrison, 1963):

$$\lambda_w = 2,501 - 2,361 * 10^{-3} * T_{air} \quad (3.29)$$

Anche la pressione di vapore saturo e_{sat} (kPa) può essere calcolata dalla temperatura dell'aria (Tetens, 1930) :

$$e_{sat} = 0,611 * \exp\left(\frac{17,27 * T_{air}}{T_{air} + 237,3}\right) \quad (3.30)$$

La pendenza della curva di pressione di vapore Δv (kPa °C) può essere calcolata come (Murray, 1967):

$$\Delta v = \frac{4098 * e_{sat}}{(T_{air} + 237,3)^2} \quad (3.31)$$

La costante psicrometrica γ_{air} (kPa °C⁻¹) può essere calcolata come (Brunt, 1952) :

$$\gamma_{air} = 0,00163 * \frac{p_{air}}{\lambda_w} \quad (3.32)$$

dove p_{air} è la pressione atmosferica (kPa) all'altezza z_0 (m), che può essere calcolata come (Burman *et al.*, 1987) :

$$p_{air} = 101,3 \left(\frac{T_{air,K} - 0,0065 * z_0}{T_{air,K}} \right)^{5,256} \quad (3.33)$$

Utilizzando la legge dei gas ideali, si può dimostrare che la densità atmosferica ρ_a (g cm⁻³) dipende da p e dalla temperatura virtuale T_{vir} (K):

$$\rho_{air} = 3,486 * 10^{-3} * \frac{p_{air}}{T_{vir}} \quad (3.34)$$

dove :

$$T_{vir} = \frac{T_{air,K}}{1 - 0,378 * \frac{e_{act}}{p_{air}}} \quad (3.35)$$

La capacità termica dell'aria umida C_{air} (J g⁻¹ °C⁻¹) è pari a :

$$C_{air} = 622 * \frac{\gamma_{air} * \lambda_w}{p_{air}} \quad (3.36)$$

r_a è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo esercitata dallo strato di atmosfera immediatamente a contatto con la superficie vegetale, più saturo di vapore rispetto agli strati più distanti.

La resistenza aerodinamica r_a dipende dalla velocità del vento e dall'altezza della coltura h_{crop} (m) (Allen *et al.*, 1989) :

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{0m}}\right) * \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{0h}}\right)}{k_{vk}^2 * u} \quad (3.37)$$

dove :

z_m = altezza a cui viene misurata la velocità del vento (m)

z_h = altezza a cui vengono misurate la temperatura e l'umidità (m)

k_{vk} = costante di von Barman = 0,41 (-)

u = velocità del vento misurata all'altezza z_m (m s⁻¹)

d = altezza a cui la velocità del vento è nulla (m)

z_{0m} = parametro di scabrezza per il momento (m)

z_{0h} = parametro di scabrezza per il calore (m)

I parametri d , z_{0m} e z_{0h} sono definiti come :

$$d = 2/3 h_{crop} \quad (3.38)$$

$$z_{0m} = 0,123 h_{crop} \quad (3.39)$$

$$z_{0h} = 0,1 z_{0m} \quad (3.40)$$

Con il modello di Penman-Monteith è possibile calcolare il valore dell'ET reale, inserendo i valori reali della resistenza colturale r_c e della resistenza aerodinamica r_a .

La resistenza colturale dipende dalla radiazione solare incidente, dal deficit di pressione di vapore, dalla concentrazione di CO₂ nelle foglie e dal contenuto di umidità del suolo.

La resistenza colturale diventa nulla se la superficie vegetale è coperta da uno strato di acqua.

Se la superficie vegetale è asciutta, il valore minimo della resistenza colturale si raggiunge nel caso in cui c'è una disponibilità ottimale di acqua nello strato di terreno occupato dalle radici. Tale valore minimo si assume pari a 70 s m⁻¹.

Il modello di Penman-Monteith permette dunque di calcolare anche l'ET potenziale, utilizzando il valore minimo di r_c e il valore reale di r_a .

L'equazione di Penman-Monteith viene anche utilizzata per calcolare l'ET di riferimento. Questa è l'ET di una coltura ipotetica, che copre completamente il suolo, con una disponibilità ottimale di acqua, in modo che il valore di r_c è quello minimo, pari a 70 s m⁻¹. L'albedo α viene assunto pari a 0,23. L'altezza della coltura è di 12 cm, in modo tale che d , z_{0m} e z_{0h} sono dati.

Con queste assunzioni la resistenza aerodinamica diventa funzione solo della velocità del vento, misurata ad un'altezza standard di 2 m : $r_a = 208/u_2$.

Utilizzando, quindi, valori standard sia della resistenza colturale che della resistenza aerodinamica, si calcola il valore dell'ET di riferimento.

Per ottenere l'ET potenziale bisogna in questo caso moltiplicare l'ET di riferimento per un coefficiente colturale k_c :

$$ET_p = k_c * ET_{ref} \quad (3.41)$$

k_c dipende dalla coltura, dal suo stadio di sviluppo e dal metodo utilizzato per il calcolo dell'ET di riferimento.

Il metodo di Penman-Monteith, pur essendo il più affidabile per la stima dell'evapotraspirazione, è difficilmente applicabile dal momento che richiede una serie di dati climatici di non semplice determinazione. Nel caso in cui siano disponibili dati misurati di radiazione solare e di temperatura dell'aria, ma non di umidità relativa e di velocità del vento, è possibile ricorrere ad un metodo radiativo, da preferire ad un metodo termometrico dal momento che è la radiazione solare il motore del processo evapotraspirativo, fornendo l'energia necessaria per il passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello di vapore.

Il metodo radiativo di Makkink (1957) fornisce una stima dell'evapotraspirazione di riferimento:

$$\lambda_w * ET_0 = c * R_s * \Delta_v / (\Delta_v + \gamma_{air}) \quad (3.42)$$

dove R_s è la radiazione solare globale ($W m^{-2}$), λ_w è il calore latente di evaporazione ($J g^{-1}$), Δ_v è la pendenza della curva pressione di vapore saturo/temperatura ($kPa K^{-1}$), γ_{air} è la costante psicrometrica ($kPa K^{-1}$), c è un coefficiente di aggiustamento che dipende dalle condizioni medie di umidità relativa dell'aria e di velocità del vento durante il giorno. Makkink ha assegnato a tale coefficiente un valore di 0,65.

Per la stima della ET_0 con il metodo di Makkink sono, dunque, necessari i valori misurati della temperatura dell'aria e della quota (da cui dipendono λ_w , Δ_v , γ_{air}) e della radiazione solare.

Nell'implementazione del modello, come condizioni al contorno superiore sono stati utilizzati i valori giornalieri di precipitazione e di evapotraspirazione di riferimento; quest'ultima è stata stimata con il metodo radiativo di Makkink a partire dai dati di radiazione solare globale, temperatura dell'aria e quota. I dati climatici (precipitazione, temperatura, radiazione) necessari per definire in tal modo le condizioni al contorno superiore sono stati ricavati secondo quanto indicato nel § 3.3. Per la stima del coefficiente c necessario al calcolo della ET_0 secondo Makkink (equazione 3.42) si è proceduto nel modo seguente: per la stazione meteorologica di Ascea, ritenuta la più rappresentativa dell'areale di studio, sono stati calcolati i valori giornalieri di ET_0 con il modello di Penman-Monteith utilizzando i valori misurati di temperatura dell'aria, radiazione solare globale, umidità relativa e velocità del vento; per la stessa stazione sono stati calcolati i valori giornalieri di $[R_s * \Delta_v / (\Delta_v + \gamma_{air})] / \lambda_w$, pari a ET_0/c secondo la formula di Makkink; il rapporto tra le due serie rappresenta, appunto, il coefficiente c (figura 19).

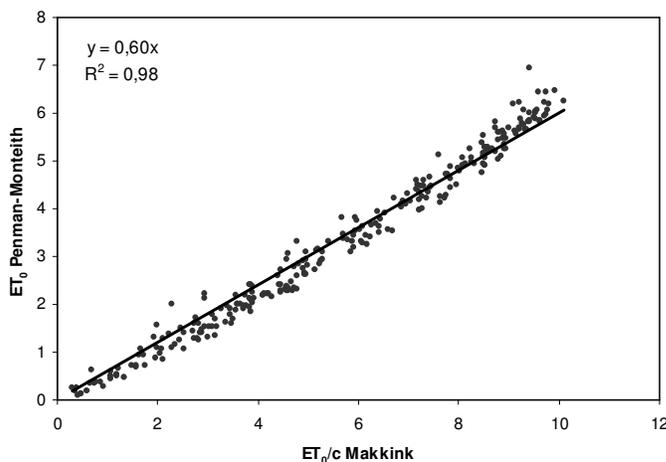


Figura 19. Regressione lineare tra ET_0 calcolata con il modello di Penman-Monteith e ET_0/c secondo la formula di Makkink.

È stato utilizzato per tale coefficiente il valore medio tra quelli ottenuti per il periodo di simulazione, pari a 0,57.

Parametri colturali

Diverse informazioni riguardanti la coltura sono richieste dal modello come dati di input.

In primo luogo, sono richiesti i parametri per la descrizione della funzione di attingimento idrico radicale secondo Feddes, ovvero i valori critici di potenziale h_1 , h_2 , h_3 e h_4 (cm), tipici di ogni coltura. Nel caso specifico, si è fatto riferimento a valori riportati in letteratura per la coltura dell'olivo. L'olivo è una specie resistente al deficit idrico e riesce a estrarre acqua dal terreno anche a potenziali idrici molto bassi; sintomi precoci di stress da carenza idrica (diminuzione degli scambi gassosi e della conduttanza stomatica) sono stati riscontrati a partire da un valore di potenziale idrico del suolo di -0,08 MPa. A potenziali inferiori si hanno effetti sull'attività vegetativa e riproduttiva dell'albero, ma non si conoscono i valori soglia del potenziale o del contenuto idrico del terreno al di sotto dei quali questi parametri subiscono riduzioni significative. Il punto di appassimento per l'olivo è stimato a -2,5 MPa di potenziale idrico del suolo, mentre di solito per le specie arboree da frutto si considera un valore di -1,5 MPa (Xiloyannis e Palese, 2001). In base a tali informazioni, sono stati adottati dei valori di h_3 (potenziale a cui l'attingimento radicale inizia a ridursi linearmente) e di h_4 (potenziale a cui l'attingimento radicale si annulla completamente) pari rispettivamente a -800 cm (-0,08 MPa) e -25000 cm (-2,5 MPa).

Un secondo dato richiesto dal modello è la profondità dell'apparato radicale durante tutto il periodo di simulazione. Tale valore è stato assunto pari a 150 cm.

E' poi necessario inserire i dati di LAI, necessari per effettuare la ripartizione dell'evapotraspirazione potenziale in evaporazione dal suolo e traspirazione dalla coltura, mediante la seguente relazione:

$$E = ET^* e^{-kLAI} \quad (3.43)$$

dove il coefficiente k può essere assunto pari a 0,39 (Ritchie, 1972).

Il valore della traspirazione viene calcolato per differenza.

Sono stati utilizzati i valori di LAI stimati a scala di singola pianta. SWAP, infatti, nato per colture erbacee, non contempla la possibilità che la vegetazione non copra omogeneamente il suolo. Dal momento che il modello prevede un flusso dell'acqua monodirezionale verticale e non considera eventuali flussi orizzontali e assumendo che le radici dell'olivo si estendano non oltre la proiezione della chioma, è stata effettuata una simulazione a scala di singola pianta, ovvero relativa alla superficie di proiezione della chioma, considerando nulle le interazioni con lo spazio interfilare.

Il valore di copertura del suolo da parte della vegetazione (Soil Cover, SC) è necessario per definire la funzione che lega i valori di precipitazione a quelli di intercettazione: la quantità di acqua intercettata dalla vegetazione e che, quindi, non raggiunge il suolo dipende ovviamente dalla copertura vegetale. La funzione utilizzata dal modello SWAP è la seguente (Van Dam *et al.*, 1997):

$$INTC = SC * A + PREC^{(B - C * (PREC - D))} \quad (3.44)$$

Sono infine richiesti i valori del coefficiente colturale k_c per tutto il periodo di simulazione.

I valori mensili di k_c sono stati stimati nel modo seguente:

- per ciascuna stazione meteo sono stati calcolati i valori giornalieri di ET_0 mediante il modello di Penman-Monteith a partire dai valori misurati di temperatura dell'aria, radiazione solare, umidità relativa e velocità del vento;
- per ciascun sito sono stati calcolati i valori giornalieri di ET_p mediante il modello di Penman-Monteith, impiegando i dati meteorologici misurati nella stazione meteo più vicina e il valore di LAI misurato nel singolo sito;
- per ciascun sito sono stati calcolati i valori giornalieri di k_c come rapporto tra la ET_p del sito e la ET_0 della stazione meteo più vicina;
- i valori ottenuti sono stati mediati su base mensile.

Caratteristiche idrauliche del profilo di suolo

Le informazioni relative al suolo consistono in:

- descrizione della geometria del profilo di suolo: il suolo viene prima distinto in diversi orizzonti e questi in compartimenti, di ciascuno dei quali viene definito lo spessore;
- definizione delle proprietà idrauliche di ciascuno degli orizzonti del profilo di suolo, attraverso i parametri necessari a descrivere le curve di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica;
- indicazione delle condizioni iniziali, ovvero al primo giorno di simulazione, attraverso i valori di contenuto d'acqua, potenziale o profondità della falda.

Al profilo di suolo è stata assegnata la profondità di 1,5 m. I risultati di simulazioni effettuate per la coltura dell'olivo nelle condizioni sperimentali del caso studio Canosa 2002 (Panico, 2004) hanno, infatti, mostrato come l'attingimento radicale complessivo e, dunque, l'evapotraspirazione effettiva, siano piuttosto indipendenti dal valore fornito al modello come spessore dello strato di suolo esplorato dalle radici, lasciando invariati tutti gli altri dati di input. In assenza di informazioni relative alla profondità dell'apparato radicale è stato, dunque, assegnato ad esso un valore costante per tutti i siti.

Il profilo di suolo è stato distinto negli orizzonti individuati in ciascun sito nel corso del rilievo pedologico e ciascuno di essi è stato caratterizzato dal punto di vista idraulico mediante i parametri necessari a definire le funzioni di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica secondo il modello di Mualem-Van Genuchten.

Dal momento che la profondità della trivellata è risultata sempre inferiore a 150 cm, le caratteristiche idrauliche dell'ultimo orizzonte identificato sono state estese fino a tale profondità, nel caso in cui la caratterizzazione fosse giunta ad una profondità pari almeno a 80 cm; in caso contrario, è stato aggiunto inferiormente al profilo un ipotetico orizzonte dalla tessitura e, quindi, dalle proprietà idrauliche leggermente modificate rispetto a quelli soprastanti (più ricco in sabbia).

Gli orizzonti di suolo sono stati ulteriormente suddivisi in compartimenti, per ciascuno dei quali è applicata dal modello l'equazione di bilancio idrologico.

Come condizione iniziale (al primo giorno di simulazione) sono stati forniti i valori di contenuto idrico volumetrico (θ) per ciascun compartimento. In assenza di dati misurati, essendo il primo giorno di simulazione successivo ad un consistente evento piovoso, il valore di θ è stato assunto pari al contenuto idrico volumetrico alla capacità di campo, ovvero in corrispondenza di un valore di potenziale idrico pari a -0,33 bar.

L'andamento del rapporto T_a/T_p mostrato in **figura 20** evidenzia un range decisamente ampio nelle curve di stress idrico tra i siti sperimentali: alcuni siti (il sito 2 in particolare) non hanno raggiunto condizioni di stress se non per brevissimi periodi e comunque in maniera lieve; altri siti (più di tutti il sito 15 e il sito 19) hanno cominciato a soffrire stress idrico, e quindi a ridurre la traspirazione rispetto a quella potenziale, già all'inizio della stagione secca, per poi raggiungere quasi la completa chiusura degli stomi e il conseguente annullamento degli scambi gassosi in una fase più avanzata, coincidente soprattutto con il mese di agosto.

CAPITOLO 4

INDAGINE PUNTUALE: IL RISULTATO PRODUTTIVO

4.1 CARATTERIZZAZIONE DEL FRUTTO: MATERIALI E METODI

4.1.1 Campionamento

Il campionamento delle olive è stato organizzato in maniera da minimizzare l'influenza esercitata dallo stadio di maturazione sulle caratteristiche compositive: il prelievo non è stato effettuato contemporaneamente in tutti i siti, ma in maniera scalare allo scopo di ottenere campioni con un indice di maturazione per quanto possibile uniforme (**tabella 7**). I siti di campionamento, infatti, hanno mostrato una grande variabilità sotto l'aspetto della precocità di maturazione.

Tabella 7. Schema di campionamento utilizzato.

	01/10/2005	23/10/2005	13/11/2005	11/12/2005
Sito 1			D P IM M Comp.	
Sito 2	D	D P IM M	D P IM M Comp.	
Sito 3			D P IM M Comp. O	
Sito 4	D	D P IM M	D P IM M Comp.	
Sito 5	D		D P IM M Comp.	
Sito 9	D	D P IM M	D P IM M Comp.	
Sito 11	D	D P IM M	D P IM M	D P IM M Comp.
Sito 12	D	D P IM M	D P IM M	D P IM M Comp.
Sito 13	D		D P IM M Comp. O	
Sito 14	D	D P IM M Comp.		
Sito 15	D	D P IM M Comp.		
Sito 16	D	D P IM M Comp.		
Sito 18	D	D P IM M Comp. O		
Sito 19		D P IM M Comp. O		

D = Diametro longitudinale e trasversale; P = Peso; IM = Indice di Maturazione; M = Attacco Dacus oleae;
Comp. = Composizione della drupa; O = Micro-oleificazione e analisi dell'olio

Campioni di circa 2 kg sono stati prelevati dagli alberi ubicati nelle immediate vicinanze del punto in cui è stata effettuata la trivellata per l'analisi del suolo, attingendo a differenti punti nell'ambito della chioma.

Appena dopo la raccolta sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- diametro longitudinale e trasversale;
- peso del frutto;
- indice di maturazione;
- incidenza di attacco della mosca dell'olivo.

I campioni sono stati, poi, conservati a -30°C in attesa di essere sottoposti alle seguenti determinazioni chimico-analitiche:

- umidità;
- contenuto in lipidi;

- composizione in acidi grassi;
- contenuto e composizione della frazione fenolica.

4.1.2 Determinazioni carpologiche

La misura del diametro longitudinale e trasversale è stata effettuata impiegando un calibro millesimale mod. OMC Fontana, su un numero di 50 olive prelevate in maniera casuale dal campione.

La determinazione del peso è stata effettuata mediante misura gravimetrica su bilancia Shimadzu mod. UW820S, su un campione di 100 olive prelevate in maniera casuale.

Lo stadio di maturazione è stato valutato mediante determinazione dell'Indice di Jaén, proposto dai ricercatori dell'INRA di Jaén (Spagna) (Uceda e Hermoso, 1998), che fa riferimento alla pigmentazione della drupa. Vengono definiti sette diversi stadi di maturazione, contraddistinti da altrettanti valori numerici crescenti, in relazione alla colorazione dell'epicarpo e del mesocarpo:

- 0 = olive con pelle verde intenso o verde scuro
- 1 = olive con pelle gialla o verde-giallognola
- 2 = olive con pelle giallognola con macchie o zone rossastre
- 3 = olive con pelle rossastra o violetto chiara
- 4 = olive con pelle nera e polpa totalmente chiara
- 5 = olive con pelle nera e polpa violetta fino a metà
- 6 = olive con pelle nera e polpa violetta fino quasi al nocciolo
- 7 = olive con pelle nera e polpa totalmente scura.

Il calcolo dell'Indice di Maturazione (IM) si effettua su 100 olive separate da un campione omogeneo, contando le olive appartenenti a ciascuna classe di pigmentazione e applicando la seguente formula:

$$IM = \frac{(0 \cdot n_0) + (1 \cdot n_1) + (2 \cdot n_2) + \dots + (7 \cdot n_7)}{100}$$

dove n_x è il numero di olive appartenenti alla classe di pigmentazione x .

L'infestazione del *Dacus oleae* (% di frutti infestati) è stata determinata su un numero di 100 olive prelevate in maniera casuale dal campione.

4.1.3 Determinazione dell'umidità

La determinazione dell'umidità delle olive è stata effettuata per via ponderale (metodo NGD, A-2-1976).

Una quantità di 50 grammi di olive è posta in stufa termostatica a 105 °C per un tempo di circa 24 ore. Si lascia raffreddare in essiccatore e si pesa, ripetendo l'operazione fino a raggiungimento di un peso costante. La determinazione è effettuata in replica.

Il contenuto d'umidità si esprime come grammi d'acqua per 100 grammi di campione ed è dato da:

$$U\% = 100 - \left(\frac{P_1 - P}{g} \times 100 \right)$$

dove:

P = peso del contenitore vuoto

P_1 = peso del contenitore con le olive essiccate

g = peso fresco delle olive.

4.1.4 Determinazione del contenuto in lipidi

La determinazione del contenuto in lipidi dei campioni di olive è stata effettuata mediante estrazione con solvente organico della sostanza grassa totale (metodo NGD A-4-1976).

Le olive, preventivamente essiccate, vengono macinate, poste in un cartoccio da estrazione e introdotte nell'estrattore tipo Soxhlet (FALC, modWBS2) della capacità di 200 ml. Si collega un palloncino da 250 ml, previamente tarato, e si aggiunge la necessaria quantità di solvente (etere di petrolio).

Si procede, dunque, all'estrazione su bagnomaria per un periodo della durata di 12 ore, regolando l'intensità dell'ebollizione in modo da avere almeno 15 sifonamenti all'ora; alla fine di tale periodo si stacca il palloncino contenente l'estratto etereo, si distilla il solvente mediante evaporazione sottovuoto in un evaporatore rotante (HEIDOLPH, mod. VV2000) alla temperatura di 35 °C e si completa l'essiccazione della sostanza grassa in stufa termostatica a 105 °C. Si lascia raffreddare in essiccatore e si pesa, ripetendo essiccazione e pesate fino a massa costante.

Il contenuto in lipidi, espresso in % sostanza secca, è dato dalla formula:

$$[\% \text{ s.s.}] = \left(\frac{M_1}{M} \right) \times 100$$

dove:

M_1 = massa della sostanza grassa estratta, espressa in grammi.

M = massa del campione prelevato per la determinazione, espresso in grammi.

4.1.5 Determinazione della composizione acidica

La composizione in acidi grassi è stata determinata sugli estratti lipidici mediante analisi gascromatografica dei relativi esteri metilici. Gli esteri metilici degli acidi grassi sono stati ottenuti tramite una reazione di transesterificazione a freddo (Regolamento CE 796/02).

Si pesano 0,1 g di estratto lipidico, si aggiungono 2 ml di eptano e si mescola. Si aggiungono 0,2 ml di soluzione metanolica di idrossido di potassio 2N e si agita energicamente su Vortex per 30 secondi. Si lascia decantare finché la fase superiore eptanica diventa trasparente, quindi 1 µl del surnatante eptanico è prelevato ed iniettato nel gas cromatografo.

Per l'analisi sono stati utilizzati:

un gascromatografo SHIMADZU (mod. GC-17A) con rilevatore a fiamma di idrogeno (F.I.D.); software di acquisizione Class-VP Chromatography data system vers. 4.6 (Shimadzu Italia, Milano);

una colonna capillare FAME da 60 m, i.d. 0,25 mm, con fase stazionaria 50 % Cianopropyl-Methyl Phenyl Silicone di 0,25 µm di spessore (Quadrex Corporation, New Heaven, U.S.A.).

Sono state adottate le seguenti condizioni operative:

camera mantenuta a 170°C per i primi 20 minuti e successivo incremento termico di 10°C min⁻¹ fino ad una temperatura di 220°C, mantenuta per 5 min;

temperatura iniettore: 250°C;

temperatura FID: 250°C;

gas di trasporto: elio;

gas ausiliare: elio;

flusso di elio in colonna: 2 ml/min;

rapporto di splittaggio: 1/60;

quantità iniettata: 1 µl.

L'identificazione dei picchi è stata effettuata confrontando i tempi di ritenzione (R.T.) dei diversi acidi grassi con i tempi di ritenzione ottenuti iniettando una miscela di standards di esteri metilici di acidi grassi puri (Larodan, Malmoe, Svezia), nelle condizioni operative suddette.

4.1.6 Estrazione dei composti fenolici dalla polpa delle olive

A partire dalla metodica di estrazione descritta da Brenes *et al.* (1995), sono state apportate alcune modifiche allo scopo di minimizzare i tempi di analisi ed i volumi di solvente utilizzati.

Una quantità di 10 g di polpa proveniente da almeno 10 olive è frantumata ed omogeneizzata mediante impiego di un omogeneizzatore (ULTRATURRAX mod. T25B, Kilka-Werke - Germany), in presenza di 30 ml di una miscela metanolo/acqua 80:20. L'omogeneizzato così ottenuto è centrifugato per 5 minuti a 3500 giri/min (centrifuga ALC, mod. PK120), allo scopo di consentire la separazione tra la pasta di olive e la fase metanolica. L'estratto idroalcolico è filtrato e raccolto in un pallone.

Sulla pasta di olive residua l'operazione di estrazione è ripetuta per altre 3 volte utilizzando un volume totale di miscela metanolo/acqua (80:20) pari a 90 ml.

L'estratto idroalcolico totale è sottoposto ad evaporazione sottovuoto in un evaporatore rotante (HEIDOLPH, mod. VV2000) alla temperatura di 35°C per il tempo necessario al completo allontanamento del metanolo.

Alla fase acquosa residua sono aggiunti, quindi, 20 ml di acqua distillata.

Allo scopo di eliminare pigmenti ed eventuali contaminazioni oleose, la soluzione è lavata per 3 volte con 15 ml di esano, per un volume totale di esano pari a 45 ml.

L'estrazione dei composti fenolici dalla soluzione acquosa è effettuata con etilacetato: l'operazione di estrazione è ripetuta 5 volte utilizzando un volume totale di etilacetato pari a 100 ml.

L'etilacetato è allontanato mediante evaporazione sottovuoto in evaporatore rotante alla temperatura di 35°C ed il residuo è ripreso con 2 ml di metanolo.

4.1.7 Identificazione dei composti fenolici mediante LC-MS

L'identificazione dei composti fenolici è stata condotta mediante Spettrometria di Massa accoppiata a Cromatografia Liquida (LC-MS), analisi degli spettri di massa ottenuti e confronto dei tempi di ritenzione e degli spettri di frammentazione con quelli di standards, ove disponibili.

La strumentazione LC utilizzata consiste in due pompe LC-10AD VP (Shimadzu, Milano, Italia). È stata utilizzata una colonna Discovery HS C18 (5µm, 150 mm x 2,1 mm i.d., Supelco, St. Louis, MO, USA), ad una velocità di flusso di 0,35 ml min⁻¹. È stato applicato un gradiente di eluizione binario di acqua + acido formico 0,25% (eluente A) e metanolo + acido formico 0,25% (eluente B) (da 5 a 55% di B in 45 minuti). Sono stati iniettati 20 µl di ciascun estratto metanolico, dopo diluizione 1:8 con acqua.

Il sistema MS è rappresentato da uno spettrometro LCMS-2010EV (Shimadzu, Milano, Italia) Electrospray Ionization (ESI); il software LCMS Solution versione 3.20 (Shimadzu, Milano, Italia) è stato utilizzato per acquisire e processare i dati.

L'analisi, soltanto qualitativa, è stata condotta in modalità di acquisizione in ioni negativi con i seguenti parametri operativi: voltaggio della sorgente 4 kV; flusso di gas nebulizzante 1,5 l min⁻¹; temperatura del *block heater* 250 °C; temperatura e voltaggio della *curved desolvation line* 300 °C e -5

V, rispettivamente; voltaggio del Q-Array 0 V DC e 150 V RF; voltaggio del detector 1,5 kV; range di acquisizione m/z 60-900.

Successivamente alcuni parametri operativi sono stati modificati allo scopo di ottenere una moderata frammentazione degli ioni molecolari deprotonati: il voltaggio della sorgente è stato impostato a 5 kV e quello del Q-Array a -50 V DC e 150 V RF.

4.1.8 Determinazione del contenuto e della composizione della frazione fenolica mediante analisi HPLC/UV

La separazione e la quantificazione dei composti fenolici presenti negli estratti fenolici dalla polpa delle olive sono state condotte mediante analisi HPLC (High Performance Liquid Chromatography), che è servita anche ad integrare le informazioni ottenute dall'analisi LC-MS ai fini dell'identificazione dei composti fenolici. È stata considerata come metodica di riferimento quella descritta da Tsimidou *et al.* (1992).

È stato utilizzato un HPLC (SHIMADZU, mod. LC-10ATVP) provvisto di rilevatore UV-Vis DIODE ARRAY (SHIMADZU, mod. SPD-M10AVP) e di un software di acquisizione Shimadzu LC Solution vers. 1.1, equipaggiato con una colonna a fase inversa (Phenomenex Prodigy ODS3 250 x 4,6 mm, 5 μ).

Le condizioni cromatografiche sono state le seguenti:

Eluenti: A) acqua + acido formico 0,5%; B) metanolo/acetonitrile 50/50 v/v + acido formico 0,5%;

Gradiente di eluizione: dal 15% al 55% di B in 36 min;

Flusso in colonna: 1 ml min⁻¹;

Quantità iniettata: 20 μ l.

L'identificazione dei principali picchi è stata effettuata per comparazione dei tempi di ritenzione e degli spettri di assorbimento con quelli mostrati da standard puri o riportati in letteratura (Montedoro *et al.*, 1993; Brenes *et al.*, 2000).

L'analisi quantitativa dei singoli componenti è stata condotta a 279 nm con riferimento ad uno standard esterno (acido caffeico) impiegato per la costruzione della retta di calibrazione (Tsimidou *et al.*, 1992).

4.1.9 Quantificazione dei composti fenolici mediante metodo colorimetrico

La quantificazione della frazione fenolica del frutto è stata effettuata, oltre che mediante analisi HPLC, anche mediante il metodo colorimetrico di Folin-Ciocalteu (1927), che consente di valutare il contenuto in fenoli totali.

Il reattivo di Folin-Ciocalteu è costituito da una miscela di acido fosfomolibdico e di acido fosfotungstico in grado, in ambiente basico, di ossidare i composti fenolici, portando alla formazione di una miscela di ossidi di tungsteno e di molibdeno colorati in blu; l'intensità della colorazione è proporzionale alla concentrazione dei composti fenolici presenti nel campione.

La curva di calibrazione è stata realizzata con 5 diluizioni di acido caffeico (250 ppm; 125 ppm; 50 ppm; 25 ppm; 10 ppm). Sia per le soluzioni standard di acido caffeico che per i campioni (estratti fenolici) è stato seguito il seguente procedimento:

- 200 μ l di campione (o di soluzione standard) sono stati posti in una provetta;
- è stato aggiunto 1 ml di reattivo di Folin-Ciocalteu diluito con acqua 1:10 (2,0 N portato a 0,2 N);
- sono stati aggiunti 800 μ l di una soluzione acquosa di carbonato di sodio al 7,5%;
- si è lasciato reagire per 30 minuti esatti;

- è stata misurata l'assorbanza a 760 nm.

Ogni campione è stato analizzato in doppio e per ciascuno è stato preparato il bianco (200 µl di acqua distillata).

La retta di calibrazione ottenuta è stata impiegata per calcolare la concentrazione di composti fenolici in ogni estratto, espressa in ppm di acido caffeico.

4.2 CARATTERIZZAZIONE DEL FRUTTO: RISULTATI

4.2.1 Determinazioni carpologiche

Il campionamento è stato effettuato in più date in maniera da ottenere campioni che non si differenziassero di molto nell'indice di maturazione, allo scopo di eliminare o ridurre l'effetto dello stadio di maturazione sulle caratteristiche compositive del frutto e poter mettere in relazione quest'ultimo con le caratteristiche dei siti sperimentali. La maturazione, infatti, non si è verificata contemporaneamente nei diversi siti sperimentali: i siti ubicati a minore latitudine (siti 14; 15; 16; 18; 19) hanno mostrato un anticipo di maturazione rispetto agli altri, ad eccezione del sito 14; il ritardo di maturazione in tale sito potrebbe essere attribuibile al valore di LAI più alto o alla pendenza più accentuata rispetto a siti non molto distanti quali il 15 e il 16. Nei siti ubicati più a Nord è stato necessario effettuare la raccolta in data successiva per ottenere campioni con un IM prossimo a quello dei primi campioni raccolti. Per alcuni siti (3; 11; 12; 13) il ritardo di maturazione è risultato ancora più accentuato; particolare è il caso dei siti 11 e 12, in cui è stata effettuata una raccolta in data ancora successiva dal momento che le drupe apparivano completamente verdi nelle due date precedenti.

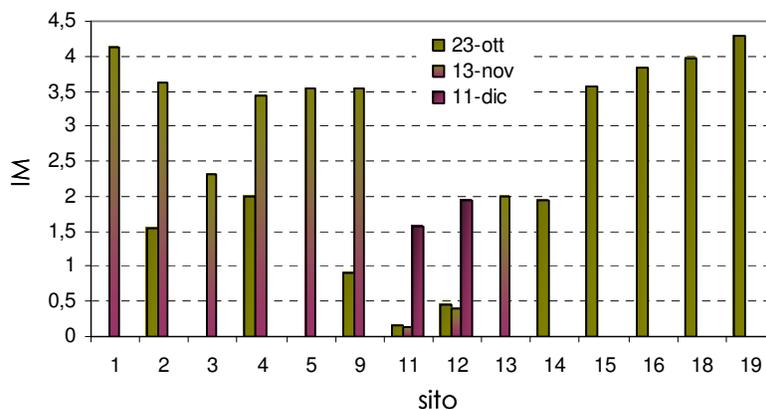


Figura 21. Indice di Maturazione dei frutti rilevato in 3 successive date di campionamento nei 14 siti sperimentali.

È interessante notare come i siti con ritardo di maturazione (3; 11; 12; 13; 14) sono accomunati dal presentare un valore di LAI più elevato (**figura 15**) e, ad eccezione del sito 3, una pendenza maggiore rispetto agli altri (**tabella 3**). Ciò potrebbe far pensare ad una minore quantità di radiazione solare ricevuta da tali siti a causa delle caratteristiche topografiche o della fittezza della vegetazione, che ostacola la penetrazione dei raggi solari fino alla parte bassa della chioma, dove è stato effettuato il campionamento. L'ombreggiamento, infatti, influenza negativamente ed in maniera rilevante la colorazione dei frutti dell'olivo (Tombesi *et al.*, 1998).

Le dimensioni dei frutti, espresse come diametro longitudinale, diametro trasversale e prodotto tra i due, sono riportate nella **figura 22** per i diversi siti e le tre epoche di campionamento. È possibile osservare una discreta variabilità tra i siti per ciò che riguarda le dimensioni dei frutti. Nei siti 11 e 12, in particolare, le drupe hanno mostrato una notevole difficoltà di sviluppo, con un incremento

di dimensioni molto limitato nel tempo ed una difficoltà di maturazione, ovvero un aumento della pigmentazione molto più lento rispetto agli altri siti di campionamento. In una quarta data di campionamento (11 dicembre) è stato constatato un arresto quasi completo di sviluppo, sia in termini di pigmentazione che di dimensioni del frutto: le drupe, ancora molto lontane da uno stadio di maturazione ottimale per la raccolta, si sono mostrate molto piccole rispetto a quelle campionate negli altri siti. L'aspetto grinzoso delle drupe lasciava presumere che non avrebbero proseguito lo sviluppo, avendo già interrotto gli scambi con la pianta ed essendo entrate nella fase di disidratazione.

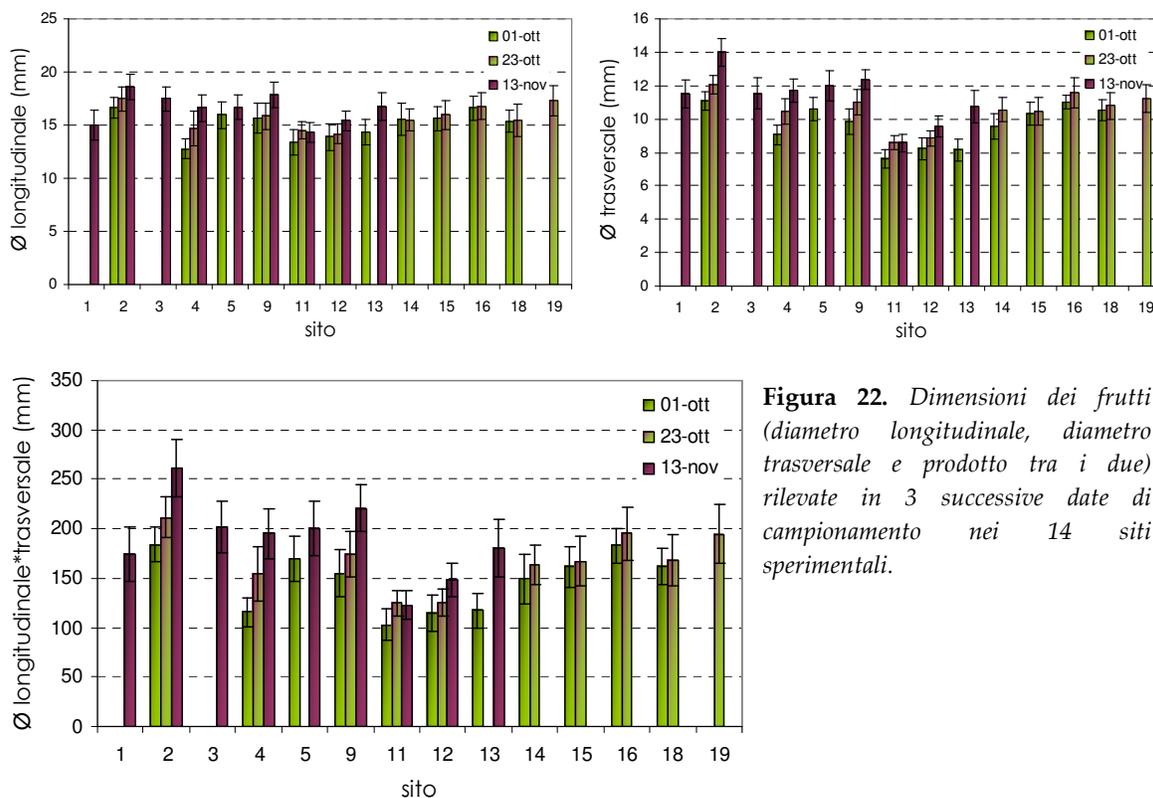


Figura 22. Dimensioni dei frutti (diametro longitudinale, diametro trasversale e prodotto tra i due) rilevate in 3 successive date di campionamento nei 14 siti sperimentali.

4.2.2 Contenuto d'acqua e d'olio

In **tabella 8** sono riportati i valori di contenuto, in peso, di acqua e di olio nelle drupe.

I valori risultano molto variabili tra i siti. I siti 11 e 12, in cui il campionamento è stato effettuato molto tardi (11 dicembre), presentano un contenuto d'acqua molto basso, confermando che il frutto, interrotti gli scambi con la pianta, era ormai entrato nella fase di disidratazione. Nonostante la perdita di acqua, il contenuto di olio sul peso fresco non risulta molto più elevato rispetto alla media, indicando che il processo di sintesi dell'olio non è avvenuto in maniera efficiente (i valori di contenuto di olio sul secco sono, infatti, più bassi che in tutti gli altri siti). In questi due siti, dunque, le condizioni non sono state favorevoli ad una evoluzione del frutto, in termini non solo di pigmentazione e di dimensioni, ma anche di composizione chimica.

Né il contenuto in acqua né quello in olio dei frutti risulta correlato con il loro indice di maturazione, indicando che quest'ultimo, come già osservato (Kalua *et al.*, 2005), non è sempre indice dell'effettivo stadio fisiologico di maturazione delle drupe in termini di accumulo lipidico. La pigmentazione, cioè, può procedere non di pari passo con l'evoluzione della composizione della polpa e con l'inolizione.

Tabella 8. *Contenuto di acqua e olio (in peso) dei frutti campionati nei 14 siti sperimentali.*

Sito	% acqua	% olio (sul peso fresco)	% olio (sul peso secco)
Sito 1	54,7	16,3	36,0
Sito 2	61,6	12,7	33,0
Sito 3	59,0	13,6	33,2
Sito 4	57,1	14,3	33,3
Sito 5	54,8	16,0	35,4
Sito 9	61,0	14,5	37,2
Sito 11	45,6	15,1	27,8
Sito 12	43,7	17,6	31,3
Sito 13	53,4	17,3	37,2
Sito 14	58,1	13,4	32,1
Sito 15	50,6	16,0	32,4
Sito 16	51,8	15,2	31,6
Sito 18	52,6	15,2	32,0
Sito 19	53,0	17,6	37,5

4.2.3 Composizione in acidi grassi

La composizione in acidi grassi dei lipidi estratti dai campioni di olive è risultata, anch'essa, piuttosto variabile nell'ambito dei siti sperimentali (**tabella 9**). Le differenze sono evidenti soprattutto per gli acidi grassi più abbondanti, ovvero il palmitico, lo stearico, l'oleico, il linoleico, e si traducono in una variabilità nei rapporti acidi grassi insaturi/saturi e acidi grassi monoinsaturi/polinsaturi (**figura 23**).

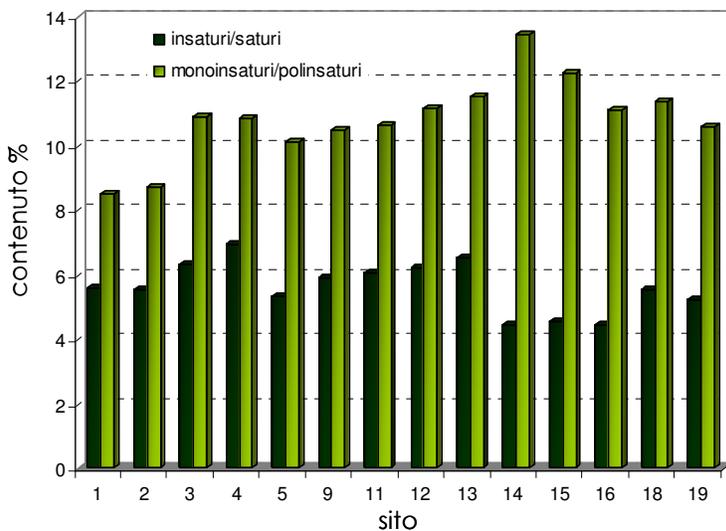


Figura 23. *Rapporto tra acidi grassi insaturi e saturi e rapporto tra acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi nella frazione lipidica delle olive campionate nei 14 siti sperimentali.*

Sito	Acido grasso (contenuto %)												
	C14:0	C16:0	C16:1	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1	C18:2	C20:0	C18:3	C20:1	C22:0	C24:0
1	0.01 ± 0.00	12.35 ± 0.06	1.22 ± 0.01	0.06 ± 0.00	0.12 ± 0.00	2.44 ± 0.01	73.92 ± 0.04	8.10 ± 0.00	0.37 ± 0.00	0.61 ± 0.00	0.26 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.06 ± 0.00
2	0.02 ± 0.01	12.49 ± 0.02	1.24 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.13 ± 0.00	2.38 ± 0.00	73.99 ± 0.05	7.89 ± 0.05	0.37 ± 0.00	0.61 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.12 ± 0.00	0.06 ± 0.00
3	0.01 ± 0.01	11.16 ± 0.07	1.29 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.21 ± 0.01	2.16 ± 0.03	76.94 ± 0.15	6.45 ± 0.23	0.36 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.07 ± 0.00
4	0.02 ± 0.02	10.15 ± 0.02	1.22 ± 0.03	0.08 ± 0.01	0.17 ± 0.01	2.11 ± 0.01	78.07 ± 0.11	6.63 ± 0.02	0.31 ± 0.00	0.57 ± 0.02	0.29 ± 0.06	0.12 ± 0.01	0.06 ± 0.02
5	0.02 ± 0.00	13.34 ± 0.01	1.53 ± 0.03	0.14 ± 0.08	0.21 ± 0.02	2.05 ± 0.09	74.39 ± 0.27	6.86 ± 0.03	0.34 ± 0.00	0.50 ± 0.09	0.26 ± 0.05	0.09 ± 0.02	0.05 ± 0.00
9	0.01 ± 0.00	12.32 ± 0.15	1.48 ± 0.02	0.09 ± 0.04	0.21 ± 0.04	1.77 ± 0.01	75.89 ± 0.06	6.71 ± 0.05	0.28 ± 0.00	0.54 ± 0.05	0.30 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.04 ± 0.00
11	0.01 ± 0.02	11.64 ± 0.00	0.78 ± 0.03	0.11 ± 0.00	0.23 ± 0.02	2.23 ± 0.00	76.76 ± 0.01	6.59 ± 0.05	0.36 ± 0.00	0.63 ± 0.00	0.32 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.07 ± 0.00
12	0.01 ± 0.00	11.41 ± 0.04	1.02 ± 0.02	0.10 ± 0.00	0.21 ± 0.01	2.10 ± 0.01	77.32 ± 0.07	6.35 ± 0.04	0.31 ± 0.00	0.57 ± 0.02	0.31 ± 0.00	0.12 ± 0.01	0.06 ± 0.00
13	0.01 ± 0.00	11.04 ± 0.03	1.16 ± 0.01	0.10 ± 0.00	0.24 ± 0.00	1.92 ± 0.00	77.81 ± 0.05	6.28 ± 0.01	0.32 ± 0.00	0.47 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.10 ± 0.00	0.05 ± 0.00
14	0.02 ± 0.00	15.23 ± 0.03	1.68 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.23 ± 0.01	2.47 ± 0.01	73.57 ± 0.04	5.07 ± 0.02	0.41 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.19 ± 0.03
15	0.02 ± 0.00	14.98 ± 0.04	1.47 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.29 ± 0.00	2.58 ± 0.01	73.69 ± 0.01	5.54 ± 0.03	0.38 ± 0.01	0.47 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.00
16	0.07 ± 0.01	15.71 ± 0.05	1.24 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.22 ± 0.01	2.12 ± 0.02	73.09 ± 0.05	6.16 ± 0.03	0.35 ± 0.00	0.42 ± 0.02	0.26 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.07 ± 0.00
18	0.02 ± 0.00	12.78 ± 0.06	1.18 ± 0.01	0.12 ± 0.00	0.23 ± 0.01	2.16 ± 0.02	75.82 ± 0.07	6.14 ± 0.04	0.32 ± 0.01	0.53 ± 0.02	0.25 ± 0.01	0.10 ± 0.00	0.04 ± 0.00
19	0.01 ± 0.00	13.52 ± 0.05	1.55 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.26 ± 0.00	2.09 ± 0.03	74.62 ± 0.03	6.57 ± 0.00	0.32 ± 0.00	0.48 ± 0.00	0.25 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.04 ± 0.00

Tabella 9. *Composizione in acidi grassi della frazione lipidica estratta dalle olive campionate nei 14 siti sperimentali.*

4.2.4 Contenuto e composizione in composti fenolici

Una completa caratterizzazione del profilo fenolico del frutto dell'olivo non è stata ancora raggiunta: mentre molti sono gli studi, infatti, focalizzati sulla composizione fenolica dell'olio, un minor numero ha avuto come oggetto i composti fenolici della polpa dell'oliva. Le difficoltà in tal senso derivano dal fatto che la frazione fenolica del frutto dell'olivo è caratterizzata da una grande complessità e da una enorme variabilità, dal punto di vista sia qualitativo che quantitativo, attribuibile a fattori geografici, varietali, stagionali, agronomici, ed allo stadio di maturazione del frutto (Ryan e Robards, 1998), oltre che a differenze negli stessi metodi di estrazione e quantificazione. Per questi motivi, molte delle molecole presenti nella polpa dell'oliva sono tuttora non identificate e risulta oltremodo difficile confrontare tra loro i dati riportati in letteratura.

Tra le numerose tecniche ad alta risoluzione impiegate per l'identificazione dei composti fenolici delle olive, la spettrometria di massa accoppiata alla cromatografia liquida (LC-MS) si è dimostrato uno strumento molto efficace per l'analisi dei prodotti naturali: lo spettrometro di massa è in grado, come detector, di garantire una elevata sensibilità e di fornire non solo dati relativi alla massa molecolare, ma anche alcune informazioni strutturali (Ryan *et al.*, 1999a).

Nel presente studio, per l'identificazione dei composti presenti negli estratti fenolici da polpa di olive, è stata impiegata appunto la tecnica LC-MS con interfaccia ESI (Electrospray Ionization); tale tecnica di ionizzazione, più *soft* rispetto ad altre tecniche quali la ionizzazione chimica a pressione atmosferica, determina una frammentazione molto blanda dei composti ionizzati, fornendo spettri di massa in cui in genere il picco base è rappresentato dallo ione pseudomolecolare [M-H].

I composti fenolici danno picchi di minore intensità con acquisizione in modalità negativa piuttosto che positiva; nel presente studio, tuttavia, l'acquisizione è stata condotta in modalità negativa perché ha consentito di ottenere spettri più puliti e più semplici da interpretare.

Mediante iniezione diretta nella camera di ionizzazione di soluzioni standard di composti fenolici, i parametri operativi sono stati ottimizzati allo scopo di ottenere spettri di massa dominati dallo ione pseudomolecolare [M-H] per ciascuno dei composti di interesse. Inoltre, per integrare e confermare il dato fornito dallo ione molecolare deprotonato con altre informazioni strutturali, i parametri operativi di ionizzazione sono stati modificati allo scopo di generare una moderata frammentazione indotta da collisioni nella regione di trasporto ionico.

Il cromatogramma in **figura 24** mostra l'andamento della TIC (Total Ion Current) ottenuto mediante analisi LC-MS di un estratto fenolico da polpa di olive.

L'identificazione dei composti fenolici si è fondata sulla ricerca degli ioni pseudomolecolari [M-H] mediante l'estrazione di cromatogrammi relativi ad un singolo valore del rapporto massa/carica m/z e sull'interpretazione degli spettri di massa ottenuti in condizioni operative favorevoli ad una maggiore frammentazione. Per i composti di cui si disponeva di standards, l'identificazione è stata condotta confrontando i tempi di ritenzione e gli spettri di massa con quelli dei relativi standards.

Mediante analisi LC-MS, 26 composti sono stati individuati negli estratti fenolici da polpa di olive; i dati relativi ad essi sono riportati in **tabella 10** e le formule di struttura mostrate in **figura 25**.

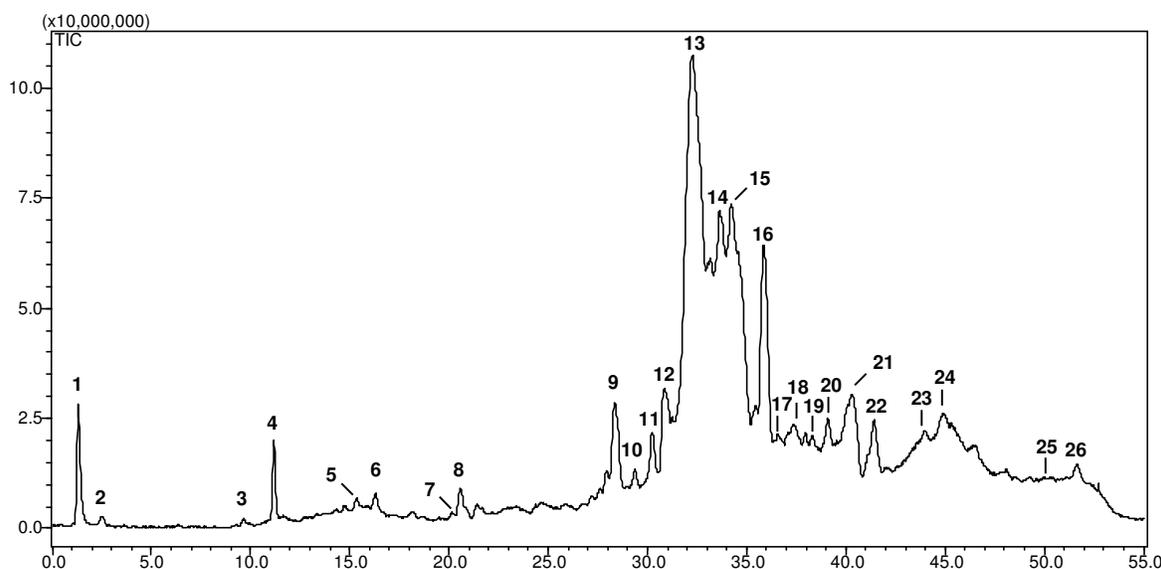


Figura 24. Cromatogramma HPLC-ESI-MS (Total Ion Current) dell'estratto fenolico da polpa di olive.

Tabella 10. Composti identificati negli estratti fenolici da polpa di olive mediante analisi LC-MS.

Picco n.	Tempo di ritenzione (min)	Ione pseudomolecolare [M-H] ⁻	Frammenti principali (m/z)	Composto
1	1.3	non identificato	191	Derivato dell'acido chinico
2	2.5	non identificato	191, 405	Derivato dell'acido chinico
3	9.6	153	123	Idrossitirosolo
4	11.2	315	153, 123	Idrossitirosolo-glucoside
5	15.4	non identificato	241	Derivato dell'acido elenolico
6	16.3	non identificato	241	Derivato dell'acido elenolico
7	19.5	179	135	Acido caffeico
8	20.6	403	-	Acido elenolico glucoside
9	28.4	525	389, 319, 183	Demetiloleuropeina
10	29.4	non identificato	653, 477	-
11	30.2	non identificato	485, 599	-
12	30.9	623	461, 161	Verbascoside
13a	32.2	447	285	Luteolina-7-glucoside
13b	32.3	319	183, 139	OHTy-DEDA
14	33.4	609	301	Rutina
15	34.2	377	307	Oleuropeina aglicone
16	35.8	539	377, 307, 275, 225	Oleuropeina
17	36.3	447	301	Quercetina-3-ramnoside
18	37.3	447	285	Luteolina-4-glucoside
19	38.0	551	507, 389, 341	6'-β-glucopiranosil-oleoside
20	39.0	539	377, 307, 275	Oleuroside
21	40.3	377	307	Oleuropeina aglicone
22	41.4	535	491, 325	6'ramnopiranosil oleoside
23	44.0	523	361, 291, 259, 101	Ligstroside
24	44.9	285	-	Luteolina
25	50.1	269	-	Apigenina
26	51.6	non identificato	557	-

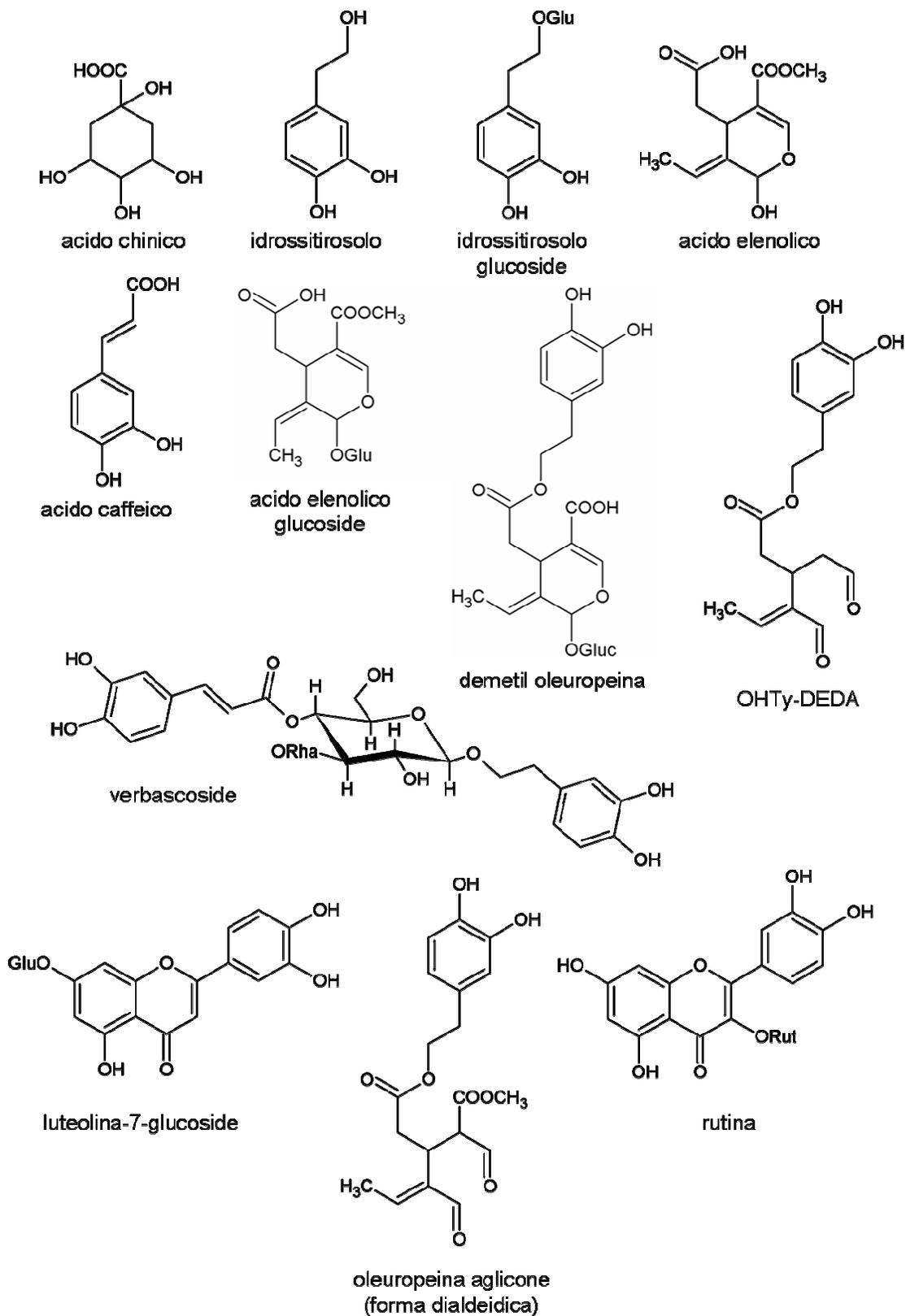


Figura 25. Formule di struttura dei composti identificati (continua).

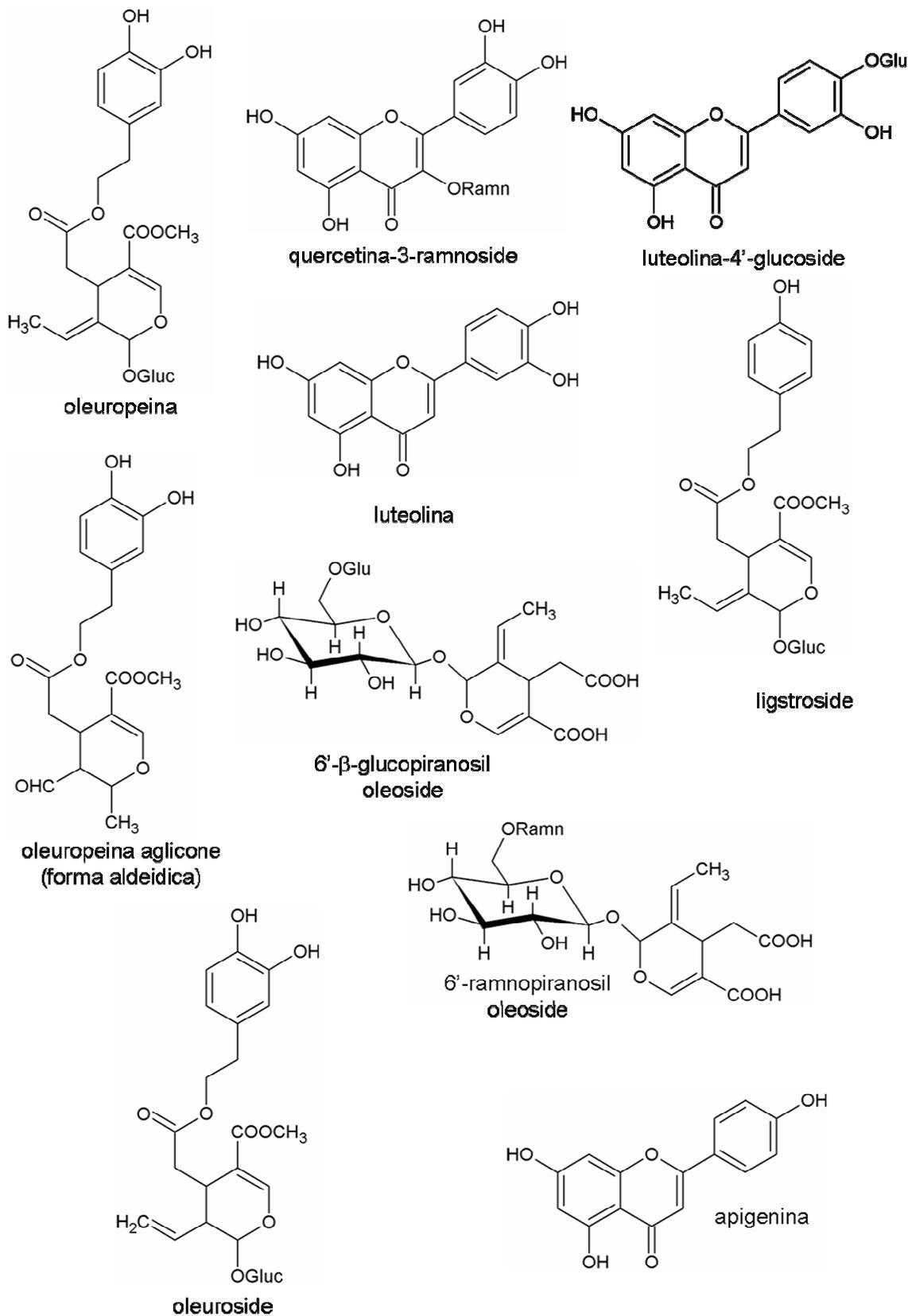


Figura 25. (continua) Formule di struttura dei composti identificati.

Picchi 1; 2. I primi due composti eluiti (tempi di ritenzione 1.3 e 2.5 min rispettivamente) erano caratterizzati da uno spettro di massa con un intenso ione a m/z 191, che potrebbe suggerire la presenza di un residuo di acido chinico (Sánchez-Rabaneda *et al.*, 2004).

Idrossitirosolo e tirosolo. L'esame dei cromatogrammi in *full-scan mode* ha rivelato la presenza di idrossitirosolo: gli spettri ottenuti per questo fenil alcol in modalità di acquisizione negativa hanno mostrato un intenso picco corrispondente alla molecola deprotonata $[M-H]^-$ ed un frammento a m/z 123, dovuto alla perdita del gruppo CH_2OH (De la Torre-Carbot *et al.*, 2005).

Il tirosolo non è stato rivelato all'analisi MS, probabilmente a causa delle sue proprietà acide e dei parametri operativi (solvente e condizioni di ionizzazione) non favorevoli alla sua ionizzazione. Tuttavia, lo ione corrispondente alla molecola deprotonata $[M-H]^-$ a m/z 137 è stato rivelato in modalità SIM (Single Ion Monitoring). Inoltre, tale composto è stato identificato negli estratti all'analisi HPLC-UV mediante confronto dello spettro di assorbimento e del tempo di ritenzione con quelli dello standard.

Questi composti sono frequentemente rilevati nella polpa delle olive e sono stati ampiamente studiati, per ciò che riguarda in particolare la loro attività antiossidante e le loro proprietà nutrizionali, le quali risultano possedute in misura molto maggiore dall'idrossitirosolo che non dal tirosolo (Ryan e Robards, 1998; Obied *et al.*, 2005). La presenza di un singolo gruppo $-OH$, come nel tirosolo, conferisce infatti una limitata attività antiossidante, di molto rafforzata, invece, dal gruppo *orto*-difenolico che caratterizza l'idrossitirosolo (Bouaziz *et al.*, 2005).

Idrossitirosolo glucoside. Gli spettri ESI-MS del composto eluito a 11.2 minuti hanno mostrato un intenso picco a m/z 315, che ha originato, in condizioni operative favorevoli ad una maggiore frammentazione, due frammenti principali, uno a m/z 153 e l'altro a 123 (**figura 26**). Tale evidenza suggerisce che il composto potrebbe essere identificato come un glucoside C6 dell'idrossitirosolo. Tre isomeri dell'idrossitirosolo glucoside sono stati individuati nel frutto dell'olivo (Cardoso *et al.* 2005; Ryan *et al.* 2002b; Bianco *et al.* 1998): Bianco *et al.* hanno riportato l'idrossitirosolo-4- β -glucoside come isomero più abbondante nella polpa dell'oliva, mentre Cardoso *et al.* (2005), in accordo con quanto pubblicato da De Nino *et al.* (1999), hanno ritrovato l'idrossitirosolo-1'- β -glucoside nella polpa e nella sansa di oliva.

Il profilo di frammentazione dello ione pseudomolecolare a m/z 315 mostra una grande similarità con quello riportato da De Nino *et al.* (1999) per l'idrossitirosolo-1'- β -glucoside, permettendo di identificare con tale isomero il composto in questione.

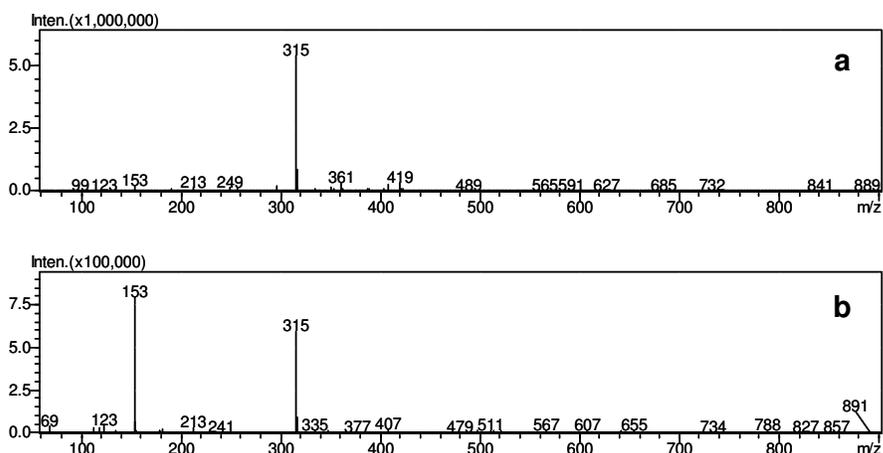


Figura 26. Spettri di massa acquisiti in *full scan mode* per l'idrossitirosolo glucoside: a) condizioni MS iniziali; b) condizioni MS modificate allo scopo di ottenere una migliore frammentazione.

Picchi 5; 6. Ai tempi di ritenzione di 15.4 e 16.3 minuti, sono stati osservati due composti i cui spettri ESI-MS risultano caratterizzati da un intenso ione a m/z 241, corrispondente alla molecola deprotonata dell'acido elenolico. Questa osservazione, in aggiunta alla considerazione che questi composti possono essere rivelati solo a 240 nm all'analisi HPLC-UV, consente di dedurre che potrebbero essere identificati quali derivati dell'acido elenolico.

Acido caffeico. L'acido caffeico è stato identificato confrontando lo spettro ESI-MS con quello mostrato da uno standard puro. Lo spettro generato per questo acido fenolico in modalità di acquisizione in ioni negativi presenta la molecola deprotonata $[M-H]^-$ a m/z 179 e un frammento caratteristico a m/z 135 $[M-H-44]^-$ dovuto alla perdita di CO_2 .

Acido elenolico glucoside. Il composto eluito a 20.6 min mostra un intenso ione a m/z 403, corrispondente allo ione molecolare deprotonato $[M-H]^-$ descritto in letteratura per l'11-metiloleoside (glucoside dell'acido elenolico), un prodotto di degradazione dell'oleuropeina che si accumula durante la maturazione. Questo composto è stato già identificato nelle olive (Cardoso *et al.* 2005; Ryan *et al.*, 2002b; Ryan *et al.* 1999a), così come in altre specie appartenenti alla famiglia delle Oleaceae (Soler-Rivas *et al.*, 2000).

Demetiloleuropeina. Lo studio dello spettro di massa e del profilo di frammentazione (**figura 27**), assieme al confronto con i dati riportati in letteratura (Ryan *et al.* 2002b; Soler-Rivas *et al.*, 2000), ha consentito l'identificazione della demetiloleuropeina negli estratti fenolici da olive. Lo spettro di massa di questo glicoside secoiridoide mostra un intenso picco a m/z 525, corrispondente alla molecola deprotonata. Il profilo di frammentazione ottenuto è risultato caratterizzato da tre frammenti principali, a m/z 389, m/z 319 e m/z 183, rispettivamente. Lo ione a m/z 389 indica la liberazione di idrossitirosolo (**figura 28**) dalla molecola, confermata dall'osservazione, in modalità di acquisizione in ioni positivi, di un frammento a m/z 137, caratteristico dei derivati dell'idrossitirosolo (De Nino *et al.*, 1999).

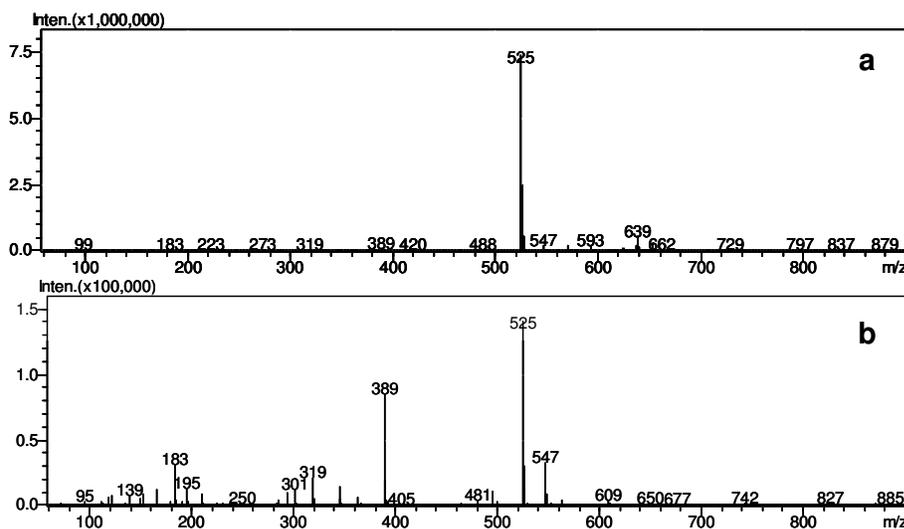


Figura 27. Spettri di massa acquisiti in full scan mode per la demetiloleuropeina: a) condizioni MS iniziali; b) condizioni MS modificate allo scopo di ottenere una migliore frammentazione.

Come mostrato in **figura 28**, il frammento a m/z 319 è giustificato dalla perdita di una molecola di CO_2 dal gruppo carbossilico dell'aglicone, risultante a sua volta dalla perdita di una molecola di glucosio (**figura 28**, frammentazione B). Un'ulteriore perdita di una molecola di idrossitirosolo (frammentazione A) da quest'ultima struttura (decarbossimetil oleuropeina aglicone, m/z 319) origina un frammento a m/z 183, corrispondente al decarbossimetil acido elenolico.

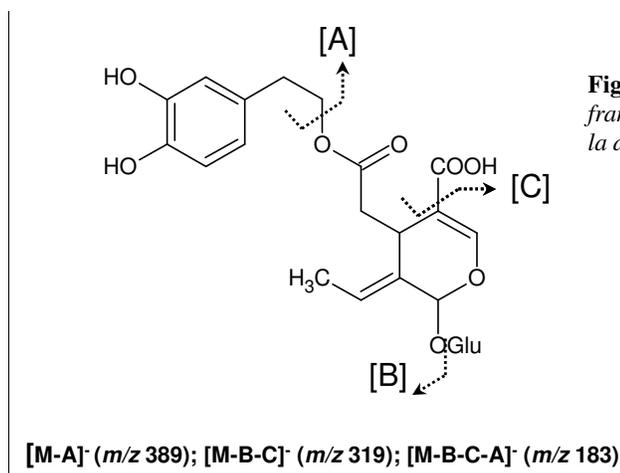


Figura 28. Schema di frammentazione proposto per la demetiloleuropeina.

La presenza di demetiloleuropeina nei frutti dell'olivo è stata già riportata (Ryan e Robards, 1998); al pari dell'acido elenolico glucoside, questo derivato glicosilato dell'oleuropeina si accumula durante la maturazione (Soler-Rivas *et al.*, 2000). Entrambi i composti potrebbero essere originati dall'azione delle esterasi sull'oleuropeina (Amiot *et al.*, 1989).

Verbascoside. Il frutto dell'olivo contiene, oltre a oleuropeina, ligstroside e demetiloleuropeina, altri glicosidi fenolici quale il verbascoside (un estere eterosidico di acido caffeico e idrossitirosolo) e altri componenti minori con strutture analoghe (isoacteoside, β -idrossiacteoside) (Mulinacci *et al.*, 2005; Soler-Rivas *et al.*, 2000; Ryan *et al.*, 1999a). Sia in acquisizione in modalità scan che in modalità SIM, solo un composto (RT 30.9 min) caratterizzato da uno ione a *m/z* 623 (molecola deprotonata del verbascoside) è stato rilevato negli estratti dalla polpa delle olive cv. Pisciotana. Il composto è stato identificato come verbascoside, mediante confronto dello spettro di massa, del tempo di ritenzione e dello spettro UV con quelli dello standard. Utili per l'identificazione sono risultati il picco base, rappresentato, in modalità di acquisizione in ioni negativi, dallo ione pseudomolecolare (*m/z* 623), e qualche altro frammento di bassa intensità. In particolare, sono stati osservati due ioni caratteristici del verbascoside, a *m/z* 461 e 161. La perdita di acido caffeico produce, infatti, uno ione a *m/z* 461 e un frammento neutro, mentre il picco a *m/z* 161 risulta da un trasferimento protonico e dalla produzione di un chetene anionico (Ryan *et al.* 1999a).

Forma dialdeidica della decarbossimetil oleuropeina aglicone (OHTy-DEDA). L'esame dei cromatogrammi ottenuti per gli estratti fenolici in modalità full-scan ha rivelato la presenza della molecola deprotonata [M-H]⁻ della OHTy-DEDA (at *m/z* 319), che coeluisce con un flavonoide (luteolina glucoside) nelle condizioni cromatografiche utilizzate. L'identificazione è stata effettuata raccogliendo una frazione corrispondente a questo composto a valle della separazione cromatografica in HPLC-UV e sottoponendola all'analisi ESI-MS. Gli spettri di frammentazione mostrano lo ione pseudomolecolare [M-H]⁻, un frammento a *m/z* 183 che può essere spiegato con la perdita di idrossitirosolo, e un frammento a *m/z* 139 originato dall'ulteriore distacco di una molecola di CO₂.

La presenza di OHTy-DEDA nei frutti della cv *Pisciotana* conferma quanto suggerito da Ryan *et al.* (2002a): questo composto va considerato un intermedio nella biosintesi dell'oleuropeina piuttosto che un prodotto di degradazione risultante dall'attività enzimatica durante il processo di estrazione dell'olio, come precedentemente ipotizzato da Rovellini e Cortesi (2002) e da Servili *et al.* (1999).

Rutina. Per mezzo dell'analisi LC-MS è stato possibile rilevare la presenza della quercetina-3-O-rutinoside (rutina) negli estratti fenolici. L'assegnazione della struttura è stata fondata sulla ricerca dello ione molecolare mediante estrazione dei cromatogrammi relativi alla corrente prodotta dai singoli ioni e sul confronto con dati riportati in letteratura (Ryan *et al.*, 2002b; Vlahov, 1992; Bouaziz *et al.*, 2005). Lo spettro ESI-MS acquisito in modalità *full-scan* mostra un intenso ione pseudomolecolare a m/z 609, un frammento a m/z 301, indicativo dei derivati della quercetina, e un frammento a m/z 463, dovuto alla perdita di 146 amu corrispondenti al ramniosio. La presenza della rutina è già stata riportata per altre cultivar di olivo (Ryan *et al.*, 2002b; Vlahov, 1992; Bouaziz *et al.*, 2005; Cardoso *et al.*, 2005); molti effetti biologici sono stati attribuiti a questo flavonoide, che mostra attività antiossidanti, anti-infiammatorie, anticarcinogeniche, antimicrobiche, citoprotettive e vasoprotettive (Beretz e Cazenave, 1988; Hodnick e Pardini, 1998).

Oleuropeina aglicone. L'oleuropeina aglicone nelle sue varie forme tautomeriche è stata identificata negli estratti da olive: i due composti eluiti a 34.2 e 40.3 minuti mostrano una frammentazione simile a quella riportata per i derivati dell'oleuropeina (De la Torre-Carbot *et al.*, 2005; Caruso *et al.*, 2000). Oltre allo ione pseudomolecolare a m/z 377, negli spettri di massa è stato possibile osservare un frammento a m/z 307, dovuto alla perdita di C_4H_6O (Caruso *et al.*, 2000).

Oleuropeina. Come atteso, l'oleuropeina, uno dei componenti principali della frazione fenolica dell'oliva, è stata identificata negli estratti metanolici dalla polpa. Questo secoiridoide è in grado di conferire una certa resistenza ad infestazioni da parte di parassiti, quali la mosca dell'olivo (Soler-Rivas *et al.*, 2000); è, inoltre, responsabile del sapore amaro delle olive (Gutierrez-Rosales *et al.*, 2003) e mostra proprietà antiossidanti (Visioli e Galli, 1994).

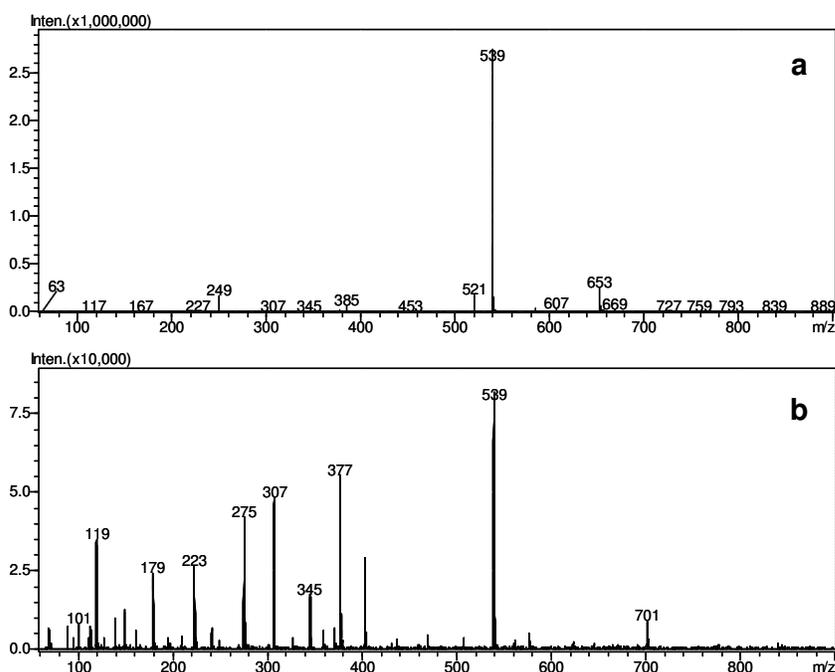


Figura 29. Spettri di massa acquisiti in *full scan mode* per l'oleuropeina: a) condizioni MS iniziali; b) condizioni MS modificate allo scopo di ottenere una migliore frammentazione.

L'identificazione è stata condotta mediante analisi LC-MS e HPLC-UV. Lo spettro ESI-MS (figura 29) mostra uno ione pseudomolecolare a m/z 539 e una frammentazione coerente con quella riportata per l'oleuropeina: lo ione a m/z 377 origina dalla rottura del legame glicosidico (Ryan *et al.*, 1999a); lo ione a m/z 307 è spiegato dalla perdita di un frammento C_4H_6O (Caruso *et al.*, 2000), mentre il frammento a m/z 275 potrebbe derivare da un riarrangiamento di altri frammenti (De la

Torre-Carbot *et al.*, 2005); è stato anche osservato uno ione a m/z 225, che potrebbe derivare da un riarrangiamento di McLafferty della funzione estere (Ryan *et al.*, 1999a).

Luteolina glucoside. Due composti (RT 32.2 e 37.3 minuti) con spettri corrispondenti a quello della luteolina glucoside sono stati individuati nelle olive cv Pisciotana. Per il primo isomero, che coeluisce con OHTy-DEDA, l'identificazione è stata effettuata raccogliendo una frazione ad esso corrispondente mediante separazione HPLC-UV e sottoponendola ad analisi LC-MS.

Entrambi gli isomeri mostrano spettri dominati dallo ione pseudomolecolare (m/z 447); la frammentazione genera un intenso picco a m/z 285, corrispondente alla perdita di 162 amu (perdita di glucosio), come mostrato in **figura 30**.

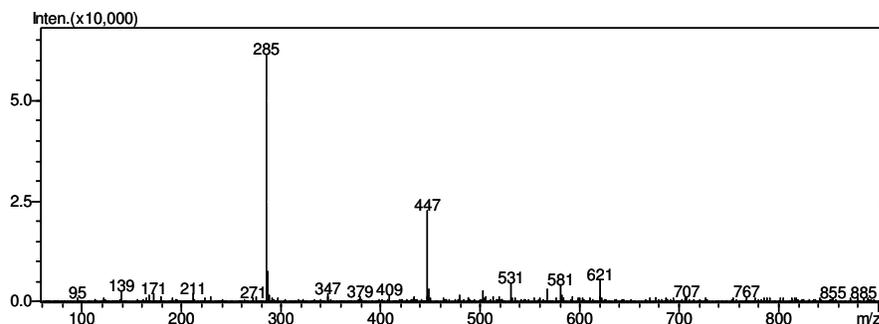


Figura 30. Spettro di massa acquisito in full scan mode per la luteolina glucoside (condizioni MS modificate allo scopo di ottenere una migliore frammentazione).

L'ipotesi che uno di questi picchi corrispondesse alla quercetina-ramnoside è stata scartata tenendo presente che lo spettro di massa di questo composto avrebbe dovuto mostrare un picco a m/z 301 (corrispondente all'aglicone), piuttosto che quello osservato a m/z 285. Il primo composto eluito (RT 32.2 min) è stato identificato come luteolina-7-glucoside confrontando tempo di ritenzione e spettro di massa con quelli dello standard. Nei frutti dell'olivo sono state individuate altre forme di luteolina-glucoside: la luteolina-4-glucoside (Ryan *et al.*, 2002b; Bouaziz *et al.*, 2005) e un altro isomero che non è stato identificato né come luteolina-6-glucoside né come luteolina-8-glucoside (Ryan *et al.*, 2002b). Queste considerazioni, unite al fatto che la luteolina-4-glucoside è l'unico isomero che eluisce dopo la luteolina-7-glucoside in una separazione HPLC in fase inversa, suggeriscono che il secondo composto (RT 37.3 min) potrebbe essere identificato come luteolina-4-glucoside.

Quercetina-3-ramnoside. Lo spettro ESI-MS ottenuto per il composto eluito a 36.3 minuti mostra un intenso ione a m/z 447 e un frammento a m/z 301 (**figura 31**), che potrebbe corrispondere allo ione pseudomolecolare della quercetina-3-ramnoside (quercitrina) e al suo aglicone (quercetina), rispettivamente.

La quercetina-3-ramnoside è stata già individuata nella polpa e nelle foglie dell'olivo (Ryan *et al.*, 1999b; Vlahov, 1992), sebbene sia stata riportata raramente.

Numerose proprietà biologiche sono riportate per questo flavonoide: agisce come antiossidante riducendo il danno provocato dai radicali dell'ossigeno sul DNA (Noroozi *et al.*, 1998), mostra attività antivirale e anti-infiammatoria (Raj Narayana *et al.*, 2001; Camuesco *et al.*, 2004); per il suo aglicone (la quercetina) sono state riportate attività cardiotoniche, antineoplastiche, antimicrobiche e antiulcerogeniche, un'azione di protezione delle *low-density lipoproteins* (LDL) nei confronti del danno ossidativo ed una particolare efficacia nell'inattivare i radicali liberi (Raj Narayana *et al.*, 2001).

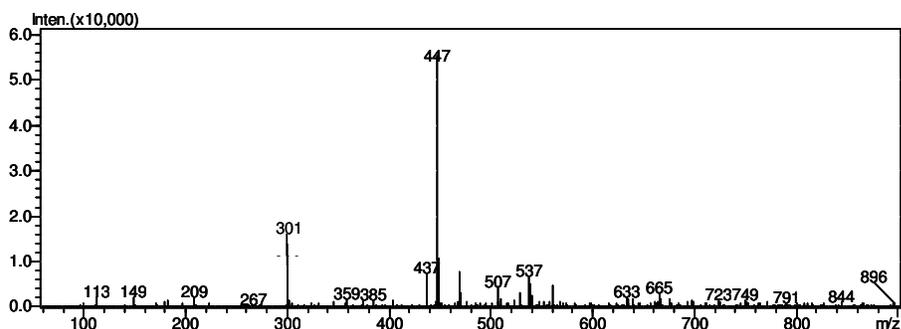


Figura 31. Spettro di massa acquisito in full scan mode per la quercetina-3-ramnoside.

6'- β -glucopiranosil oleoside. Un derivato dell'oleoside (6'- β -glucopiranosil-oleoside), recentemente rilevato per la prima volta in *Olea europaea* da Cardoso *et al.* (2005), è stato identificato negli estratti dalla polpa di oliva (RT 38.0 min). Lo spettro di massa di tale composto ha mostrato un intenso picco a m/z 551, corrispondente allo ione pseudomolecolare. Inoltre, lo schema di frammentazione si mostrava in accordo con quello suggerito da Cardoso *et al.* (2005): uno ione a m/z 507 si origina dalla perdita di CO_2 (-44 u); il frammento a m/z 389 (oleoside) deriva dalla perdita di una molecola di glucosio (162 u), mentre quello a m/z 341 corrisponde ad un disaccaride (glucosio legato allo zucchero dell'oleoside).

Oleuroside. Il composto eluito a 39.1 min ha mostrato lo stesso spettro di massa riportato per l'oleuropeina, con la presenza di un intenso ione a m/z 539 e diversi altri frammenti (m/z 377, 307 e 275), suggerendo che potrebbe essere identificato come oleuroside (**figura 32**). Questo glucoside è un isomero strutturale dell'oleuropeina, da cui differisce per la posizione del doppio legame olefinico; è stato riportato eluire dopo l'oleuropeina in fase inversa (Savournin *et al.*, 2001).

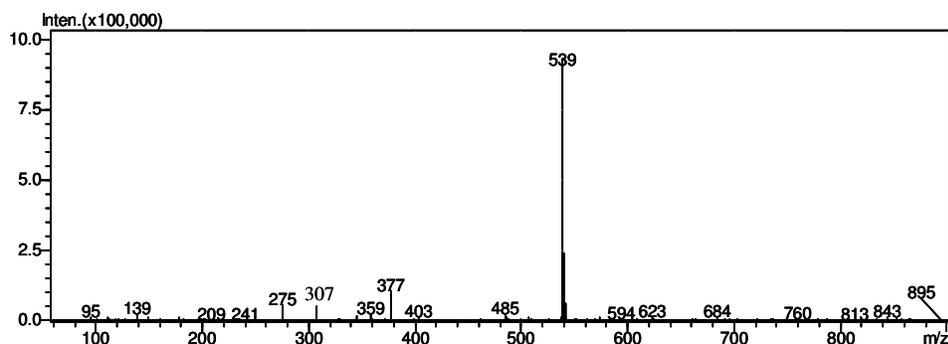


Figura 32. Spettro di massa acquisito in modalità full scan per l'oleuroside.

Lo ione a m/z 377 è dovuto alla perdita di una molecola di glucosio, mentre i frammenti a m/z 307 e m/z 275 sono originati dalla perdita di un gruppo $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}$ (Caruso *et al.*, 2000).

L'oleuroside è un derivato fenolico delle secologanine, l'unico tra questi secoiridoidi ad essere stato identificato nelle foglie e nella polpa di oliva (Ryan *et al.*, 2002b; Gariboldi *et al.*, 1986; Kuwajima *et al.*, 1988).

6'- β -ramnopiranosil oleoside. Lo spettro di massa di questo composto ha rivelato un intenso ione a m/z 535, che potrebbe corrispondere alla molecola deprotonata $[\text{M}-\text{H}]^-$. Cardoso *et al.* (2005) hanno rilevato nella polpa e nella sansa di oliva un derivato dell'oleoside di massa molecolare 536 u, che è stato identificato come 6'- β -ramnopiranosil-oleoside.

Lo spettro di frammentazione ottenuto per questo composto ha mostrato due frammenti a m/z 491 e m/z 325, che potrebbero essere spiegati rispettivamente dalla perdita di CO_2 (-44 u) e dalla presenza di un disaccaride ramnosio-glucosio, coma riportato da Cardoso *et al.* (2005).

Ligstroside. L'identificazione del ligstroside, un altro glucoside fenolico, è stata effettuata mediante l'osservazione dello spettro di frammentazione (**figura 33**), caratterizzato dallo ione pseudomolecolare a m/z 523 [M-H]⁻ e da altri due frammenti a m/z 361 e m/z 291.

Come riportato per l'oleuropeina, questi frammenti corrispondono rispettivamente alla rottura del legame glicosidico (m/z 361) e alla perdita di un frammento C₄H₆O (Caruso *et al.*, 2000). Sono stati anche osservati due ioni a m/z 259 e 101, che potrebbero essere dovuti ad un riarrangiamento, come precedentemente riportato (De la Torre-Carbot *et al.*, 2005).

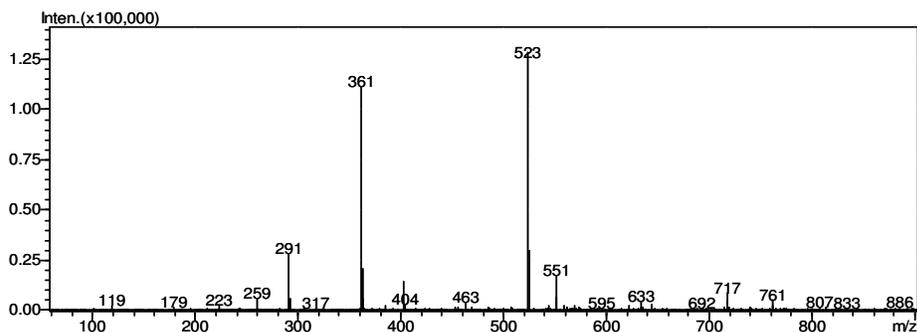


Figura 33. Spettro di massa acquisito in modalità full scan per il ligstroside.

Luteolina e apigenina. Luteolina e apigenina sono state identificate per la presenza per entrambe nello spettro di massa di un intenso ione pseudomolecolare (m/z 285 e m/z 269, rispettivamente). L'identificazione è stata confermata mediante osservazione dello spettro di assorbimento UV.

Per questi due flavonoidi, rilevati nei frutti di olivo appartenenti a varie cultivar (Owen *et al.*, 2003; Ryan *et al.*, 2002b; Bouaziz *et al.*, 2005), sono state riportate importanti proprietà biologiche, quali attività antiossidante, anti-infiammatoria, antimicrobica e cardiotonica, capacità di inattivare i radicali liberi e di inibire l'ossidazione delle proteine LDL (Raj Narayana *et al.*, 2001).

Picco 26. Il composto eluito a 51.6 min ha mostrato uno spettro di massa dominato dallo ione a m/z 557, che potrebbe corrispondere allo ione pseudomolecolare [M-H]⁻. È stato osservato anche un frammento a m/z 513, che suggerisce la presenza di un gruppo COOH di facile rimozione. Queste osservazioni, comunque, non sono state sufficienti per suggerire una struttura plausibile per tale composto.

La quantificazione dei composti fenolici è stata condotta mediante analisi HPLC-UV. Molti dei composti identificati mediante analisi LC-MS sono stati individuati anche nei cromatogrammi HPLC: l'identificazione è stata realizzata, oltre che mediante confronto con i tempi di ritenzione di standard di composti fenolici, anche mediante raccolta, a valle della separazione cromatografica, di frazioni corrispondenti a ciascun picco del cromatogramma HPLC e iniezione di tali frazioni in LC-MS.

In **figura 34** è riportato un cromatogramma HPLC di un estratto fenolico da polpa di olive. I picchi a cui si è riusciti ad assegnare un composto sono identificati mediante gli stessi numeri riportati in tabella 9; i picchi incogniti, cui non si è riusciti ad assegnare un peso molecolare mediante analisi LC-MS, ma che in ogni caso sono stati quantificati mediante analisi HPLC, sono identificati con le lettere a-f.

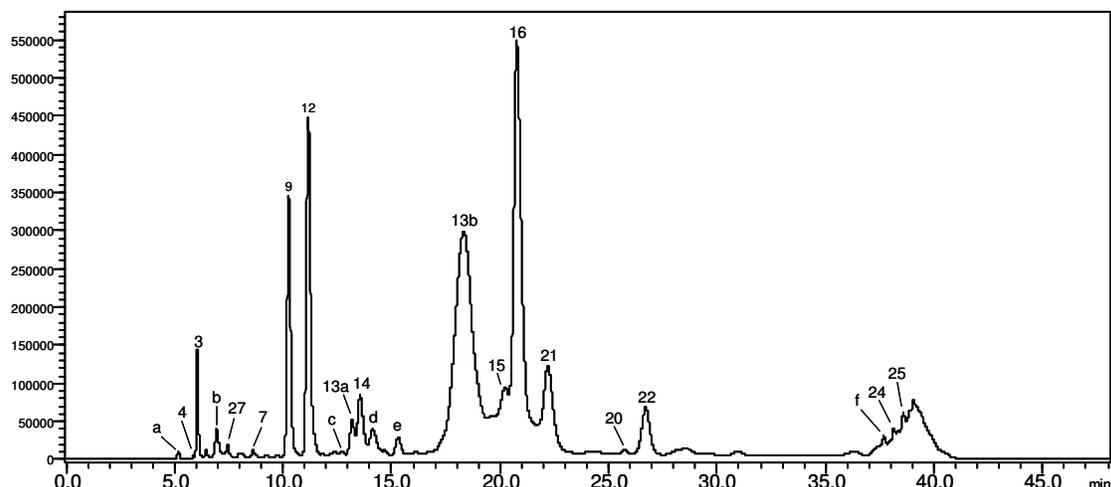


Figura 34. Cromatogramma HPLC-UV di un estratto fenolico da polpa di oliva.

Il contenuto di ciascun composto fenolico individuato negli estratti dalla polpa delle olive campionate nei 14 siti sperimentali è riportato in **tabella 11**.

Tabella 11. Composizione in composti fenolici degli estratti da olive ottenuta mediante HPLC (valori espressi in ppm acido caffeico).

Picco	Sito													
	1	2	3	4	5	9	11	12	13	14	15	16	18	19
a	0,8	2,6	nr	nr	1,4	nr	nr	nr	1,3	nr	nr	nr	12,6	8,0
4	nr	nr	nr	nr	nr	0,6	nr	5,8	nr	nr	nr	nr	nr	nr
3	23,1	36,3	38,8	21,1	47,0	44,5	21,2	37,3	53,0	37,1	30,3	55,8	60,3	49,3
b	4,5	nr	nr	nr	8,0	nr	nr	nr	nr	10,1	3,6	4,4	nr	7,7
27	nr	nr	nr	nr	2,4	1,4	nr	nr	0,3	0,7	0,3	2,2	4,9	1,6
7	nr	nr	3,9	nr	nr	5,3	nr	11,6	10,4	1,6	nr	nr	1,0	0,2
9	19,4	8,6	0,1	16,9	45,3	2,0	21,2	5,0	1,1	51,3	74,4	53,2	39,1	48,6
12	124,4	90,1	23,0	41,6	149,6	36,2	6,9	nr	27,7	47,5	153,3	180,1	196,7	190,6
c	2,4	2,9	1,7	2,5	4,6	nr	0,2	0,4	2,6	nr	nr	0,6	3,7	2,6
13a+14	81,4	60,4	27,1	53,0	61,8	18,3	27,3	43,8	17,0	36,7	39,0	40,4	115,5	112,2
d	9,4	9,0	16,3	5,6	10,1	12,2	nr	nr	12,8	6,6	8,6	11,9	8,2	11,0
e	7,4	2,2	6,6	7,0	9,9	0,3	nr	nr	2,4	1,4	4,9	7,9	8,6	10,7
13b	1150,5	621,0	617,3	865,7	673,1	600,6	949,8	677,5	506,1	412,3	546,1	562,4	714,9	719,4
15	155,5	118,5	104,0	180,1	117,8	55,7	166,1	151,2	88,6	86,8	77,7	80,4	172,4	157,8
16	69,1	78,0	27,9	186,4	325,9	50,5	238,2	136,7	27,3	219,7	415,9	409,6	197,2	140,1
21	191,5	145,6	129,3	242,9	196,5	78,2	200,0	145,6	128,6	108,9	132,6	141,9	245,2	199,0
20	2,8	0,3	1,5	6,3	5,4	nr	nr	0,2	nr	2,6	nr	nr	8,1	2,9
22	19,1	10,3	2,6	12,5	30,0	2,9	11,8	6,9	10,5	11,5	33,3	20,4	41,5	32,0
f	2,4	nr	2,0	2,4	0,9	0,4	18,6	4,4	5,9	nr	4,5	6,2	32,3	1,3
24	22,3	14,1	16,1	14,5	15,3	14,7	25,1	47,1	16,6	4,6	8,4	10,6	21,9	17,9
25	65,3	55,1	46,4	52,0	38,1	19,5	46,1	20,7	69,8	17,0	18,6	24,4	72,0	36,5

nr = non rilevato (limite di rilevabilità = 0,2 ppm)

Il contenuto in fenoli totali è stato determinato, oltre che mediante HPLC, anche mediante il metodo colorimetrico di Folin-Ciocalteu.

I risultati ottenuti con i due metodi sono ben correlati tra loro (**figura 35**), ma molto diversi in valore, confermando quanto poco siano confrontabili le misure di composti fenolici effettuate con metodi differenti o riportate in differenti lavori, a causa della diversità nelle risposte dei composti

fenolici ai vari metodi di rivelazione. Risulta, invece, attendibile il contenuto relativo di composti fenolici nell'ambito di una serie di campioni analizzati.

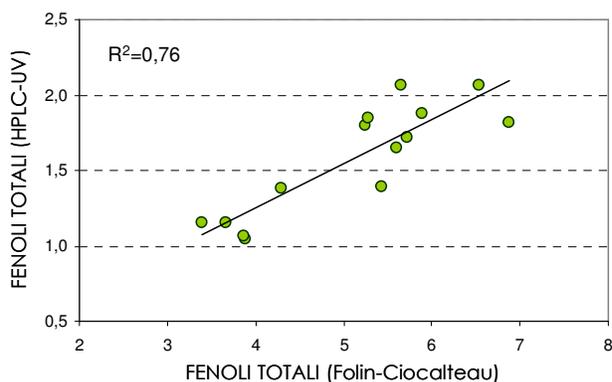


Figura 35. Confronto tra i valori di contenuto in fenoli totali ottenuti con due differenti metodi di misura.

4.3 CARATTERIZZAZIONE DELL'OLIO: MATERIALI E METODI

4.3.1 Micro-oleificazione

In 4 dei 14 siti sperimentali è stata effettuata anche una caratterizzazione, mediante analisi strumentale e sensoriale, dell'olio ottenuto mediante micro-oleificazione.

A tal fine sono stati prelevati campioni di olive di circa 25 kg, dalle stesse piante da cui sono stati prelevati i campioni per la caratterizzazione della drupa. La raccolta è stata effettuata a mano, con l'ausilio di reti di plastica per la captazione delle drupe, in due date differenti (23 ottobre e 13 novembre 2005) allo scopo di omogeneizzare lo stadio di maturazione tra i campioni.

Le olive così ottenute, dopo essere state esaminate per valutarne lo stadio di maturazione ed il danno da mosca olearia, sono state trasportate, in cassette di plastica, presso l'Azienda Agricola Sperimentale Regionale *Improsta* (Battipaglia, Salerno) per la trasformazione. L'impianto di micro-oleificazione utilizzato (Oliomio tipo Mini 50, Toscana Enologica Mori, Firenze) opera in condizioni standard e su un ridotto quantitativo di olive (15-20 kg). Esso è costituito da un sistema di frangitura a martelli i quali agiscono su una griglia forata; la pasta ottenuta cade nella gramola, da dove viene rimossa dalla coclea di alimentazione e spinta all'interno della centrifuga decanter. Quest'ultima, comandata da un motore elettrico collegato al frangitore, provvede alla separazione dell'olio dalla sansa umida (2 fasi). Per la sansa è previsto uno scarico motorizzato a coclea, mentre per l'olio un condotto a caduta libera.

I campioni di olive, prima della trasformazione, hanno subito lavaggio e defogliazione. La frangitura ha avuto una durata media di 7-10 minuti. Le olive frantumate sono state gramolate per 30 minuti a temperatura di circa 30°C. Al termine della lavorazione di ogni campione, tutte le parti operative del microfrantoio sono state accuratamente lavate con acqua a pressione. I campioni di olio ottenuti sono stati posti in bottiglie di vetro scuro, trasportati in laboratorio, filtrati su cotone idrofilo e conservati al buio a 4°C fino al momento delle analisi.

La caratterizzazione dell'olio è stata condotta attraverso le seguenti determinazioni analitiche:

- determinazione dell'acidità;
- determinazione del numero di perossidi;
- determinazione degli indici spettrofotometrici nell'ultravioletto;
- determinazione del contenuto e della composizione in composti fenolici;

- determinazione del contenuto e della composizione in tocoferoli;
- analisi sensoriale (Panel test);
- determinazione strumentale dei composti volatili mediante analisi GC-MS dello spazio di testa dinamico.

4.3.2 Determinazione degli indici di qualità

La determinazione dell'acidità, del numero di perossidi e degli indici spettrofotometrici nell'UV è stata effettuata secondo le metodiche ufficiali indicate dalla legislazione europea vigente (Regolamento CEE 2568/91 e successive modifiche e aggiornamenti).

La determinazione dell'acidità prevede la titolazione degli acidi grassi liberi mediante una soluzione di idrossido di potassio 0,10 N, fino al punto di equilibrio della reazione di neutralizzazione, evidenziato da un indicatore.

La determinazione del numero di perossidi prevede la titolazione, con una soluzione di tiosolfato di sodio 0,01 N, dello iodio molecolare originato dall'ossidazione dello ioduro di potassio da parte degli idroperossidi, prodotti primari di ossidazione dell'olio. Come indicatore si utilizza la salda d'amido, che si colora di blu-viola in presenza di iodio molecolare.

Lo stato di degradazione ossidativa di un olio, oltre che attraverso la determinazione del numero di perossidi, si può valutare attraverso la misura dell'assorbanza a lunghezze d'onda specifiche nell'ultravioletto, indice della presenza di sistemi dienici e trienici coniugati originati dall'ossidazione primaria degli acidi grassi. La coniugazione di due doppi legami determina un maggior assorbimento spettrofotometrico nella regione dell'UV alla lunghezza d'onda di 232 nm, mentre la coniugazione di tre doppi legami comporta un aumento dell'assorbimento alla lunghezza d'onda di 270 nm. A questa stessa lunghezza d'onda presentano massimi di assorbimento anche i prodotti secondari di ossidazione, derivanti dalla decomposizione degli idroperossidi (2,4-alcadienali). I valori di tali assorbimenti sono espressi come estinzione specifica $E_{1\% 1\text{cm}}$, cioè estinzione di una soluzione della sostanza grassa all'1% in spessore di 1 cm, e sono indicati con K (coefficiente di estinzione).

Per l'analisi è stato utilizzato uno spettrofotometro a doppio raggio UV-visibile Shimadzu mod. UV-1700 (Shimadzu Italia, Milano).

4.3.3 Determinazione del contenuto e della composizione in composti fenolici

I composti fenolici sono stati determinati seguendo un metodo messo a punto per la loro estrazione quantitativa dall'olio e sono stati analizzati mediante HPLC e mediante metodo colorimetrico di Folin-Ciocalteu.

Partendo dalla metodica classica di estrazione descritta da Vasquez-Roncero (1978), sono state apportate alcune modifiche allo scopo di minimizzare i volumi di solvente utilizzati.

Un'aliquota di campione di olio (10 g) disciolto in esano (10 ml) è stata estratta in imbuto separatore con una miscela acqua/metanolo (40/60 v/v) (3x7ml); l'estratto idroalcolico ottenuto è stato lavato con esano per eliminare eventuali contaminazioni oleose e centrifugato per 10 minuti a 3500 giri/min.; la fase metanolica è stata raccolta in un pallone ed evaporata sottovuoto in evaporatore rotante (40°C). Il residuo è stato ripreso con 2 ml di metanolo.

La separazione, l'identificazione e la quantificazione dei composti fenolici presenti negli estratti sono state condotte mediante analisi HPLC (High Performance Liquid Chromatography). È stato utilizzato un HPLC (SHIMADZU, mod. LC-10ATVP) provvisto di rilevatore UV-Vis DIODE

ARRAY (SHIMADZU, mod. SPD-M10AVP) e di un software di acquisizione Shimadzu *LC Solution* vers. 1.1, equipaggiato con una colonna a fase inversa (Phenomenex Prodigy ODS3 250 x 4.6 mm, 5 μ).

Le condizioni cromatografiche sono state le seguenti:

Eluenti: A) acqua + acido trifluoroacetico 3%; B) metanolo 20% + acetonitrile 80%;

Gradiente di eluizione: dal 5% al 70% di B in 40 min;

Flusso in colonna: 1 ml min⁻¹;

Quantità iniettata: 20 μ l.

L'identificazione dei principali picchi è stata effettuata per comparazione dei tempi di ritenzione e degli spettri di assorbimento con quelli mostrati da standard puri o riportati in letteratura (Montedoro *et al.*, 1993; Brenes *et al.*, 2000).

L'analisi quantitativa dei singoli componenti è stata condotta a 279 nm con riferimento ad uno standard esterno (acido caffeico) impiegato per la costruzione della retta di calibrazione.

La quantificazione dei composti fenolici è stata effettuata, oltre che mediante analisi HPLC, anche mediante il metodo colorimetrico di Folin-Ciocalteau (1927), come descritto per gli estratti fenolici dalla polpa (§ 4.1.9).

4.3.4 Determinazione del contenuto e della composizione in tocoferoli

I tocoferoli dell'olio sono stati determinati mediante analisi HPLC su colonna a fase inversa.

0.20 g di olio sono stati disciolti in 3 ml di etil acetato e la soluzione ottenuta è stata iniettata in HPLC.

È stato utilizzato un HPLC (SHIMADZU, mod. LC-10ADvp) provvisto di rilevatore UV-Vis (SHIMADZU, mod. SPD-10AVvp) e di un software di acquisizione Shimadzu *LC Solution* vers. 1.1, equipaggiato con una colonna a fase inversa (Supelco Discovery HS C18 250 x 4.6 mm, 5 μ).

Le condizioni cromatografiche sono state le seguenti:

Eluente: metanolo + acqua + acetonitrile (73,2 : 1,8 : 25 v/v/v);

Eluizione isocratica (20 minuti);

Flusso in colonna: 1,2 ml min⁻¹;

Quantità iniettata: 20 μ l;

Lunghezza d'onda di acquisizione: 290 nm.

La quantificazione è stata condotta con riferimento ad uno standard esterno (α -tocoferolo) impiegato per la costruzione della retta di calibrazione e i risultati sono stati espressi come mg α -tocoferolo / kg di olio (Tonolo e Marzo, 1989).

4.3.5 Analisi sensoriale

La caratterizzazione organolettica dei campioni di olio è stata effettuata, presso la sala di analisi sensoriale del Dipartimento di Scienza degli Alimenti, da un panel (giuria) di assaggiatori addestrati secondo quanto previsto dal Regolamento CE 796/02. Gli assaggiatori, allenati in sedute periodiche a riconoscere le sensazioni caratteristiche dell'olio ed a valutarne l'intensità, hanno esaminato il profilo sensoriale di ciascun campione. Le sedute di assaggio dei campioni sono state guidate da un capo-panel che ha avuto il compito di coordinare le diverse sedute e di elaborare i risultati delle schede di assaggio che ogni assaggiatore è stato tenuto a compilare per ciascun olio degustato. In tal modo è stata valutata la presenza e l'intensità relativa dei pregi oltre che di eventuali difetti.

4.3.6 Determinazione dei composti volatili mediante DHS/GC-MS

I composti volatili dell'olio sono stati caratterizzati mediante analisi GC-MS dello Spazio di Testa Dinamico (Dynamic Head Space, DHS) impiegando un sistema Purge and Trap (Teledyne Velocity XPT Purge and Trap sample concentrator, Tekmar-Dohrmann, Ohio, USA) (**figure 36-37**).

I composti volatili vengono liberati dall'olio mediante insufflaggio di gas inerte, separati mediante gas-cromatografia, identificati e quantificati mediante spettrometria di massa.

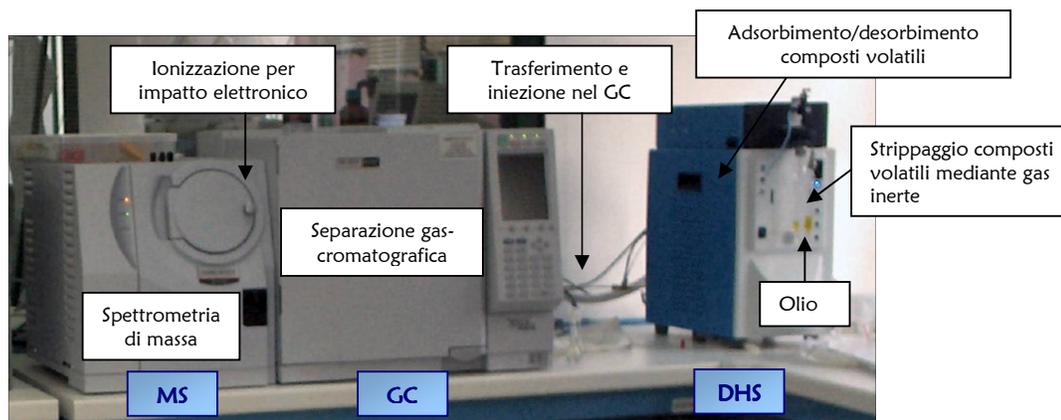


Figura 36. DHS/GC-MS utilizzato per l'analisi dei composti volatili dell'olio.

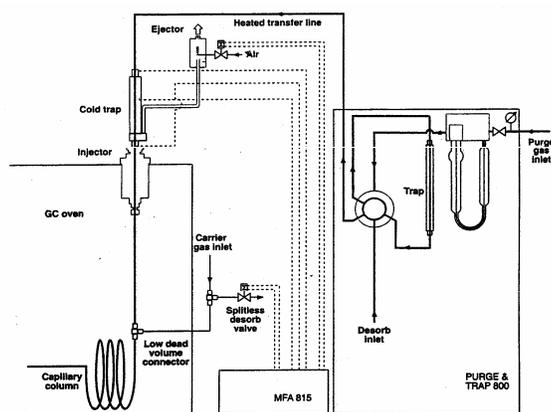


Figura 37. Schema del campionatore per lo spazio di testa dinamico dell'olio, della transfer line e dell'iniettore in colonna gas-cromatografica.

Una quantità pari a 3 ml di olio è stata posta nell'ampolla di analisi e addizionata di 3 μ l di una soluzione 2000 ppm di standard interno disciolto in olio rettificato (concentrazione finale 2000 ppb). Come standard interno (SI) per l'analisi quantitativa è stato utilizzato l'isobutilacetato purissimo $\geq 99,8\%$ (SIGMA-Aldrich, Steinheim, Germany).

Il campione immesso nell'ampolla di analisi è stato sottoposto alle seguenti fasi:

PREPURGE (durata 2 min): vengono eliminate, mediante flusso di elio, le tracce di ossigeno e altri composti gassosi eventualmente presenti nel campione che potrebbero favorire fenomeni di ossidazione durante l'analisi.

PURGE (durata 30 min): i composti volatili vengono strippati con gas inerte (elio) con una velocità di flusso di 200 ml/min e bloccati su una trappola costituita dalle seguenti fasi: carbone attivo/gel di silice/TENAX TA, mantenuta ad una temperatura di 50°C.

DRYPURGE (durata 4 min): nella trappola viene immesso un flusso di elio ad una velocità di 200 ml/min per rimuovere eventuali tracce di acqua. Inevitabilmente una parte dei composti più volatili viene persa.

DESORB (durata 10 min): la trappola viene riscaldata fino ad una temperatura di 260°C per consentire il distacco degli analiti precedentemente intrappolati; i composti volatili desorbiti vengono trasferiti al gas cromatografo mediante un flusso di elio a 200 ml/min.

Per l'analisi dei composti volatili dello spazio di testa dinamico è stato impiegato un Gas-Cromatografo/Spettrometro di Massa Shimadzu mod. QP-2010 dotato di colonna capillare polare in silice fusa mod. SUPELCOWAX™ 10 di 60 m di lunghezza, 0,32 mm di diametro interno e 0,50 µm di film thickness di glicole polietilenico (Supelco, Bellefonte, USA). Come gas di trasporto è stato utilizzato elio ad una velocità di flusso di 1,4 ml/min. E' stata impiegata la seguente programmata di tempo/temperatura:

- isoterma a 40°C per 4 minuti;
- incremento di temperatura di 3,5°C/min fino a 240°C;
- isoterma a 240°C per 2,9 minuti;
- temperatura iniettore 190°C.

Come rivelatore è stato utilizzato lo spettrometro di massa operante nelle seguenti condizioni:

- ionizzazione ad impatto elettronico (EI);
- temperatura interfaccia: 230°C;
- temperatura sorgente: 200°C;
- voltaggio sorgente: 70 eV;
- modalità scan; scan range 40-400 *m/z*;
- voltaggio detector: 0,9 kV.

I dati sono stati acquisiti mediante il software Shimadzu *GCMS Solution* vers. 2.3.

L'identificazione dei picchi, corrispondenti alle sostanze volatili presenti nello spazio di testa dinamico, è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di ritenzione (R.T.) con quelli di standards puri iniettati nelle stesse condizioni operative e degli spettri di massa con quelli presenti nella library (NIST 27; NIST 147).

La quantità di ciascun composto, espressa in ppb (µg di analita/l di olio), è stata determinata paragonando l'area del picco ad esso corrispondente con quella del picco dello standard interno, aggiunto ad ogni campione in concentrazione nota.

4.4 CARATTERIZZAZIONE DELL'OLIO: RISULTATI

Gli oli ottenuti mediante micro-oleificazione hanno presentato, ad un'analisi strumentale e sensoriale, ottime caratteristiche qualitative.

I parametri di qualità (acidità, perossidi, indici spettrofotometrici) sono risultati ampiamente al di sotto dei limiti imposti dall'attuale legislazione europea per un olio extra vergine (**tabella 12**).

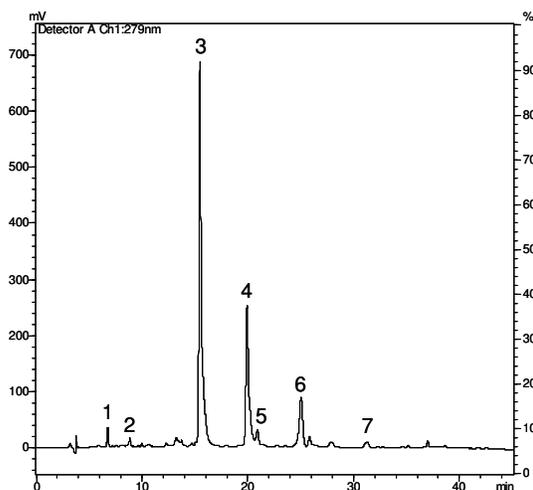
L'elevato contenuto di composti antiossidanti (composti fenolici e tocoferoli, tra i quali il più abbondante è l'α-tocoferolo) sono garanzia di una elevata resistenza all'ossidazione, quindi di una buona conservabilità del prodotto, oltre che di importanti proprietà nutrizionali possedute dall'alimento.

Tabella 12. Parametri di qualità (con i relativi limiti di legge per un olio extra vergine) e contenuto di composti antiossidanti rilevati nei campioni di olio.

	Acidità (%)	Numero di perossidi (meq O ₂ /kg olio)	Indici spettrofotometrici			Fenoli totali (ppm acido caffeico)	Tocoferoli (mg α-tocoferolo/kg olio)		
			K ₂₃₂	K ₂₇₀	ΔK		α	β+γ	δ
Sito 3	0,32	4,3	1,75	0,14	-0,006	249	468	50	0
Sito 13	0,65	3,4	1,60	0,17	-0,006	175	307	31	0
Sito 18	0,26	3,4	1,70	0,10	0,004	217	337	48	0
Sito 19	0,29	5,2	1,73	0,13	0,004	205	324	42	0
Limiti*	≤ 0,80	≤ 20,0	≤ 2,50	≤ 0,22	≤ 0,01	-	-	-	-

* Stabiliti per un olio extra vergine di oliva dal Regolamento CEE 2568/91 e successive modifiche ed integrazioni.

Il profilo fenolico dell'olio è apparso molto differente da quello mostrato dalle olive (**figura 38**): i composti fenolici caratterizzati da maggiore polarità (OHTy, Ty, demetiloleuropeina, verbascoside) sono quasi completamente assenti, così come assente è l'oleuropeina, andata incontro a degradazione nel corso del processo di estrazione; il profilo è invece dominato da derivati secoiridoidi agliconi, tra i quali il più abbondante è la forma dialdeidica della decarbossimetil oleuropeina aglicone (OHTy-DEDA), seguito dalla forma dialdeidica del decarbossimetil ligstroside aglicone (Ty-DEDA). Il ritrovamento della OHTy-DEDA anche nel frutto ha indotto a concludere che si tratti di intermedi nella biosintesi piuttosto che di prodotti di degradazione originati durante il processo di estrazione, come precedentemente ipotizzato (Rovellini e Cortesi, 2002; Servili *et al.*, 1999). Nel corso dell'estrazione si sono, invece, originati gli agliconi di oleuropeina e ligstroside, identificati nell'estratto fenolico dall'olio (picchi 6 e 7).

**Figura 38.** Cromatogramma HPLC-UV di un estratto fenolico da olio (sito 18).

Identificazione picchi: 1. Idrossitirosolo (OHTy); 2. Tirosolo (Ty); 3. Forma dialdeidica della decarbossimetil oleuropeina aglicone (OHTy-DEDA); 4. Forma dialdeidica del decarbossimetil ligstroside aglicone (Ty-DEDA); 5. Pinoresinolo; 6. Oleuropeina aglicone (OHTy-EA); 7. Ligstroside aglicone (Ty-EA).

All'analisi sensoriale, gli oli hanno mostrato un buon profilo organolettico (**figura 39**). Pur con alcune differenze, tutti si sono caratterizzati per intensità elevata degli attributi positivi di "amaro" e "piccante", attribuibile ad un elevato contenuto di composti fenolici, della cui importanza si è già discusso a lungo.

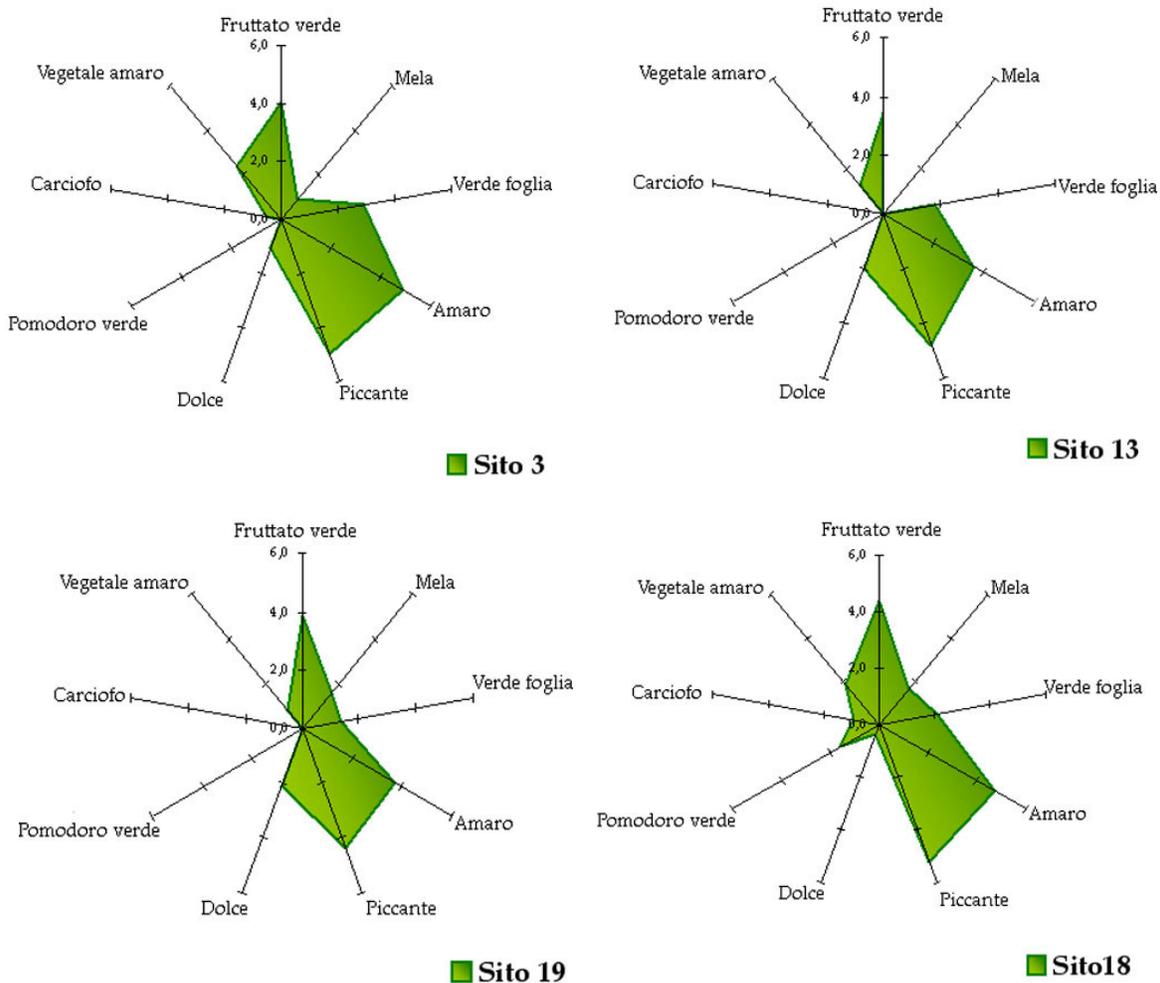


Figura 39. Profili organolettici dei campioni di olio.

In particolare, la sensazione di piccante è associata alla forma dialdeidica del decarbossimetil ligstroside aglicone (Ty-DEDA) (Andrewes *et al.*, 2003), mentre l’amaro alla forma dialdeidica della decarbossimetil oleuropeina aglicone (OHTy-DEDA) (Gutierrez-Rosales *et al.*, 2003; Kiritsakis, 1998), come verificato, seppure su un numero di campioni così limitato, nel presente studio (figura 40).

Un fruttato verde di intensità media è risultato accompagnato da note di vegetale amaro, carciofo, pomodoro verde, mela, che rendono più ricco e complesso il profilo sensoriale dell’olio.

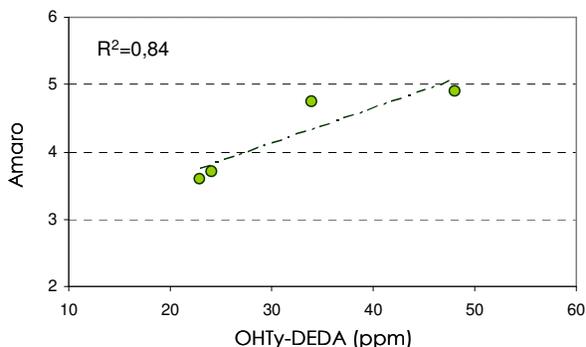


Figura 40. Relazione tra il contenuto di OHTy-DEDA e l’intensità della sensazione di amaro per i quattro campioni di olio.

La ricchezza riscontrata nel flavour dell'olio ad una analisi sensoriale ha trovato una conferma strumentale all'analisi GC/MS dello Spazio di Testa Dinamico (DHS-GC/MS), in grado di rilevare e quantificare i composti volatili dell'olio che, interagendo con la mucosa olfattiva, sono responsabili delle sensazioni positive o negative che il prodotto determina nel consumatore. 41 composti sono stati identificati (**figura 41**) e quantificati (**tabella 13**). Tra essi predominano i composti provenienti dalla "via della lipossigenasi", una catena di reazioni implicanti l'azione di enzimi che ossidano (lipossigenasi) e scindono (idroperossido liasi) gli acidi grassi polinsaturi producendo aldeidi che vengono successivamente ridotte ad alcoli (alcol deidrogenasi), a loro volta esterificati a formare esteri (alcol aciltransferasi). Tale trasformazione a carico della componente lipidica dell'olio assume una valenza positiva sulla qualità finale del prodotto, in quanto è alla base della formazione di alcoli ed aldeidi a C5, a C6 e a C9, correlati alla nota di "fruttato erbaceo", nonché di alcuni componenti di natura isoprenica riconducibili alla nota di "floreale" (Angerosa *et al.*, 2004; Hatanaka, 1993).

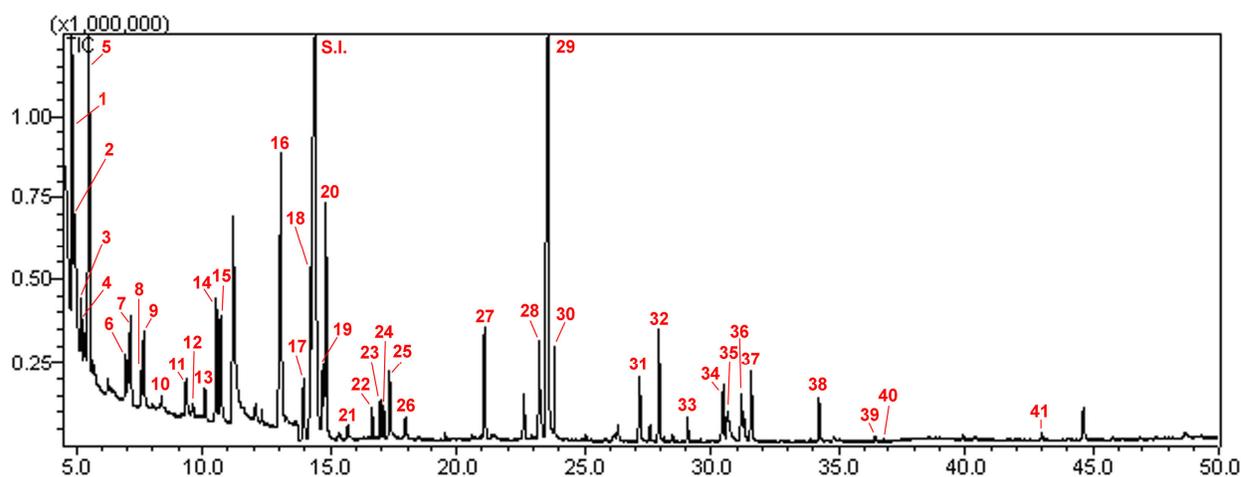


Figura 41. Cromatogramma ottenuto mediante analisi DHS-GC/MS per uno dei 4 campioni di olio.

Identificazione picchi: 1 esano; 2 etil etere; 3 isottano; 4 1,3-pentadiene (E); 5 Eptano; 6 Ottano; 7 2,2,3-trimetilesano; 8 2-metil propanale; 9 acetone; 10 4-metil ottano; 11 butanale; 12 etil acetato; 13 2-butanone; 14 2-metil butanale; 15 3-metil butanale; 16 pentanale; 17 3-etil-1,5-octadiene; 18 acetonitrile; S.I. isobutile acetato (standard interno); 19 3-etil-1,5-octadiene; 20 1-penten-3-one; 21 toluene; 22 3-etil-1,5-octadiene; 23 3-etil-1,5-octadiene; 24 4,8-dimetil-1,7-nonadiene; 25 esanale; 26 2-metil propanolo; 27 1-penten-3-olo; 28 2-metil butanolo; 29 2-esenale (E); 30 3,7-dimetil-1,3,6-octatriene; 31 cicloesanone; 32 2-penten-1-olo (Z); 33 esanolo; 34 3-esenolo; 35 nonanale; 36 2-esenolo (E); 37 2,4-esadienale (E,E); 38 2-etil etanolo; 39 benzaldeide; 40 ottanolo; 41 4-etil benzaldeide.

Tabella 13. Composizione della frazione volatile degli oli risultante dall'analisi DHS/GC-MS.

n. picco	r.t.	nome composto	Sito 3	Sito 13	Sito 18	Sito 19
			media \pm dev.st.	media \pm dev.st.	media \pm dev.st.	media \pm dev.st.
1	4.82	Esano	594,83 ^a \pm 109.76	215,47 ^b \pm 9.86	163,40 ^b \pm 56.11	193,66 ^b \pm 63.19
2	4.94	Etil etere	420,25 ^a \pm 106.43	162,43 ^b \pm 14.78	48,48 ^b \pm 14.33	82,41 ^b \pm 34.50
3	5.23	Isottano	115,71 ^a \pm 29.51	18,72 ^b \pm 1.28	18,56 ^b \pm 5.35	54,08 ^b \pm 6.13
4	5.35	1,3-pentadiene (E)	8,45 ^a \pm 2.17	17,72 ^a \pm 3.43	10,90 ^a \pm 4.03	15,25 ^a \pm 3.95
5	5.51	Eptano	499,76 ^a \pm 67.28	475,79 ^a \pm 21.74	310,22 ^b \pm 23.52	349,79 ^b \pm 36.19
6	6.97	Ottano	26,60 ^a \pm 8.66	35,19 ^a \pm 6.83	22,79 ^a \pm 4.67	49,69 ^a \pm 17.79
7	7.13	2,3,3-trimetilesano	35,84 ^{ac} \pm 9.92	10,94 ^a \pm 2.52	54,33 ^{bc} \pm 11.00	66,35 ^b \pm 9.08
8	7.53	2-metil propanale	4,74 ^a \pm 1.46	nr	11,83 ^a \pm 6.69	13,83 ^a \pm 4.54
9	7.64	Acetone	24,62 ^a \pm 10.78	120,46 ^b \pm 12.01	34,85 ^a \pm 11.91	60,86 ^a \pm 28.53
10	8.00	1-ottene	nr	5,95 ^a \pm 0.16	nr	6,07 ^a \pm 1.65
11	8.37	4-metil ottano	4,56 ^a \pm 1.19	nr	5,62 ^a \pm 1.52	nr
12	9.28	Butanale	42,86 ^a \pm 7.88	35,98 ^a \pm 8.55	16,46 ^b \pm 5.20	35,19 ^a \pm 1.68
13	9.61	Etil acetato	12,59 ^{ac} \pm 3.84	4,36 ^b \pm 0.62	6,68 ^{bc} \pm 1.46	7,84 ^{bc} \pm 1.13
14	10.06	2-butanone	7,27 ^a \pm 3.24	17,43 ^a \pm 1.62	14,55 ^a \pm 7.23	23,51 ^a \pm 16.53
15	10.49	2-metil butanale	31,40 ^a \pm 8.53	33,75 ^a \pm 0.27	55,12 ^a \pm 20.31	84,49 ^b \pm 7.09
16	10.65	3-metil butanale	18,86 ^a \pm 5.50	22,61 ^{ab} \pm 0.59	48,15 ^b \pm 12.94	71,09 ^b \pm 7.43
17	11.20	Dicloro metano	130.21 \pm 55.49	nr	nr	nr
18	12.96	3-Pentanone	21,76 ^a \pm 2.68	159,07 ^b \pm 19.50	nr	210,68 ^b \pm 33.82
19	13.04	Pentanale	78,36 ^{ab} \pm 22.76	43,97 ^b \pm 5.39	145,66 ^a \pm 43.36	141,12 ^a \pm 14.12
20	13.96	3-etil-1,5-octadiene	13,27 ^a \pm 3.31	26,55 ^{ab} \pm 3.86	25,99 ^{ab} \pm 7.32	33,48 ^b \pm 3.81
21	14.23	Acetonitrile	25,77 ^a \pm 2.24	65,51 ^a \pm 18.89	87,70 ^a \pm 46.75	75,03 ^a \pm 51.85
22	14.68	3-etil-1,5-octadiene	27,45 ^a \pm 6.09	42,86 ^{ab} \pm 4.25	38,55 ^{ab} \pm 8.76	51,23 ^b \pm 6.40
23	14.79	1-penten-3-one	127,23 ^a \pm 28.01	27,37 ^b \pm 3.27	107,07 ^a \pm 32.13	45,29 ^b \pm 0.45
24	15.68	Toluene	3,77 ^a \pm 0.86	4,02 ^a \pm 0.34	5,51 ^{ab} \pm 0.41	nr
25	16.65	3-etil-1,5-octadiene	4,07 ^a \pm 0.75	8,87 ^b \pm 1.40	8,80 ^b \pm 2.17	11,04 ^b \pm 0.87
26	16.96	3-etil-1,5-octadiene	6,85 ^a \pm 1.49	13,40 ^b \pm 2.03	12,74 ^b \pm 3.08	16,91 ^b \pm 1.52
27	17.09	4,8-dimetil-1,7-nonadiene	9,63 ^a \pm 1.91	12,98 ^{ab} \pm 1.46	11,57 ^{ab} \pm 2.56	15,15 ^b \pm 1.35
28	17.32	Esanale	33,90 ^a \pm 5.98	76,35 ^b \pm 7.09	29,02 ^a \pm 4.51	64,08 ^b \pm 0.81
29	17.92	2-metil propanolo	7,63 ^a \pm 2.17	12,83 ^a \pm 0.24	14,57 ^a \pm 3.28	13,55 ^a \pm 8.05
30	21.09	1-penten-3-olo	36,09 ^a \pm 9.48	104,25 ^a \pm 10.37	52,64 ^a \pm 21.39	70,26 ^a \pm 40.04
31	21.61	Eptanale	nr	13,96 ^a \pm 3.05	nr	29,97 ^a \pm 30.72
32	23.06	2-metil butanolo	48,17 ^a \pm 10.46	66,37 ^a \pm 2.73	44,68 ^a \pm 4.87	68,10 ^a \pm 43.80
33	23.58	2-esenale (E)	1294,72 ^{ab} \pm 297.27	1587,08 ^a \pm 160.55	576,31 ^b \pm 219.48	1467,04 ^a \pm 421.94
34	24.14	3,7-dimetil-1,3,6-octatriene	nr	15,10 ^a \pm 2.45	40,08 ^b \pm 14.14	32,71 ^{ab} \pm 2.96
35	24.84	1-pentanolo	nr	4,87 ^a \pm 0.76	nr	7,48 ^b \pm 1.43
36	26.26	Ottanale	nr	13,16 ^a \pm 9.56	nr	18,10 ^a \pm 4.23
37	27.11	Cicloesanone	nr	20,12 ^a \pm 2.53	29,88 ^a \pm 9.99	9,20 ^b \pm 3.44
38	27.74	2-penten-1-ol, (Z)	36,33 ^a \pm 11.09	53,36 ^a \pm 9.16	41,54 ^a \pm 18.86	54,22 ^a \pm 9.35
39	28.47	6-metil-5-eptene-2-one	nr	3,24 ^a \pm 0.33	nr	4,18 ^b \pm 0.37
40	28.92	Esanolo	17,33 ^a \pm 4.57	78,37 ^b \pm 12.21	9,37 ^a \pm 2.45	81,73 ^b \pm 7.95
41	30.33	3-esenolo (Z)-	91,48 ^a \pm 22.82	103,89 ^a \pm 23.60	27,24 ^b \pm 4.77	40,57 ^b \pm 13.20
42	30.65	Nonanale	34,68 ^a \pm 0.51	36,63 ^a \pm 12.69	28,49 ^a \pm 1.48	46,27 ^a \pm 14.75
43	31.10	2-esenolo (E)	62,07 ^a \pm 18.22	293,00 ^b \pm 55.05	16,88 ^a \pm 7.26	200,04 ^c \pm 16.83
44	31.51	2,4-esadienale (E,E)	55,12 ^a \pm 23.22	33,50 ^a \pm 3.39	45,51 ^a \pm 19.78	46,06 ^a \pm 19.30
45	32.98	Eptanolo	nr	nr	nr	10.67 \pm 11.77
46	34.24	2-etil esanolo	16,90 ^a \pm 3.25	64,85 ^b \pm 10.23	18,65 ^a \pm 2.77	35,34 ^c \pm 5.61
47	36.41	Benzaldeide	3,67 ^a \pm 0.68	4,64 ^a \pm 1.11	2,77 ^a \pm 0.56	5,18 ^a \pm 1.39
48	36.78	Ottanolo	nr	3,88 ^a \pm 2.35	2,10 ^a \pm 1.26	9,44 ^a \pm 10.81
49	42.99	4-etil benzaldeide	7,99 ^a \pm 1.19	8,29 ^a \pm 3.45	3,43 ^a \pm 1.48	7,81 ^a \pm 2.93

In particolare, i composti C6, che si originano dalla cascata delle lipossigenasi, hanno odori che ricordano quelli di foglie, frutti o vegetali non completamente maturi e, con diverse sfumature, dell'erba appena tagliata; per questo motivo sono ritenuti responsabili delle cosiddette "note verdi" dell'olio di oliva. A causa della loro elevata concentrazione e della bassa soglia di percezione, contribuiscono in modo essenziale alla formazione dell'aroma degli oli vergini di oliva di alta qualità, che deriva dall'equilibrio fra gli attributi di "verde" e di "fruttato".

Il composto maggiormente rappresentato è la *trans*-2-esenale, caratterizzato da odore di erba tagliata, di fresco e di mandorla amara. Tuttavia, la composizione quali-quantitativa dei componenti volatili derivanti dalla cascata delle lipossigenasi dipende dalla quantità e attività dei diversi enzimi coinvolti che, a loro volta, sono condizionati principalmente da fattori genetici, dallo stadio di maturazione del frutto, dalle modalità di conservazione delle olive e dalla tecnologia adottata nell'estrazione dell'olio (Angerosa *et al.*, 2004).

Oltre alla via delle lipossigenasi, diverse altre vie metaboliche originano composti che possono incidere sul profilo sensoriale, condizionando anche in negativo l'aroma finale dell'olio (*off-flavours*). Le principali riguardano: fermentazione di zuccheri, conversione di alcuni amminoacidi, metabolismo di acidi grassi e scissione omolitica dei 13-idroperossidi (Angerosa, 2002).

Gli oli analizzati nel presente studio hanno mostrato una frazione volatile molto ricca e complessa, caratterizzata dall'assenza di composti responsabili di *off-flavours* e dall'abbondanza, al contrario, di composti a cui è attribuita una valenza positiva, in quanto responsabili di note aromatiche gradevoli. I composti originati dalla via delle lipossigenasi (tra i più abbondanti: *trans*-2-esenale, 1-penten-3-olo, 2-penten-1-olo, *cis*-3-esenolo, *trans*-2-esenolo, esenale) sono presenti, nella maggior parte dei casi, in quantità superiori alle soglie di percezione riportate in letteratura (Morales *et al.*, 1999; Guth e Grosch, 1991; Reiners e Grosch, 1998). Ciò trova conferma nell'elevato punteggio attribuito dal panel di assaggiatori alle note di "fruttato" e "verde" percepite nei campioni analizzati.

Ad una valutazione complessiva, gli oli ottenuti mediante micro-oleificazione da olive cv. Pisciotтана si sono posizionati su un livello qualitativo decisamente elevato, presentando valori degli indici di qualità di gran lunga al di sotto dei limiti stabiliti dalla legislazione vigente per la migliore categoria commerciale di oli di oliva vergini ("extra"), abbondante dotazione di composti ad attività antiossidante, che ne condizionano positivamente il profilo sensoriale, la qualità nutrizionale e la shelf-life, e una abbondante e complessa frazione volatile responsabile di un profilo sensoriale ricco, equilibrato, dominato da note sensoriali positive.

CAPITOLO 5

INDAGINE PUNTUALE: RELAZIONI TRA VARIABILI AMBIENTALI E PRODUTTIVE

5.1 PRECOCITÀ DI MATURAZIONE

Lo stadio di maturazione raggiunto dai frutti nei siti sperimentali è stato valutato visivamente in termini di entità della pigmentazione raggiunta dall'epicarpo e dalla polpa dei frutti stessi (vedi Materiali e Metodi). L'Indice di maturazione (IM) così calcolato, pur monitorando soltanto una (il colore) delle numerose modificazioni cui un frutto va incontro nel corso del processo di maturazione, è ampiamente utilizzato per valutare e confrontare lo stadio di maturazione di campioni di olive (Garcia e Yousfi, 2005).

L'indice di maturazione misurato in diversi siti sperimentali nella stessa data (23 ottobre 2005) risulta negativamente correlato con latitudine e altitudine (coefficiente di correlazione r secondo Pearson pari a -0,88 e -0,59 rispettivamente) e positivamente correlato con la temperatura media annuale ($r=0,71$). Negativa, anche se non significativa, è la correlazione con la pendenza, così come negativa è l'influenza esercitata dall'Indice di Area Fogliare (LAI) dell'appezzamento (**tabella 14**).

	IM 23ott	IM 13nov
Latitudine	-0,88	0,21
Quota	-0,59	-0,49
Pendenza	-0,53	-0,85
Radiazione media annua	0,43	0,33
Temperatura media annua	0,71	0,46
LAI plot	-0,67	-0,71

Tabella 14. Matrice di correlazione (coefficiente di correlazione secondo Pearson) tra l'Indice di Maturazione misurato in diversi siti sperimentali in due date successive e alcuni parametri caratterizzanti i siti stessi (in grassetto i valori significativi ad un livello di significatività di 0,05).

I valori di IM misurati in una data successiva (13 novembre) in alcuni siti sperimentali confermano la relazione dell'andamento della maturazione sia con la pendenza che con il LAI (**tabella 14**). Tali relazioni potrebbero essere spiegate tenendo conto dell'azione esercitata dall'irraggiamento solare sul processo di pigmentazione del frutto: nei siti caratterizzati da maggiore pendenza e maggiore LAI (dunque vegetazione più fitta) la quantità di radiazione solare che raggiunge i frutti, soprattutto quelli nella parte bassa della chioma, dove è stato effettuato il campionamento, è presumibile che sia minore, con la conseguenza che la maturazione procede più lentamente. Dati di letteratura confermano la significativa influenza esercitata dall'ombreggiamento sul metabolismo dei frutti dell'olivo: in piante ombreggiate si osserva una forte riduzione dell'indice di maturazione, delle dimensioni dei frutti, del rapporto polpa/nocciolo e del contenuto in olio; differenze simili si osservano tra la parte bassa, maggiormente ombreggiata, e quella alta della chioma (Tombesi *et al.*, 1998).

Il fatto che la relazione negativa osservata tra latitudine e IM misurato il 23 ottobre non sussista per lo stesso indice misurato il 13 novembre è attribuibile al fatto che, mentre nella prima data il

campionamento è stato effettuato in un'area che copre un intervallo latitudinale piuttosto ampio, i campioni prelevati nella seconda data provengono da siti piuttosto omogenei in quanto a latitudine.

5.2 MISURE CARPOLOGICHE

Le dimensioni (prodotto tra diametro longitudinale e trasversale) ed il peso dei frutti risultano negativamente influenzati dalla quota e, ancor più, dalla pendenza del sito. La radiazione, soprattutto quella del periodo maggio-luglio, sembra influire positivamente sulle dimensioni e sul peso dei frutti in misura maggiore rispetto alla temperatura (**tabella 15**). Senza dubbio tali relazioni sono influenzate da quella esistente tra Indice di Maturazione e peso e dimensioni dei frutti: questi stessi fattori che risultano correlati con il peso e il diametro dei frutti sono quelli che influenzano la precocità di maturazione. Sembra, però, che alcuni di questi fattori aggiungano qualcosa alla spiegazione della variabilità osservata nell'Indice di Maturazione: la pendenza del sito, ad esempio, risulta correlata a peso e dimensioni dei frutti in maniera più forte di quanto questi non lo siano con l'IM. Ciò induce a ritenere che i siti a minore quota, a minore pendenza, a maggiore apporto radiativo siano quelli caratterizzati da un maggiore sviluppo dei frutti, dovuto in parte, ma non completamente, ad una maggiore precocità di maturazione. È presumibile che l'influenza positiva esercitata sullo sviluppo dei frutti sia soprattutto quella della radiazione solare: i fattori che determinano una minore quantità di apporto radiativo ai frutti, ovvero pendenza elevata, esposizione sfavorevole (tale informazione è contenuta nei valori stimati di radiazione solare), LAI elevato, sono infatti negativamente correlati con peso e dimensioni dei frutti.

Tabella 15. Coefficiente di correlazione secondo Pearson tra peso e dimensione dei frutti e caratteristiche dei siti di campionamento (in grassetto i valori significativi ad un livello di significatività di 0,05).

	Peso		Diametro longitudinale x trasversale		
	23 ott	13 nov	1 ott	23 ott	13 nov
Latitudine	-0,25	0,12	-0,26	-0,28	0,12
Quota	-0,56	-0,55	-0,67	-0,57	-0,52
Pendenza	-0,72	-0,93	-0,68	-0,74	-0,82
Scheletro	-0,44	-0,67	-0,28	-0,35	-0,78
pH in H ₂ O	-0,45	-0,61	-0,21	-0,42	-0,66
Fe oss/Fe dit	0,67	0,44	0,63	0,59	0,35
Radiazione annuale	0,61	0,59	0,76	0,65	0,63
Rad. maggio-luglio	0,83	0,88	0,82	0,84	0,82
Temperatura annuale	0,56	0,51	0,68	0,58	0,48
LAI plot	-0,58	-0,54	-0,60	-0,61	-0,43
IM 23ott	0,59	0,49	0,61	0,58	0,43
IM 13nov	1,00	0,78	0,87	1,00	0,74
Ta/Tp	0,24	0,62	0,15	0,20	0,66

La correlazione osservata tra rapporto di attività del ferro, calcolato come $Fe_{\text{ossalato}}/Fe_{\text{editionito}}$, e dimensioni e peso dei frutti, pur non risultando sempre significativa, è comunque positiva, denotando come i suoli più alterati, ovvero quelli aventi un rapporto $Fe_{\text{ossalato}}/Fe_{\text{editionito}}$ più basso, sono quelli che determinano un minore sviluppo dei frutti. Ciò potrebbe essere imputato alla

limitata fertilità chimica di questi suoli che comporterebbe una scarsa disponibilità di nutrienti; in queste condizioni di stress la pianta si esprimerebbe con un minore potenziale produttivo.

5.3 CONDIZIONI FITOSANITARIE

Il principale problema fitosanitario per l'olivo nell'areale cilentano è costituito dalla mosca dell'olivo (*Bactrocera oleae*), che rappresenta senz'altro il fitofago chiave per tale coltura, provocando spesso elevate perdite di prodotto e ponendo in secondo piano gli effetti di altri eventuali agenti patogeni. Questo Dittero arriva a compiere nelle aree costiere anche 6 generazioni all'anno (Tremblay, 1990). Il ciclo biologico ha inizio con la deposizione di un uovo all'interno dell'oliva, da cui ha origine una larva che scava una galleria nella polpa fino a impuparsi all'interno dell'oliva stessa o nel terreno nel caso sia già avvenuta l'invasione del frutto.

La dinamica di popolazione della *Bactrocera oleae* è influenzata in maniera rilevante da fattori meteorologici: questo insetto è particolarmente sensibile anche a piccole variazioni di temperatura e, benché tutte le variabili climatiche interagiscano nell'influenzare le attività vitali dell'insetto, particolarmente importante risulta la temperatura dell'aria.

In estrema sintesi l'insetto si sviluppa in maniera ottimale a temperature comprese, per i diversi stadi di sviluppo, tra gli 8°C ed i 32°C secondo V. Girolami (1979) e tra i 9,5°C e i 31,5°C secondo Crovetto, Loi, Quaglia e Raspi (1982). Secondo altri autori, come limite inferiore, si considerano i 7°C (Sigwalt, 1977).

Inoltre è stato osservato che una scarsa piovosità nel periodo estivo e la lignificazione del nocciolo determinano una minore turgidità delle drupe che ospitano gli stadi pre-immaginali, provocando elevate mortalità sugli stessi.

La temperatura, dunque, esercita un'azione fondamentale sulla dinamica delle popolazioni di *Bactrocera*, sia direttamente, limitando le possibilità di sopravvivenza dei vari stadi e di moltiplicazione degli adulti, sia indirettamente influenzando lo stato fisiologico della pianta ospite.

Assumendo pari a 8 °C la temperatura minima biologica per lo sviluppo della *Bactrocera oleae*, è stata calcolata per ciascun sito sperimentale la somma termica annuale a base 8 °C; la relazione tra tale somma termica e la % di infestazione del fitofago è riportata in **figura 42**. I valori di attacco della mosca riportati non si riferiscono ad un'unica data: il campionamento è stato effettuato in maniera scalare allo scopo di ridurre la variabilità nello stadio di maturazione (vedi § 4.1.1).

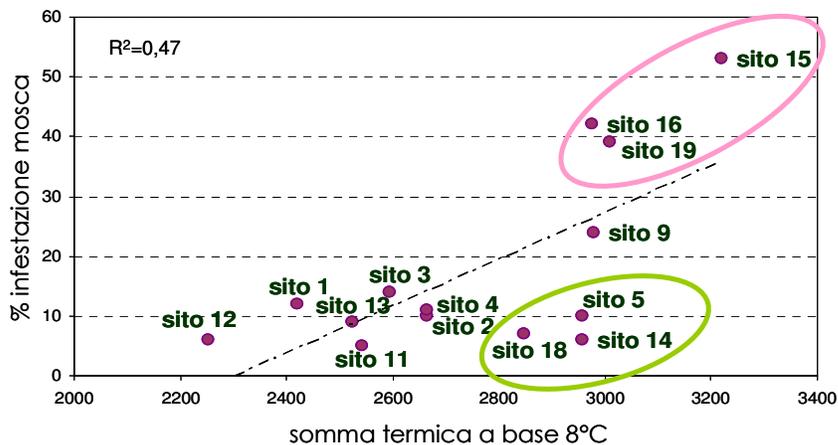


Figura 42. Relazione tra la somma termica a base 8 °C calcolata per i siti sperimentali e la % di attacco della mosca olearia.

Si nota un andamento crescente della % di infestazione all'aumentare della somma termica. Il sito 15, in particolare, si trova in una condizione molto svantaggiata dal punto di vista del rischio fitosanitario: è ubicato in prossimità della costa ad una altitudine di soli 10 metri sul livello del mare, in una posizione che favorisce la proliferazione della mosca olearia, consentendole di compiere numerose generazioni all'anno.

In 3 siti (5; 14; 18), però, l'attacco risulta inferiore a quello che la somma termica lascerebbe prevedere. Pur esercitando, dunque, il regime termico un'influenza importante sul rischio di attacco da parte della mosca dell'olivo, sul grado di infestazione agiscono, in maniera rilevante, anche altri fattori, quali lo stadio di maturazione (che nel sito 14 risulta inferiore rispetto agli altri siti con regime termico simile), l'esposizione, la gestione agronomica.

5.4 COMPOSIZIONE IN ACIDI GRASSI

La composizione in acidi grassi, misurata su campioni di olive prelevati negli stessi siti in due differenti annate (2003 e 2005), è risultata influenzata dallo stadio di maturazione: all'aumentare dell'indice di maturazione si è verificata una diminuzione del rapporto oleico/linoleico. Tale andamento risulta evidente, però, soltanto per l'annata 2003 (**figura 43**); ciò potrebbe essere dovuto al fatto che il campionamento nella campagna del 2003 è stato effettuato nella stessa data in tutti i siti, mentre nella campagna 2005 è stato effettuato in maniera scalare. Se si considerano separatamente i campioni prelevati in date differenti in quest'ultima campagna, si osserva in ciascuna serie un andamento decrescente del rapporto oleico/linoleico all'aumentare dell'indice di maturazione, nonché una diminuzione di tale parametro tra la prima e la seconda data di campionamento (**figura 43**).

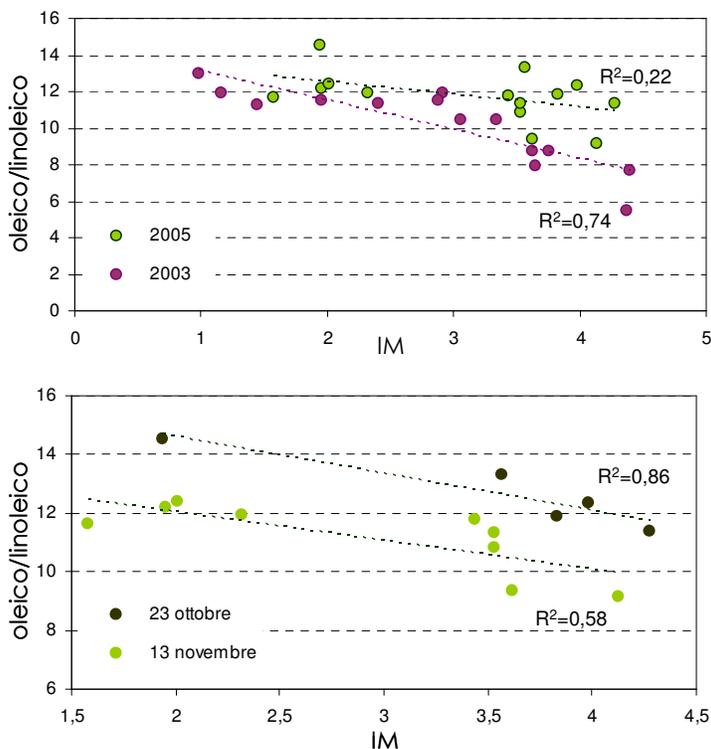


Figura 43. Relazioni tra indice di maturazione e rapporto tra acido oleico e acido linoleico. In alto: campioni prelevati nella campagna 2003 e nella campagna 2005; in basso: campioni prelevati in date differenti nella campagna 2005.

Questo andamento conferma quanto riportato in letteratura: nel corso della maturazione l'azione delle desaturasi determina nella frazione saponificabile del frutto dell'olivo una diminuzione del rapporto tra acidi grassi monoinsaturi e acidi grassi polinsaturi (Beltrán *et al.*, 2004), con conseguente riduzione della resistenza all'ossidazione e della conservabilità dell'olio ottenuto.

Per quanto riguarda, invece, l'influenza di variabili ambientali sulla composizione in acidi grassi, l'effetto principale risulta essere quello della temperatura: all'aumentare del regime termico si osserva una diminuzione dell'acido palmitico, il principale acido grasso saturo presente nel frutto dell'olivo, ed un aumento dell'acido monoinsaturo oleico.

La **figura 44** mostra come, in entrambe le annate di campionamento, il rapporto tra acido oleico e acido palmitico subisce una diminuzione all'aumentare della temperatura media annua del sito. Ciò conferma quanto riportato in letteratura sull'effetto esercitato dal regime termico sul metabolismo lipidico: basse temperature durante lo sviluppo del frutto determinano un aumento del grado di insaturazione lipidica (Harwood *et al.*, 2004; Mousa e Gerasopoulos, 1996). In questo modo, dal momento che all'aumentare del grado di insaturazione si abbassa il punto di congelamento, viene assicurata la fluidità delle membrane cellulari (di cui i lipidi sono costituenti) anche a basse temperature.

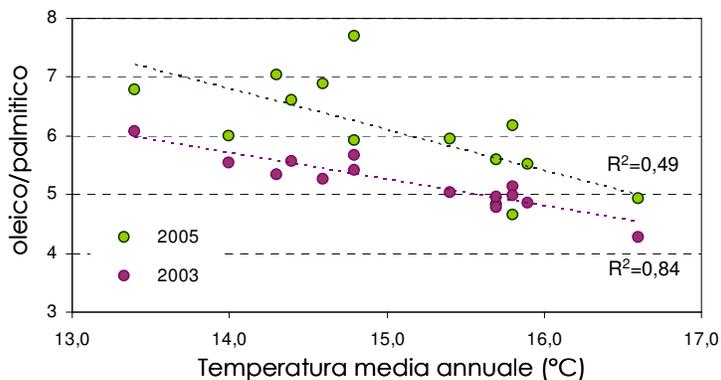


Figura 44. Relazione tra temperatura media annua e rapporto tra acido oleico e acido palmitico in due anni di campionamento.

5.5 SIMULAZIONI DI BILANCIO IDROLOGICO

La variabilità riscontrata nell'andamento del rapporto tra traspirazione effettiva e potenziale (T_a/T_p) (**figura 20**) sembrerebbe un risultato positivo: l'output delle simulazioni indurrebbe a ritenere che le caratteristiche dei siti indagati siano sufficientemente differenziate da determinare una variabilità nelle condizioni di stress idrico, che risulterebbe utile per ricavare delle relazioni tra le condizioni di stress e il risultato produttivo, relazioni da cui partire per una classificazione del territorio in un eventuale lavoro di zonazione.

Andando, però, ad analizzare le relazioni tra i parametri forniti al modello come input e l'output delle simulazioni, si nota come l'entità dello stress idrico simulato risulti legata essenzialmente ad uno soltanto dei dati di input, ovvero l'indice di area fogliare (**figura 45**), il quale annulla l'effetto delle caratteristiche idrauliche del suolo, che pure avevano mostrato tra i siti un'ampia variabilità. Questo è un risultato negativo ai fini di un lavoro di zonazione, perché conduce alla conclusione che, almeno per quanto riguarda la disponibilità idrica e limitatamente alle condizioni che caratterizzano l'areale oggetto di studio, la gestione agronomica, data dalle modalità di potatura, che in larga parte influenzano l'altezza delle piante e la densità del fogliame, quindi in ultima analisi il LAI, esercitano un'influenza preponderante rispetto alle caratteristiche topografiche e pedologiche del sito di coltivazione.

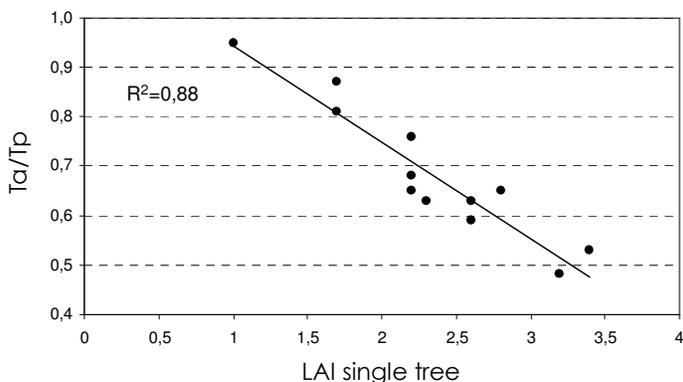


Figura 45. Relazione tra rapporto T_a/T_p risultante dalle simulazioni e Indice di Area Fogliare utilizzato come input per il modello.

Come atteso, la disponibilità di acqua per la pianta mostra esercitare un'influenza sul contenuto d'acqua dei frutti e sul processo di maturazione: il rapporto T_a/T_p è risultato correlato positivamente con l'umidità delle olive e negativamente con l'Indice di Maturazione (**figura 46**).

È noto, infatti, che la disponibilità idrica determina un rallentamento nella maturazione dei frutti (Motilva *et al.*, 2000; Ortega *et al.*, 2001; Koundouras *et al.*, 2006), nell'olivo così come in numerose altre colture.

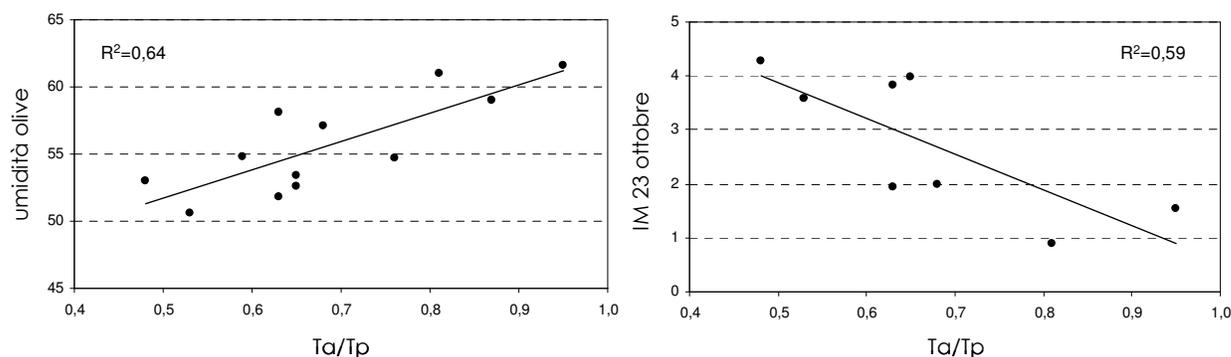


Figura 46. Relazione tra contenuto d'acqua (a sinistra) e IM (a destra) dei campioni di olive e rapporto Ta/Tp risultante dalle simulazioni.

Ciò rappresenta anche una conferma dell'attendibilità del risultato delle simulazioni: nonostante sia stato necessario, nella determinazione dei dati di input per il modello, non disponendo dei valori misurati per tutti i parametri, effettuare diverse assunzioni e stime, il modello sembra essere stato efficace nel differenziare i siti per quanto concerne la disponibilità idrica. Ai fini di un lavoro di zonazione, è importante non tanto effettuare una stima accurata dell'evapotraspirazione o del contenuto idrico del suolo, ma evidenziare le differenze tra le condizioni incontrate dalla coltura in differenti ambienti di un territorio.

5.6 CONTENUTO E COMPOSIZIONE IN COMPOSTI FENOLICI

Una forte correlazione negativa è stata osservata tra il contenuto totale di composti fenolici e il LAI stimato a livello di parcella (coefficiente di correlazione secondo Pearson pari a -0.90), come mostrato in **figura 47**.

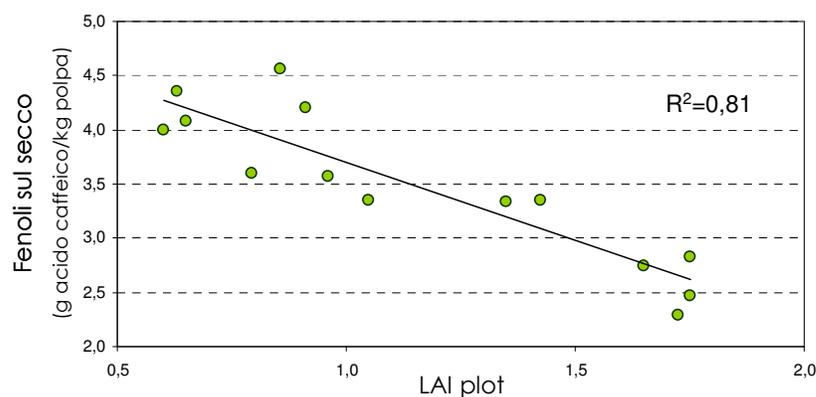
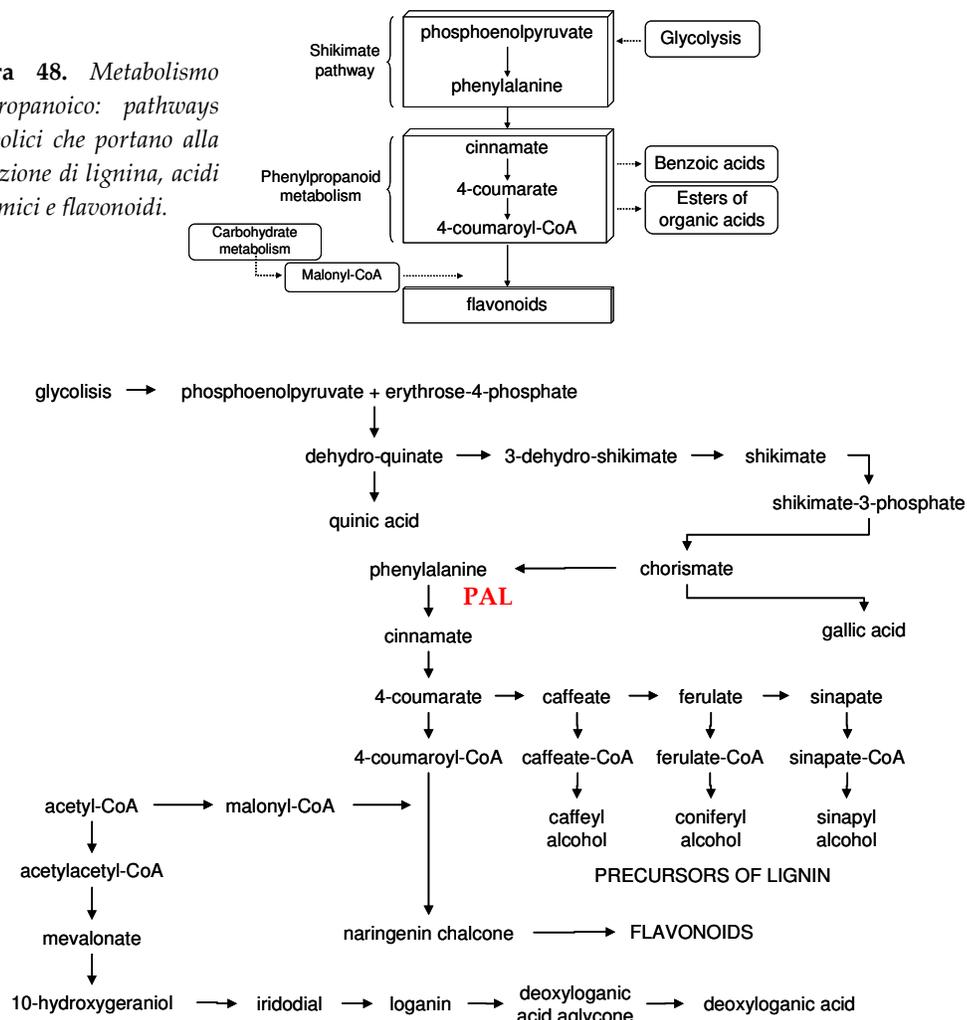


Figura 47. Relazione tra contenuto in composti fenolici dei frutti e Indice di Area Fogliare dell'appezzamento.

Tale relazione potrebbe essere dovuta ad un'influenza positiva esercitata dall'irraggiamento solare sulla sintesi dei composti fenolici: la quantità di radiazione solare che raggiunge la parte bassa della chioma, dove è stato effettuato il campionamento dei frutti, è presumibilmente più bassa nei siti caratterizzati da un più alto valore di LAI, ovvero da una maggiore fittezza della vegetazione.

È noto, infatti, che l'origine dei composti fenolici è da ricercare nel più generale metabolismo fenilpropanoico (Ryan and Robards, 1998), che consiste in tre steps attraverso i quali la L-fenilalanina è convertita in vari acidi idrossicinnamici (**figura 48**).

Figura 48. *Metabolismo fenilpropanoico: pathways metabolici che portano alla formazione di lignina, acidi cinnamici e flavonoidi.*



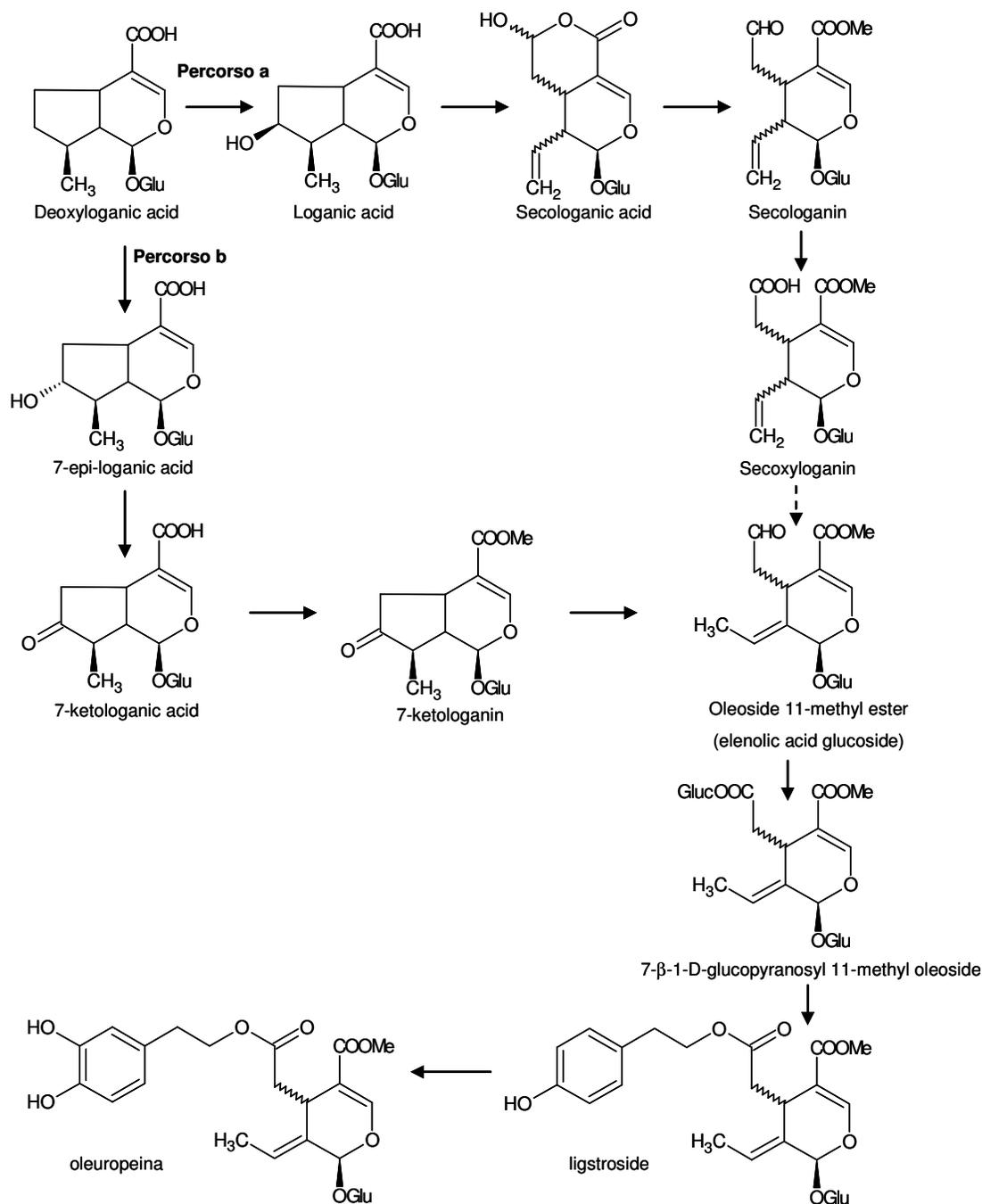


Figura 49. Percorso metabolico che conduce alla sintesi dei secoiridoidi in *Olea europaea* (Ryan et al., 2002).

Gli enzimi che catalizzano tali reazioni in sequenza sono rispettivamente la fenilalanina ammonio liasi (PAL), la cinnamato-4-idrossilasi e la 4-cumarato:CoA ligasi (Dixon e Pavia, 1995). La PAL è considerata l'enzima chiave nella biosintesi dei composti fenolici dal momento che catalizza la riduzione e deaminazione della L-fenilalanina per formare l'acido *trans*-cinnamico, primo step nella biosintesi dei composti fenilpropanoici vegetali, che comporta la sintesi di lignina, flavonoidi e acidi idrossicinnamici.

L'attività della PAL varia non solo con lo stadio di sviluppo della pianta e con la differenziazione delle cellule e dei tessuti, ma anche in funzione di varie fonti di stress, quali

irraggiamento, carenza idrica, ferite, carenze nutrizionali, trattamenti con erbicidi e attacchi da parte di parassiti o agenti patogeni. È stato dimostrato in varie specie vegetali come tutte queste fonti di stress determinano un aumento della sintesi o dell'attività della PAL (Ryan *et al.*, 2002; Chalker-Scott *et al.*, 1989; Balsa *et al.*, 1979; Lacroix *et al.*, 1990).

Una parte consistente dei composti fenolici presenti nel frutto dell'olivo è, tuttavia, rappresentata dai secoiridoidi, i quali non si originano dal metabolismo fenilpropanoico. Nelle Oleaceae la biosintesi dell'oleuropeina, il più abbondante composto fenolico presente nel frutto dell'olivo, procede attraverso una ramificazione nel pathway dell'acido mevalonico che conduce alla formazione degli oleosidi, dai quali derivano i composti secoiridoidi (Soler-Rivas *et al.*, 2000).

Il percorso biosintetico proposto per i secoiridoidi in *Olea europaea* è riportato in **figura 49** (da Ryan *et al.*, 2002). Tra i composti presenti in *Olea europaea*, solo l'oleuroside sembra essere sintetizzato attraverso il percorso *a*, mentre la sintesi di tutti gli altri secoiridoidi (oleuropeina e ligstroside i principali) avverrebbe attraverso il percorso *b* (Ryan *et al.*, 2002).

Nonostante i differenti percorsi metabolici che originano i diversi gruppi di composti fenolici, una forte correlazione è stata riscontrata tra l'attività enzimatica della PAL e il contenuto totale di composti fenolici nel frutto dell'olivo, suggerendo che l'attività di questo enzima, che risulta molto sensibile alle influenze ambientali, gioca un ruolo di primaria importanza nel controllare i flussi metabolici che portano alla sintesi dei composti fenolici (Morello *et al.*, 2005).

Potrebbe essere attribuita a questa forte relazione individuata tra LAI e contenuto in composti fenolici la inattesa correlazione positiva osservata tra lo stesso contenuto in fenoli totali e l'Indice di Maturazione (**figura 50**).

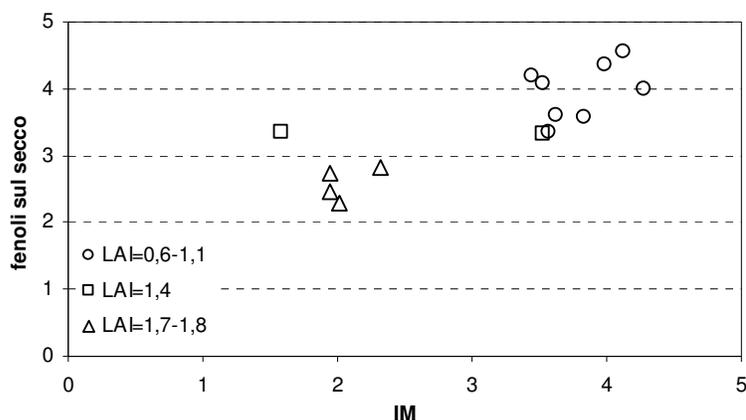


Figura 50. Andamento del contenuto di composti fenolici dei frutti in funzione dell'IM dei frutti stessi. Siti con diversi valori di LAI sono stati inclusi in serie differenti.

È riportato, infatti, da diversi autori un effetto negativo della maturazione sul contenuto totale in composti fenolici (Beltrán *et al.*, 2005; Gómez-Rico *et al.*, 2006). Escludendo, dati i valori di IM non sufficientemente bassi (anche superiori a 4), l'ipotesi che ci si trovi nella fase iniziale del processo di maturazione, in cui i composti fenolici sono ancora in aumento, l'andamento opposto rispetto a quello atteso potrebbe essere attribuito al fatto che il LAI, andando a determinare la quantità di radiazione solare che arriva nella parte bassa della chioma, influenza negativamente sia l'Indice di Maturazione che il contenuto totale di composti fenolici. Da ciò potrebbe derivare un'apparente relazione positiva tra fenoli totali e IM. In **figura 49** appare infatti evidente come i siti caratterizzati da contenuto di composti fenolici e IM dei frutti più alti sono quelli con Indice di Area Fogliare più basso.

La differenziazione tra i siti per quanto riguarda la composizione in composti fenolici rispecchia in certa misura quella riscontrata tra le caratteristiche dei siti stessi.

L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) condotta impiegando quali variabili il contenuto dei singoli composti fenolici mostra dei raggruppamenti tra i siti simili a quelli ottenuti nella PCA condotta su alcune caratteristiche dei siti stessi, ovvero latitudine, quota, pendenza, temperatura, radiazione, LAI (figura 51). Differenze nelle caratteristiche ambientali del sito di coltivazione si traducono, dunque, in un differente profilo assunto dalla frazione fenolica, che tanta importanza riveste sulle proprietà nutrizionali e sensoriali del prodotto olio.

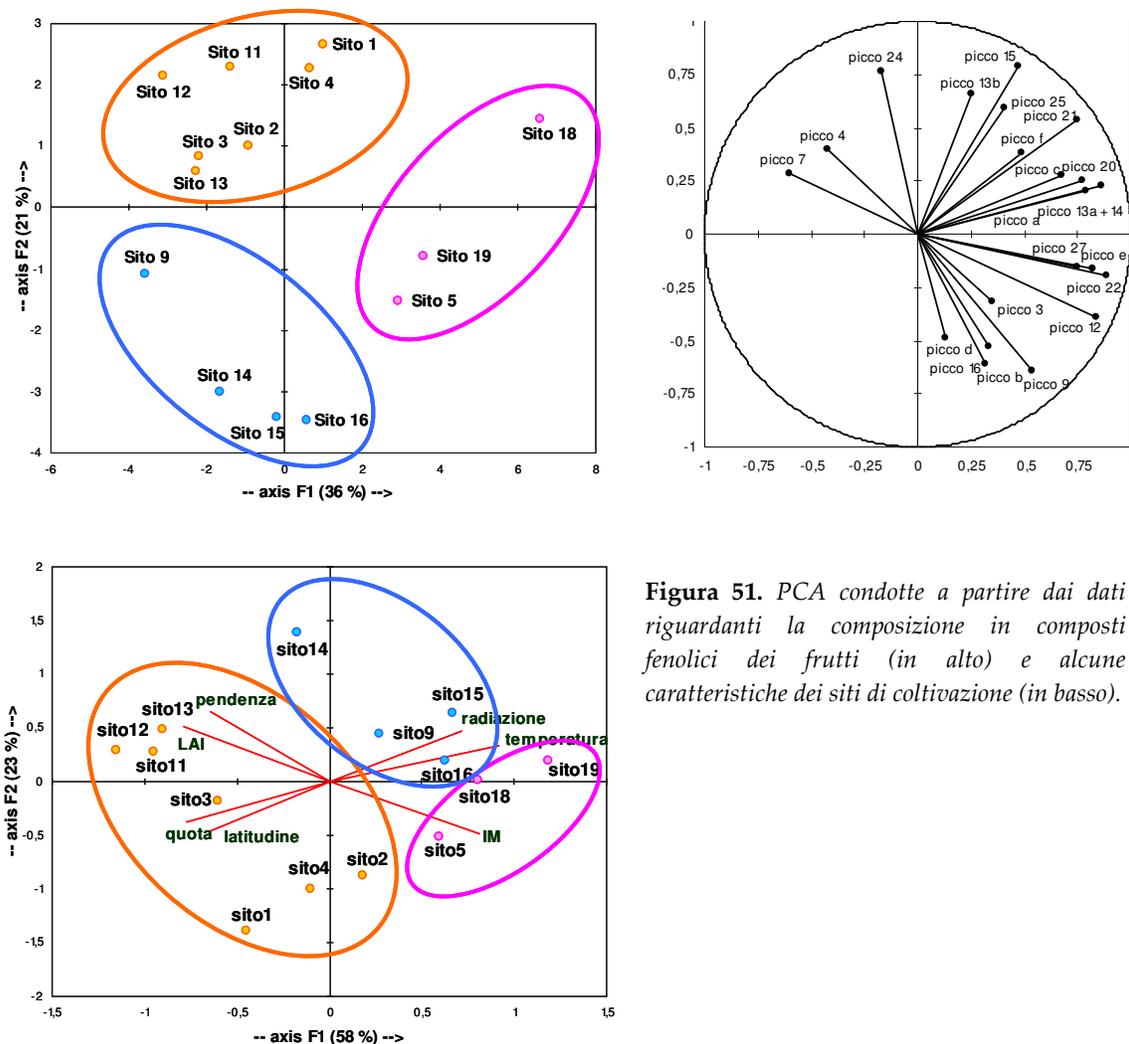


Figura 51. PCA condotte a partire dai dati riguardanti la composizione in composti fenolici dei frutti (in alto) e alcune caratteristiche dei siti di coltivazione (in basso).

Questa osservazione induce a cercare delle correlazioni tra il contenuto di singoli composti fenolici e fattori topografici e pedoclimatici del sito di coltivazione. Nonostante la frazione fenolica dell'olio sia oggetto di grande attenzione da parte degli ambienti scientifici e molti studi siano stati condotti sull'influenza del genotipo, dell'indice di maturazione e della tecnologia di estrazione sulla sua composizione, poco è stato il lavoro fatto sulla caratterizzazione della frazione fenolica del frutto. In particolare, i legami tra i fattori ambientali e la composizione in composti fenolici della drupa devono ancora essere chiariti.

In **figura 52** è mostrata la PCA (biplot) condotta sui dati inerenti la composizione della frazione fenolica della drupa e alcune caratteristiche dei siti di coltivazione. Si distinguono i 3 raggruppamenti dei siti già osservati in **figura 51**.

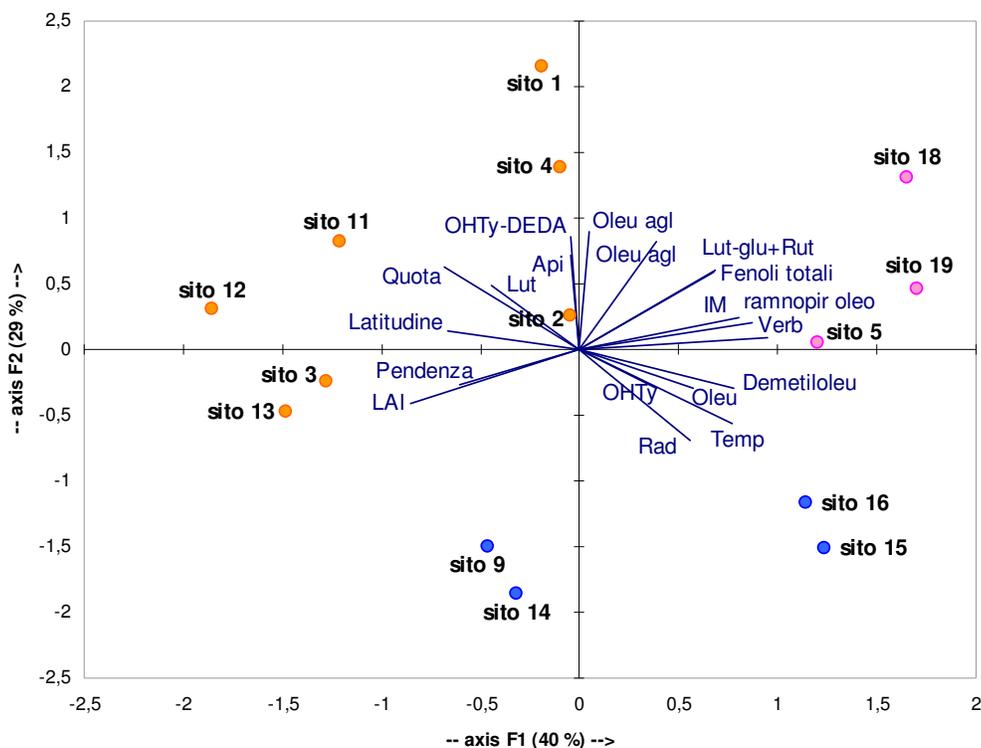


Figura 52. Biplot risultante dalla PCA condotta a partire dai dati riguardanti il contenuto dei principali composti fenolici del frutto e alcune caratteristiche dei siti di coltivazione. (OHTy=idrossitirosolo; Oleu=oleuropeina; Demetiloleu=demetiloleuropeina; Verb=verbascoside; ramnopir oleo=6'-ramnopiranosil oleoside; Lut-glu=luteolina-7-glucoside; Rut=rutina; Oleu agl=oleuropeina aglicone; OHTy-DEDA=forma dialdeidica della decarbossimetil oleuropeina aglicone; Lut=luteolina; Api=apigenina; Rad=radiazione solare media annuale; Temp=temperatura media annuale).

I siti 15 e 16, ubicati a minore altitudine, sono caratterizzati da un maggiore contenuto di oleuropeina e demetiloleuropeina nella drupa.

I siti 5, 18 e 19, caratterizzati da minore latitudine, minore pendenza e minore LAI e da un valore più alto dell'Indice di Maturazione, forniscono olive che, oltre ad essere più ricche in fenoli totali, presentano un maggiore contenuto di verbascoside, luteolina-7-glucoside, rutina e 6'-ramnopiranosil oleoside. Di questi composti, i primi tre sono prodotti del metabolismo fenilpropanoico, ovvero dal pathway metabolico che parte dall'attività della PAL. Il loro contenuto presenta una correlazione negativa con il LAI (coefficiente di correlazione secondo Pearson pari a -0.83 per il verbascoside e -0.78 per luteolina-7-glucoside + rutina), confermando l'influenza positiva esercitata dalla radiazione solare (ostacolata nella penetrazione attraverso la chioma nei siti a maggiore LAI) sull'attività di enzimi coinvolti nel metabolismo fenolico.

5.7 CONSIDERAZIONI EMERGENTI DALL'ANALISI PUNTUALE

Un'analisi complessiva e sintetica conferma come a caratteristiche ambientali differenti tra i siti di coltivazione corrispondano risposte produttive differenti.

Il dendrogramma di dissimilarità tra i siti di campionamento ottenuto impiegando come variabili le caratteristiche ambientali dei siti stessi e quello ottenuto sui dati riguardanti i frutti mostrano che alcuni siti si raggruppano allo stesso modo, in particolare l'11, il 12 e il 13 da una parte, il 15, il 18 e il 19 dall'altra (**figura 53**).

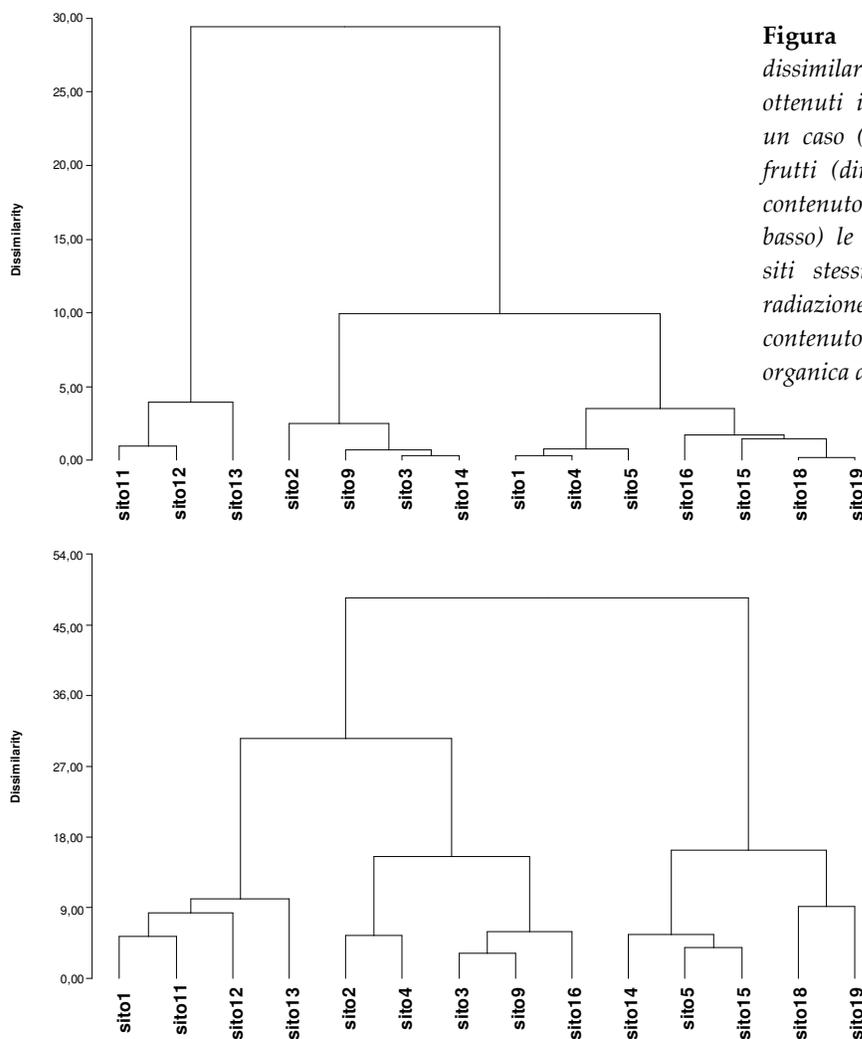


Figura 53. Dendrogrammi di dissimilarità tra i siti sperimentali ottenuti impiegando come variabili in un caso (in alto) le caratteristiche dei frutti (dimensioni, IM, fenoli totali e contenuto d'acqua) e nell'altro (in basso) le caratteristiche ambientali dei siti stessi (latitudine; temperatura e radiazione annuale; quota; tessitura, contenuto in calcare, pH e sostanza organica del suolo; LAI).

L'Analisi delle Componenti Principali condotta sui dati riguardanti i siti di coltivazione e i frutti in essi campionati (**figura 54**) mostra come i siti 11, 12 e 13, caratterizzati da quota e pendenza elevata, da basso apporto termico e radiativo, da LAI elevato, sono anche quelli che presentano la maturazione più ritardata, i frutti più piccoli, il minore contenuto in composti fenolici. In una condizione opposta si trovano i siti 15, 18 e 19.

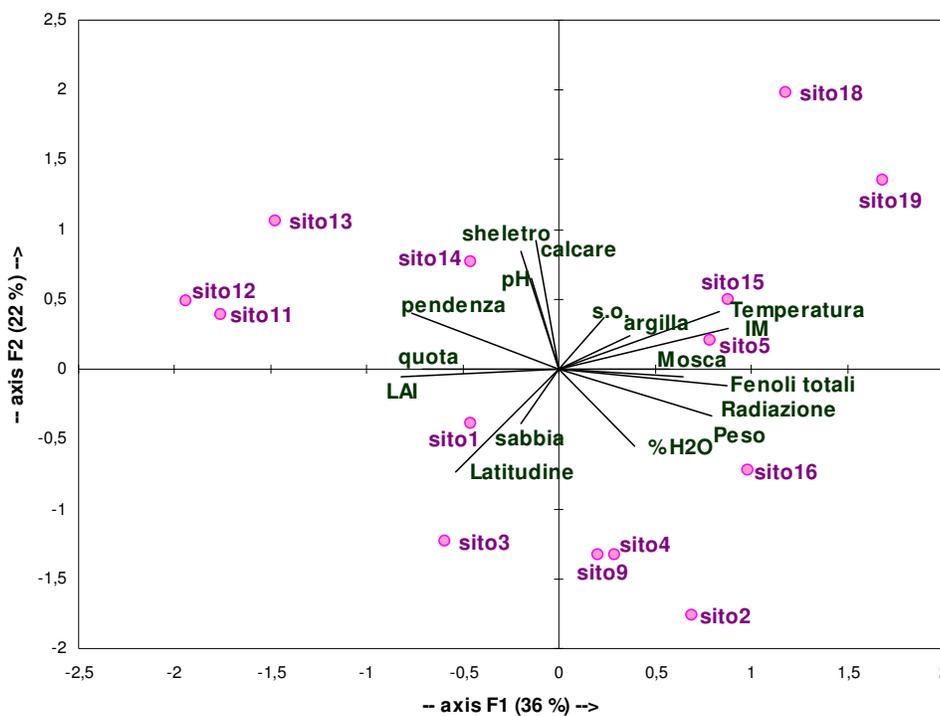


Figura 54. Biplot risultante dalla PCA condotta sui dati riguardanti caratteristiche dei siti di coltivazione e dei frutti in essi campionati.

L'analisi multivariata effettuata sui dati riguardanti le condizioni ambientali e agronomiche e il risultato produttivo ottenuto in tali condizioni conduce a formulare alcune osservazioni:

↳ Le caratteristiche fisico-chimiche del suolo, pur avendo mostrato una variabilità piuttosto ampia tra i siti indagati, sembrano esercitare un effetto trascurabile se paragonato a quello esercitato dalle condizioni climatiche e dalla gestione agronomica. Non sono state riscontrate in nessun sito condizioni pedologiche e idrauliche estreme, tali da condizionare in maniera inequivocabile lo sviluppo e la produttività della coltura dell'olivo. In uno scenario del genere, i legami tra le caratteristiche del suolo e quelle del frutto dell'olivo sarebbero probabilmente emersi soltanto nel caso in cui altri fattori ambientali o agronomici, di maggiore rilevanza, fossero stati standardizzati.

↳ Nell'ambito delle caratteristiche climatiche, le variabili emerse come rilevanti ai fini del risultato produttivo sono state il regime radiativo, a cui appaiono legate le dimensioni e il peso della drupa, e il regime termico, che ha mostrato esercitare un'influenza sulla precocità di maturazione, sul rischio fitosanitario e sulla composizione lipidica della drupa.

↳ La gestione agronomica ha mostrato rivestire un ruolo chiave, esercitando un'influenza sullo sviluppo, la maturazione e l'evoluzione della composizione del frutto più rilevante rispetto a quella attribuibile all'ambiente pedologico e climatico di coltivazione. In particolare, la densità di vegetazione, espressa come Indice di Area Fogliare, è un fattore importante per la pigmentazione del frutto e la sintesi dei composti fenolici, oltre a condizionare il bilancio idrologico della coltura, regolandone i flussi evapotraspirativi. Ciò conferma il ruolo svolto dall'apporto radiativo solare: una elevata fittezza della vegetazione circostante e sovrastante crea ostacolo alla penetrazione, nella parte interna e inferiore della chioma, dei raggi solari, che esercitano un'azione sui processi metabolici della pianta e, in ultima analisi, sulla

pigmentazione e sulla biosintesi dei componenti fenolici della drupa, che tanta importanza hanno nel determinare la qualità nutrizionale ed organolettica dell'olio. Queste considerazioni conducono a sottolineare l'importanza esercitata dalla potatura annuale nel garantire una buona penetrazione della luce all'interno della chioma.

CAPITOLO 6

INDAGINE TERRITORIALE

6.1 PREMESSA

Lo studio delle relazioni tra ambiente e risultato produttivo a scala puntuale ha consentito di individuare le variabili più importanti tra quelle caratterizzanti un sito di coltivazione, sulle quali concentrare l'attenzione rendendole oggetto di una indagine a scala territoriale. Lo scopo era quello di realizzare, per il territorio che si intenda valorizzare mediante la piena espressione delle potenzialità produttive dell'olivo, mappe relative alle variabili ambientali che rivestono un ruolo significativo per il risultato produttivo. Mappe di questo tipo possono da un lato essere strumenti di pianificazione territoriale, dall'altro possono contribuire ad indirizzare le scelte colturali, la gestione agronomica, le strategie aziendali.

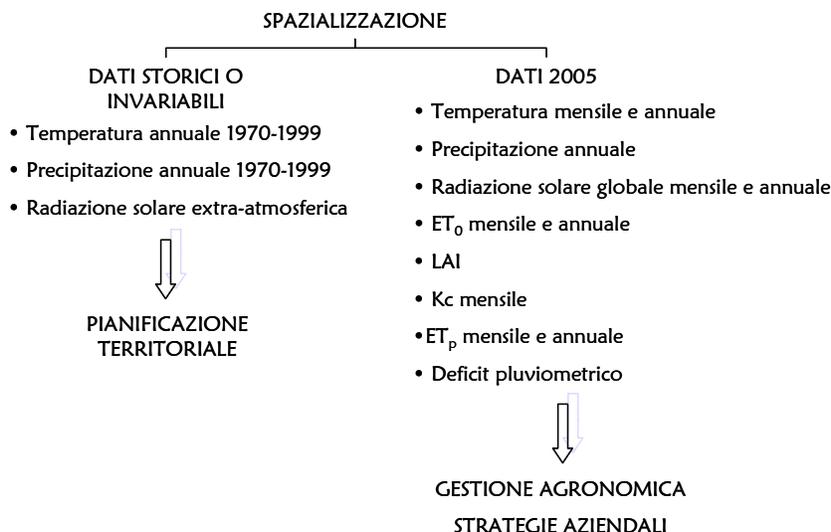
Dai risultati dell'indagine puntuale era emersa una limitata o poco evidente influenza esercitata dalle caratteristiche del suolo sul risultato produttivo, che appariva invece legato soprattutto a fattori climatici e agronomici. Tale osservazione ha portato ad escludere dall'indagine territoriale le variabili pedologiche. La spazializzazione, estesa ad una superficie di circa 2000 km² circostante i siti sperimentali, ha, dunque, avuto come oggetto essenzialmente variabili climatiche (temperatura, precipitazione, radiazione solare), colturali (LAI, k_c) e agro-meteorologiche (ET₀, ET_p, deficit pluviometrico).

Stabilite le variabili da spazializzare, è stato necessario valutare la scala temporale da utilizzare. A tal riguardo è stato osservato che, se da un lato la spazializzazione di dati storici può essere utile per formulare un giudizio sull'attitudine di un ambiente alla coltivazione dell'olivo, dall'altro mappe "attuali", relative cioè all'anno in corso, possono risultare utili per la gestione agronomica (es. calcolo dei fabbisogni irrigui, scelta della forma di allevamento e della modalità di potatura) o per la previsione del risultato produttivo potenzialmente ottenibile nei diversi ambienti.

Queste considerazioni hanno condotto alla decisione di utilizzare entrambe le scale temporali, realizzando:

- mappe relative a variabili storiche o immutabili nel tempo;
- mappe relative a variabili dell'anno di indagine (2005).

Mentre le prime possono fungere da strumento di pianificazione territoriale, le seconde possono essere di supporto alla gestione agronomica o all'elaborazione di strategie aziendali (es. acquisto di partite di olive provenienti da zone a maggiore potenzialità).



6.2 MAPPE RELATIVE A VARIABILI STORICHE

6.2.1 Spazializzazione dei dati termometrici storici

I dati termometrici storici sono stati ricavati dagli Annali Idrologici pubblicati dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Napoli, dai quali sono stati digitalizzati i valori di temperatura media annuale per il trentennio 1970-1999, relativi a 15 stazioni termometriche.

Le stazioni sono state scelte in base alla vicinanza con il territorio oggetto di studio, in base alla quota e in base alla disponibilità di dati: sono state scartate le stazioni per le quali non era disponibile un data-set sufficiente per il trentennio 1970-1999. Sono state, invece, incluse alcune stazioni distanti dall'area di studio, allo scopo di coprire un range altitudinale più ampio: è il caso delle stazioni di Montevergine e di Salerno, ubicate rispettivamente ad un'altitudine di 1287 e di 16 m s.l.m.

In **figura 55** è mostrata l'ubicazione delle stazioni termometriche utilizzate ed in **tabella 16** i dati di altitudine e di temperatura media annuale, relativa al trentennio 1970-1999.

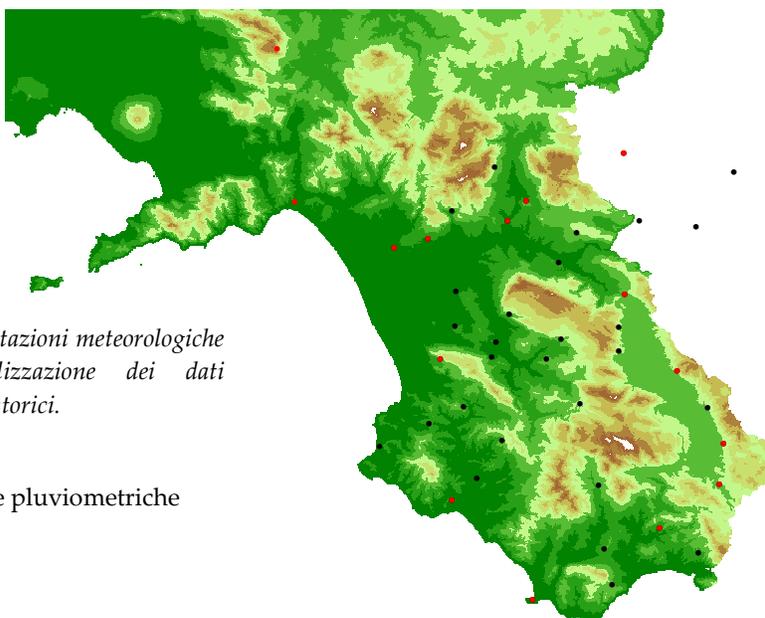


Figura 55. Ubicazione delle stazioni meteorologiche utilizzate per la spazializzazione dei dati termometrici e pluviometrici storici.

- Stazioni pluviometriche
- Stazioni termometriche e pluviometriche

Tabella 16. Quota e temperatura media annuale (1970-1999) delle 15 stazioni termometriche utilizzate.

Stazione	Quota (m s.l.m.)	Temperatura media annuale (°C)
Montevergine	1287	8,4
Salerno	16	17,6
Battipaglia	86	16,4
Contursi	97	14,9
Casalbuono	598	12,6
Montesano Terme	711	11,9
Muro Lucano	596	12,5
Eboli	173	16,0
Polla Molino	444	12,6
Sala Consilina	600	14,6
Capaccio	430	15,2
Casalvelino	189	17,6
Vallo della Lucania	417	13,9
Capo Palinuro	184	16,8
Morigerati	286	16,1

I valori storici (1970-1999) di temperatura ottenuti hanno mostrato una forte correlazione con la quota delle stazioni meteorologiche (**figura 56**).

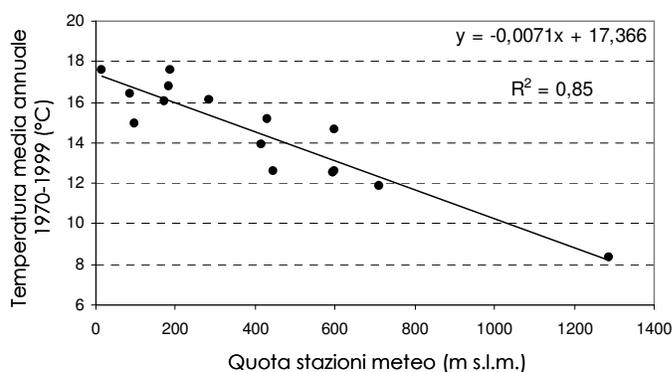


Figura 56. Relazione tra temperatura media annuale (1970-1999) e quota della stazione meteo.

L'equazione della retta di regressione quota-temperatura ($Temperatura = -0,0071 \cdot Quota + 17,366$) è stata applicata ad ogni pixel del DEM dell'area di studio, mediante il software ArcView GIS 3.2.

In tal modo è stata effettuata una spazializzazione della temperatura annuale, limitatamente alla parte di variabilità spiegata dalla quota.

Una parte, anche se minore, della variabilità riscontrata nei valori annuali di temperatura è attribuibile a fattori diversi dall'altitudine. Per tener conto di ciò, sono stati sottoposti a spazializzazione anche i residui della regressione quota-temperatura, calcolati come differenza tra il valore misurato di temperatura e quello stimato mediante la relazione con la quota. È stata utilizzata, mediante apposite estensioni del software ArcView GIS 3.2, una procedura basata sull'uso di funzioni inverse della distanza (Inverse Distance Weighted, IDW), in cui sono attribuiti pesi ai dati misurati con un'espressione del tipo:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{|x_i - x_0|^\beta} \cdot z(x_i) \quad \text{con } \beta > 0, \forall i=1, \dots, n \quad (6.1)$$

dove x_0 rappresenta un punto di un'area (individuato mediante le sue coordinate geografiche) per il quale si vuole stimare il valore di una variabile Z (in questo caso la temperatura annuale) mediante i valori noti $z(x_i)$, $i=1, \dots, n$, relativi alle x_i postazioni per le quali sono disponibili effettivamente i valori della variabile oggetto di studio.

I pesi attribuiti a ciascuna stazione meteorologica diminuiscono con la distanza dal punto per il quale si vuole stimare il valore di temperatura, con una rapidità che è determinata dal valore di β .

Nel caso specifico, a β è stato attribuito un valore pari a 2 (i pesi delle stazioni diminuiscono in funzione del quadrato della distanza) ed è stato utilizzato per la stima un numero (n) di stazioni più vicine (*nearest neighbours*) al punto x_0 pari a 6.

Le due matrici così ottenute (spazializzazione in funzione della quota e spazializzazione dei residui) sono state sommate, ottenendo una matrice/mappa di temperatura media annuale, con la stessa risoluzione spaziale del DEM (30 x 30 m) (**figura 57**).

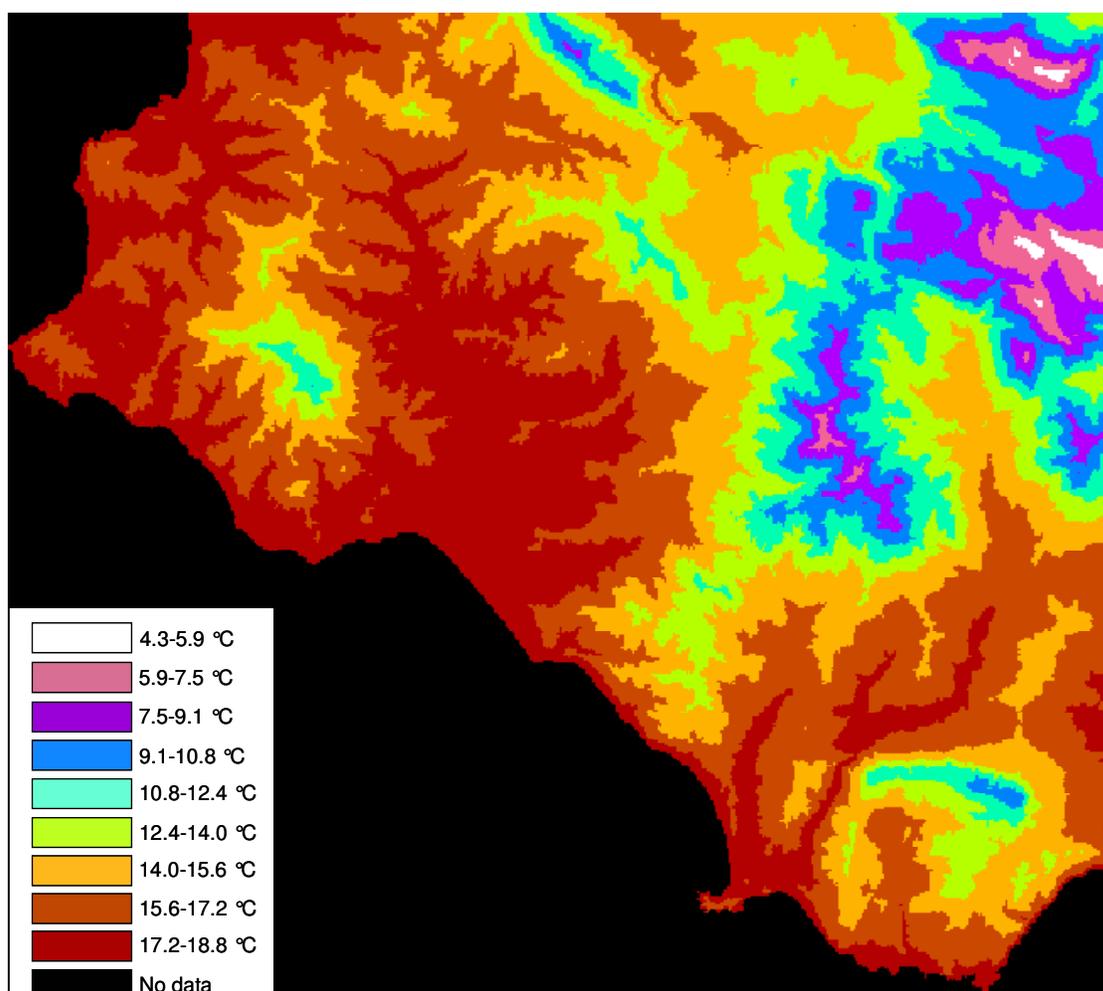


Figura 57. *Mapa di temperatura media annuale dell'area di studio.*

6.2.2 Spazializzazione dei dati pluviometrici storici

I dati pluviometrici storici sono stati ricavati dagli Annali Idrologici pubblicati dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Napoli, dai quali sono stati digitalizzati i dati mensili di precipitazione relativi a 40 stazioni pluviometriche distribuite sul territorio cilentano, per il trentennio 1970-1999. I valori mensili sono stati aggregati su base annua e quindi mediati sull'intero trentennio, ottenendo per ciascuna stazione un dato storico di precipitazione annuale (tabella 17).

Tabella 17. *Coordinate geografiche, quota e precipitazione media annuale (1970-1999) delle 40 stazioni pluviometriche utilizzate.*

Stazione	Coordinate geografiche		Quota	Pioggia annua (mm)
	X	Y		
Albanella Paese	509759	4480829	359	1016
Altavilla Silentina	509953	4487150	270	987
Avigliano	560860	4509100	910	959
Balvano	543599	4500221	478	791
Battipaglia	498648	4495314	86	1082
Bellosguardo	526426	4474856	536	1006
Brienza	539828	4480620	699	1042
Buccino	531982	4498158	659	939
Campagna	509121	4501918	300	1675
Capaccio	507127	4474967	430	1148
Capo Palinuro	524021	4430696	184	738
Casalbuono	558159	4451786	598	1675
Casalvelino	509280	4448947	189	1101
Castelcivita	519760	4482853	527	1219
Castellabate	495878	4458686	278	920
Castelluccio Cosentino	528809	4492471	458	1079
Castelnuovo Cilento	513907	4453024	23	1007
Cicerale	511311	4466000	436	1089
Contursi	519433	4500242	97	1119
Eboli	504874	4497012	173	1173
Felitto	517229	4477913	272	1493
Gioi Cilento	518451	4459940	685	1111
Montesano terme	558904	4459377	711	1184
Morigerati	547288	4443724	286	1391
Muro Lucano	540665	4512631	596	981
Padula	556139	4465923	688	937
Piaggine	532589	4466710	710	1427
Picerno	553965	4499086	728	760
Polla molino	540972	4486731	444	1015
Roccadaspide	516434	4475198	359	1316
Roccalgoriosa	536965	4439998	501	1357
Rofrano	536081	4451617	455	1539
S. Angelo a Fasanella	529216	4478505	557	1179
S. Giovanni a Piro	538608	4433469	585	1500
S. Rufo	539686	4476271	639	1359
Sala Consilina	550502	4472636	600	884
Senerchia	517179	4510073	600	1657
Torchiaro	504896	4463003	390	1032
Torraca	554254	4439238	455	1488
Vallo della Lucania	522803	4503829	417	1285

Tali dati sono stati sottoposti ad interpolazione.

Allo scopo di individuare il metodo migliore di interpolazione, sono state selezionate 10 stazioni meteorologiche delle 40 complessive, in maniera casuale con esclusione di quelle caratterizzate da valori estremi di precipitazione. Questo gruppo di stazioni è stato utilizzato per validare il metodo di interpolazione applicato sulle restanti 30, calcolando l'errore commesso da ciascun metodo e scegliendo quello in grado di condurre alla migliore stima della pioggia annuale in punti in cui non sia disponibile il dato misurato. L'errore è stato calcolato come *root mean square error* (RMSE), pari alla radice quadrata dello scarto quadratico medio.

La spazializzazione dei dati è stata effettuata utilizzando apposite estensioni del software Arcview GIS versione 3.2..

È stato, in primo luogo, verificato che i dati annuali di precipitazione non presentassero relazioni significative con la quota o con altre variabili topografiche che potessero spiegare parte della variabilità, ed è stato dunque assunto che la loro variabilità fosse influenzata, oltre che da fenomeni erratici, tipici delle variabili casuali, soltanto dalla struttura di correlazione dovuta al legame spaziale esistente.

Tenendo conto di ciò, sono stati scelti e messi a confronto, sul data-set disponibile, i seguenti due metodi fondamentali:

- Inverse Distance Weighted (IDW);
- Kriging.

Entrambi i metodi consentono di ottenere mappe relative a grandezze regionalizzate a partire da informazioni note su un insieme di punti limitato, attribuendo pesi ai dati misurati con un'espressione del tipo:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (6.2)$$

dove x_0 rappresenta un punto di una area (individuato mediante le sue coordinate geografiche) per il quale si vuole stimare il valore di una variabile Z (in questo caso la precipitazione annuale) mediante i valori noti $z(x_i)$, $i=1, \dots, n$, relativi alle x_i postazioni per le quali sono disponibili effettivamente i valori della variabile oggetto di studio.

Nelle procedure basate sull'uso di funzioni inverse della distanza, i pesi sono definiti mediante espressioni del tipo:

$$\lambda_i = \frac{1}{|x_i - x_0|^\beta} \quad \text{con } \beta > 0, \forall i=1, \dots, n \quad (6.3)$$

I pesi, cioè, diminuiscono con la distanza, con una rapidità che è determinata dal valore di β . Diversi tentativi sono stati fatti, facendo variare il valore di β e il numero (n) di stazioni più vicine (*nearest neighbours*) al punto x_0 , da considerare e alle quali attribuire dei pesi λ_i ($i=1, \dots, n$).

Il kriging è basato sulla adozione di un modello di variazione spaziale continuo e stocastico facendo il miglior uso possibile della informazione già esistente, cioè tenendo conto della natura e

delle caratteristiche del variogramma modello scelto per descrivere i dati campionari. Il semivariogramma rappresenta lo strumento base dell'analisi geostatistica campionaria. Il semivariogramma sperimentale $\gamma(h)$ misura la differenza tra dati separati da una distanza $|h|$ in una specifica direzione ed è calcolato considerando la metà della differenza quadratica tra i componenti di ogni coppia di dati:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{n=1}^{n(h)} [z(x_0) - z(x_0 + h)]^2 \quad (6.4)$$

dove $[z(x_0) - z(x_0+h)]$ rappresenta la differenza nel valore della variabile Z quando si passa da una sua realizzazione misurata in x_0 ad una misurata in x_0+h .

Il variogramma sperimentale ottenuto viene descritto mediante un modello matematico. La funzione che si utilizza per rappresentare il comportamento spaziale dei dati, o variogramma teorico, è in genere continua e caratterizzata da:

- un incremento monotono con la distanza $|h|$;
- un limite superiore della funzione variogramma, detta *varianza di soglia* (o *varianza di sill*), oltre la quale il valore di $\gamma(h)$ è indipendente da h (la distanza finita dall'origine alla quale si raggiunge tale valore di soglia è nota come *intervallo* o *range*);
- una intercetta positiva detta *effetto pepita* (*nugget*);
- la presenza di eventuali fluttuazioni periodiche (*effetto hole*).

Diversi modelli possono essere utilizzati per descrivere matematicamente il comportamento del variogramma campionario, tra i quali i modelli lineare, sferico, esponenziale, gaussiano.

Nel kriging lineare le stime sono combinazioni lineari pesate dei dati realmente disponibili in un dato intorno di un punto; i pesi sono assegnati ai dati campionari in modo tale che sia minimizzata la varianza di kriging.

La varianza della stima è data da:

$$\text{Var}[\hat{Z}(x_0)] = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_0) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) \quad (6.5)$$

dove $\gamma(x_i, x_j)$ è la stima della semivarza di Z tra i punti x_i e x_j e $\gamma(x_i, x_0)$ è la semivarianza tra l' i -esimo punto ed il punto oggetto di stima x_0 .

Per ogni stima ottenuta mediante kriging viene associata una varianza di kriging. Il passaggio successivo è quello di trovare i pesi che minimizzano tali varianze; tali pesi sono utilizzati nell'equazione 6.2.

Sono stati effettuati diversi tentativi di interpolazione della precipitazione annuale mediante la tecnica del kriging, variando il modello utilizzato per descrivere il variogramma campionario ed i parametri impiegati per descriverlo.

Il metodo di interpolazione che ha dato i risultati migliori, in termini di Root Mean Square Error tra dati misurati e dati stimati, calcolato sul campione di 10 stazioni meteo utilizzato per la validazione, è stato il kriging con adozione del modello gaussiano per descrivere il variogramma campionario. Tale tecnica è stata, dunque, applicata per realizzare una mappa di precipitazione annuale interpolando i dati puntuali storici (1970-1999) (**figura 58**).

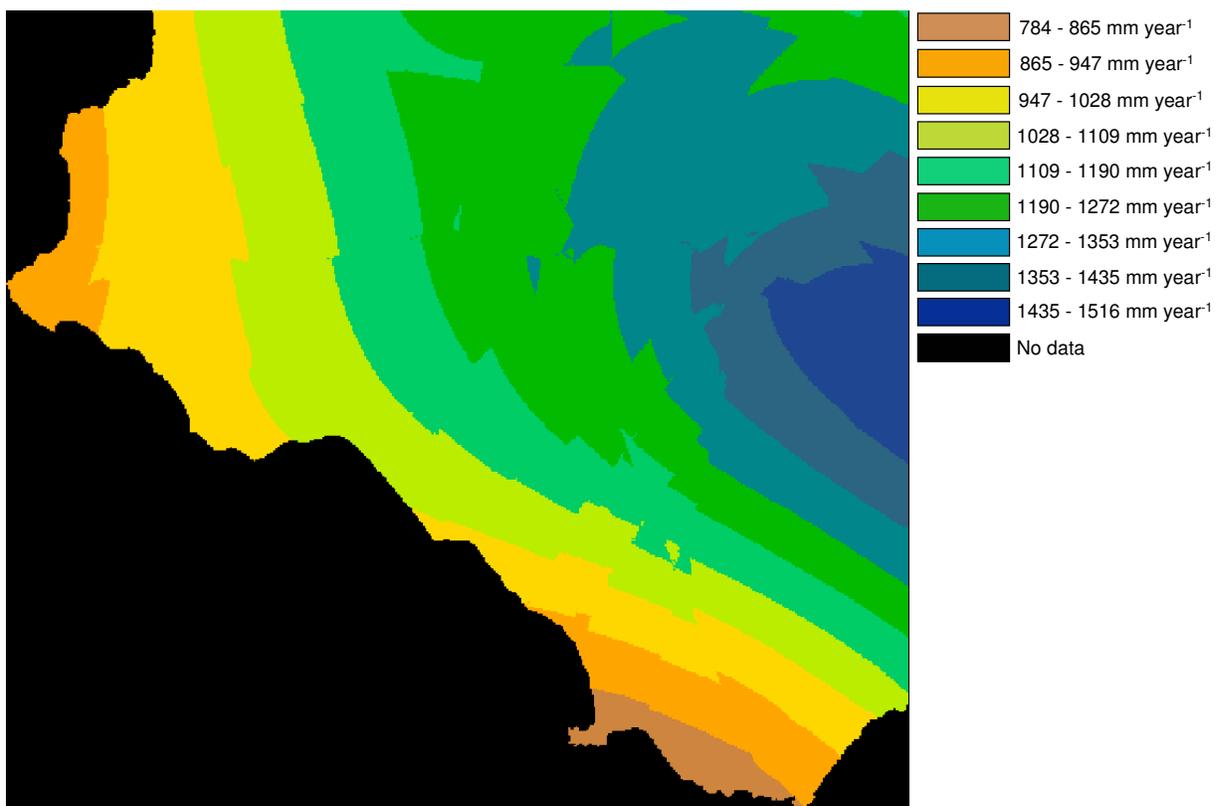


Figura 58. *Mapa di precipitazione annuale dell'area di studio (media 1970-1999).*

6.2.3 Mappe di radiazione solare extra-atmosferica

La stima della radiazione solare è stata basata sul modello descritto nel § 3.3: per ciascun pixel del DEM dell'area di studio, la radiazione extra-atmosferica giornaliera è stata calcolata in funzione di latitudine, pendenza ed esposizione e, successivamente, moltiplicata per il valore stimato di trasmittanza atmosferica per ottenere la radiazione solare globale.

Dal DEM dell'area di studio sono state ricavate, mediante il software ArcView GIS 3.2, le mappe di pendenza ed esposizione (figure 59-60).

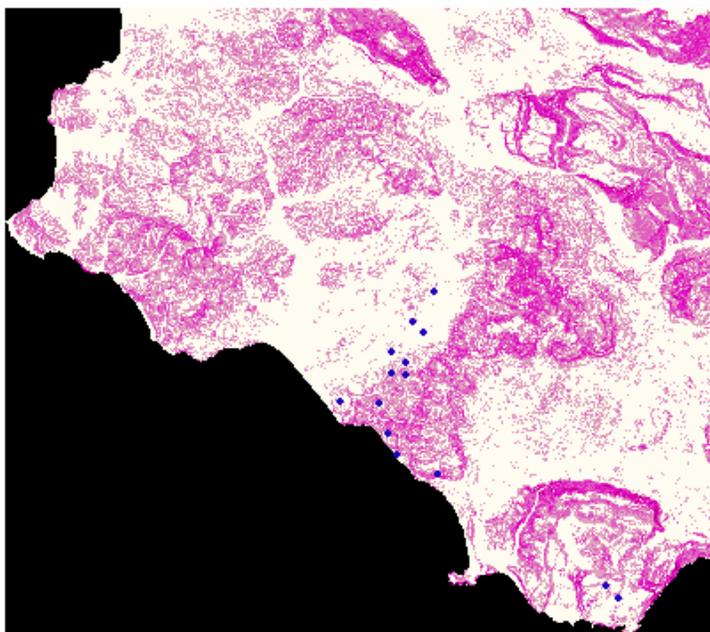


Figura 59. *Mappa della pendenza (°) dell'area di studio con indicazione dei siti sperimentali.*

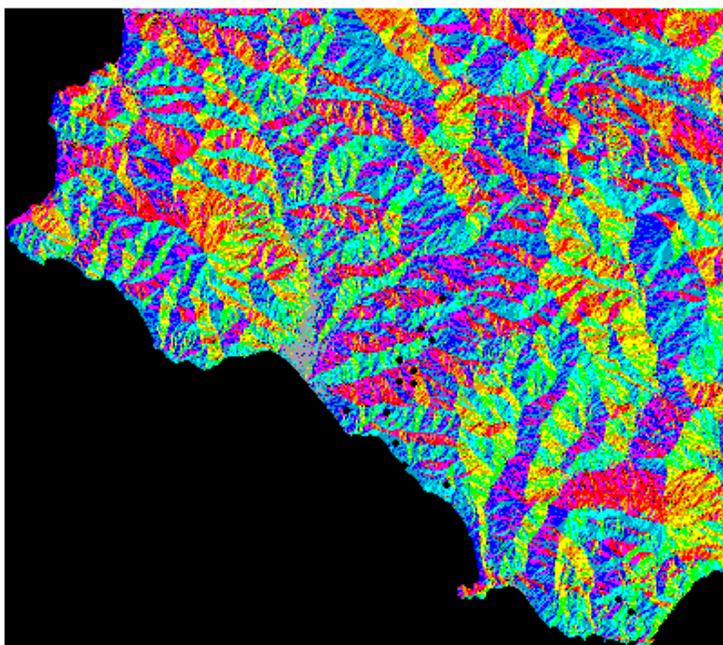
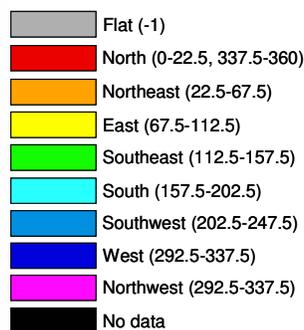
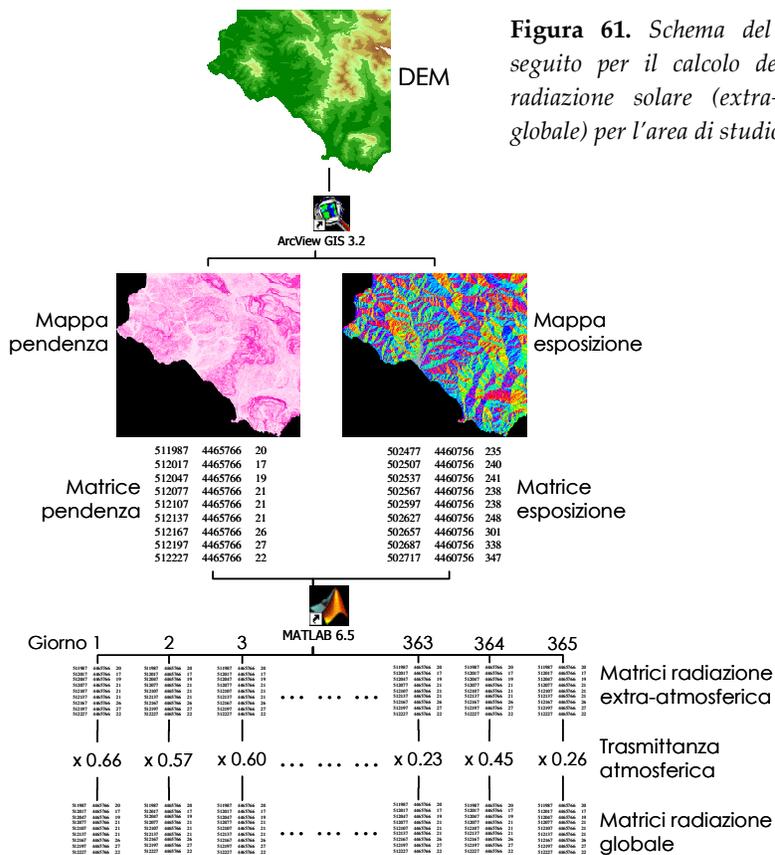


Figura 60. *Mappa dell'esposizione (°) rispetto al nord) dell'area di studio con indicazione dei siti sperimentali.*



Per ogni pixel (30 m x 30 m) sono stati, cioè, calcolati il valore della pendenza, espressa in gradi, e l'esposizione, ovvero il valore, in gradi, dell'angolo azimutale rispetto al nord.

Le matrici di pendenza ed esposizione sono state utilizzate per calcolare, mediante il software Matlab 6.5, matrici giornaliere di radiazione extra-atmosferica, secondo il modello descritto nel § 3.3.



I valori ottenuti sono stati mediati su base mensile e poi annuale, ottenendo matrici/mappe mensili e annuali di radiazione extra-atmosferica, costante di anno in anno (figura 62).

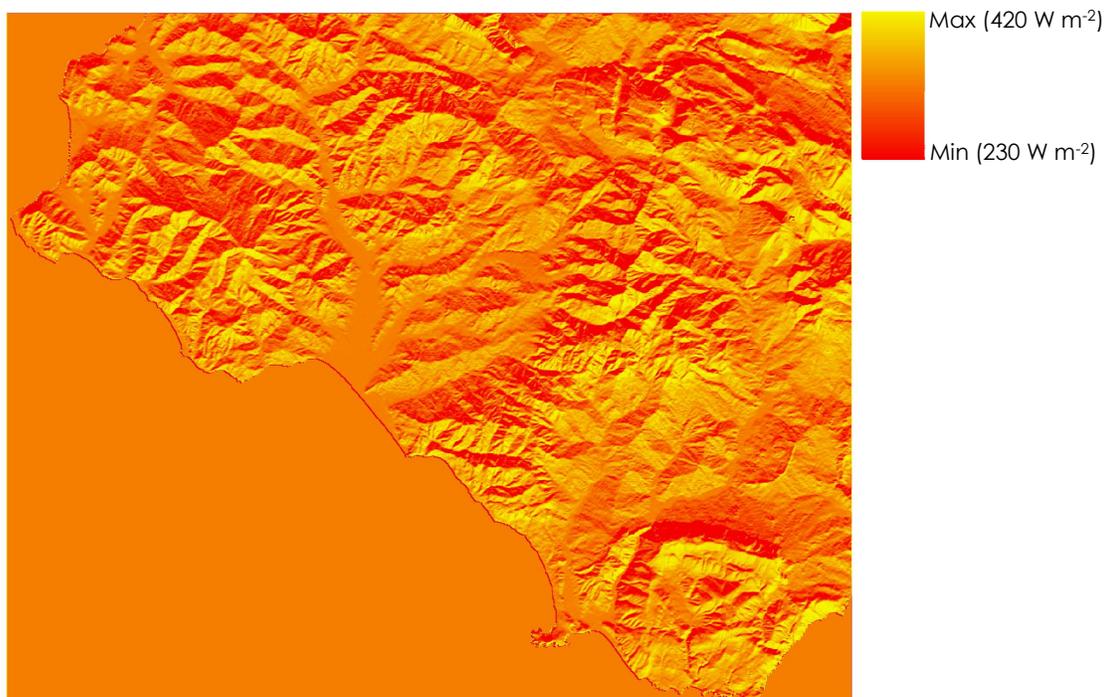


Figura 62. *Mappa di radiazione extra-atmosferica dell'area di studio.*

Dall'immagine appare chiaro come la radiazione solare extra-atmosferica sia fortemente influenzata dall'esposizione del sito. È, infatti, molto evidente la differenza nell'apporto radiativo annuale tra i due versanti di uno stesso rilievo montuoso, con quello esposto a sud a beneficiare di un apporto nettamente superiore rispetto al versante opposto. Anche in un areale piuttosto omogeneo dal punto di vista latitudinale, dunque, la variabilità nella radiazione solare di cui le colture possono usufruire è decisamente ampia, anche più di quanto evidenziato nel presente lavoro, essendo state trascurate nel calcolo (§ 3.3) le influenze esercitate dai rilievi circostanti, che possono creare ostacolo alla penetrazione dei raggi solari, riducendo l'apporto di radiazione diretta per un sito di coltivazione. Tener conto di tale variabilità all'atto della scelta di un sito opportuno per l'impianto di un oliveto è di fondamentale importanza, essendo la radiazione solare il motore del processo di fotosintesi ed essendo ad essa legati numerosi processi metabolici. Anche nel presente studio è emerso il ruolo svolto dalla disponibilità di radiazione solare nei processi di accrescimento del frutto e di biosintesi dei componenti minori della drupa (cap. 5).

La condizione più vantaggiosa appare, dunque, costituita da esposizione a sud e dall'assenza di significativi rilievi circostanti che possano determinare prolungato ombreggiamento alla coltura.

Della disponibilità di radiazione solare va anche tenuto conto nell'impostazione della distanza d'impianto, della forma di allevamento e della modalità di potatura: nelle aree dove l'apporto radiativo solare è limitato, a causa di una esposizione sfavorevole o dell'ombreggiamento provocato da rilievi vicini, sarà maggiormente importante favorire la penetrazione dei raggi solari anche nella parte interna della chioma attraverso una adeguata forma di allevamento e una opportuna modalità di potatura.

6.3 MAPPE RELATIVE A VARIABILI DELL'ANNO 2005

6.3.1 Spazializzazione dei dati termometrici 2005

Per l'anno 2005, sono state individuate 12 stazioni termometriche attive nell'areale cilentano o nelle vicinanze, gestite dal Consorzio di Bonifica Velia, dal Centro Funzionale Meteo-Idrologico della Giunta Regionale della Campania e dall'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania.

La stazione di Torriello, pur essendo distante dall'area di studio, è stata inclusa in quanto ubicata ad elevata altitudine.

In **figura 63** è mostrata l'ubicazione delle stazioni termometriche utilizzate ed in **tabella 18** i dati di altitudine e di temperatura media annuale, relativa all'anno 2005.

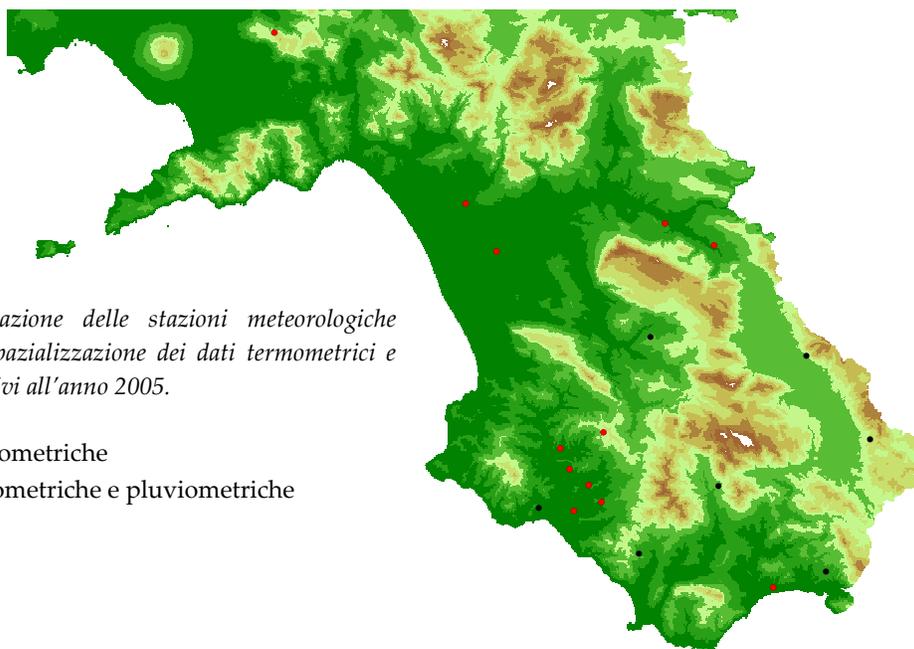


Figura 63. Ubicazione delle stazioni meteorologiche utilizzate per la spazializzazione dei dati termometrici e pluviometrici relativi all'anno 2005.

- Stazioni pluviometriche
- Stazioni termometriche e pluviometriche

Tabella 18. Quota e temperatura media annuale delle 12 stazioni termometriche utilizzate per l'anno 2005.

Stazione	Quota (m s.l.m.)	Temperatura media annuale (°C)
POLICASTRO BUSSENTINO	10	16,9
ASCEA	20	16,5
PERSANO SELE	35	15,7
BATTIPAGLIA	50	17,1
PERITO	80	15,4
SALENTO	82	15,9
CASTELNUOVO CILENTO	86	16,1
CERASO	167	15,5
AULETTA	204	13,7
CASTELLUCCIO COSENTINO	428	13,9
GIOI CILENTO	699	12,3
TORRIELLO	848	11,2

I dati mancanti di temperatura media giornaliera, riscontrati per alcune stazioni, sono stati ricostruiti a partire dai dati registrati nella stazione meteorologica per la quale era stata osservata la migliore correlazione tra le due serie di valori.

I dati di temperatura media giornaliera sono stati mediati su base mensile e i valori ottenuti sono stati sottoposti a spazializzazione secondo la procedura seguita per i dati storici di temperatura (§ 6.2.1). Per ciascun mese, è stata effettuata una regressione quota-temperatura (**tabella 19**) e l'equazione della retta ottenuta è stata applicata al DEM dell'area di studio.

Tabella 19. Equazioni delle rette di regressione quota/temperatura per ciascun mese dell'anno 2005 e corrispondenti valori del coefficiente r^2 .

	Equazione della retta di regressione quota/temperatura	r^2
Gennaio	$temperatura = -0.0067 * quota + 8.41$	$r^2 = 0.81$
Febbraio	$temperatura = -0.0078 * quota + 7.35$	$r^2 = 0.91$
Marzo	$temperatura = -0.0056 * quota + 11.10$	$r^2 = 0.91$
Aprile	$temperatura = -0.0059 * quota + 14.41$	$r^2 = 0.89$
Maggio	$temperatura = -0.0052 * quota + 19.70$	$r^2 = 0.73$
Giugno	$temperatura = -0.0057 * quota + 22.96$	$r^2 = 0.82$
Luglio	$temperatura = -0.0057 * quota + 25.46$	$r^2 = 0.86$
Agosto	$temperatura = -0.0065 * quota + 24.26$	$r^2 = 0.88$
Settembre	$temperatura = -0.0062 * quota + 21.84$	$r^2 = 0.88$
Ottobre	$temperatura = -0.0057 * quota + 17.62$	$r^2 = 0.82$
Novembre	$temperatura = -0.0062 * quota + 13.28$	$r^2 = 0.83$
Dicembre	$temperatura = -0.0072 * quota + 9.92$	$r^2 = 0.89$
Anno	$temperatura = -0.0062 * quota + 16.41$	$r^2 = 0.89$

I residui della regressione quota-temperatura sono stati interpolati mediante una procedura basata sull'uso di funzioni inverse della distanza e la matrice ottenuta sommata a quella derivante dalla regressione quota-temperatura. La procedura è stata ripetuta per ciascun mese, ottenendo 12 matrici/mappe di temperatura media mensile per l'anno 2005.

Le mappe relative ai mesi di gennaio e di luglio sono mostrate in **figura 64**.

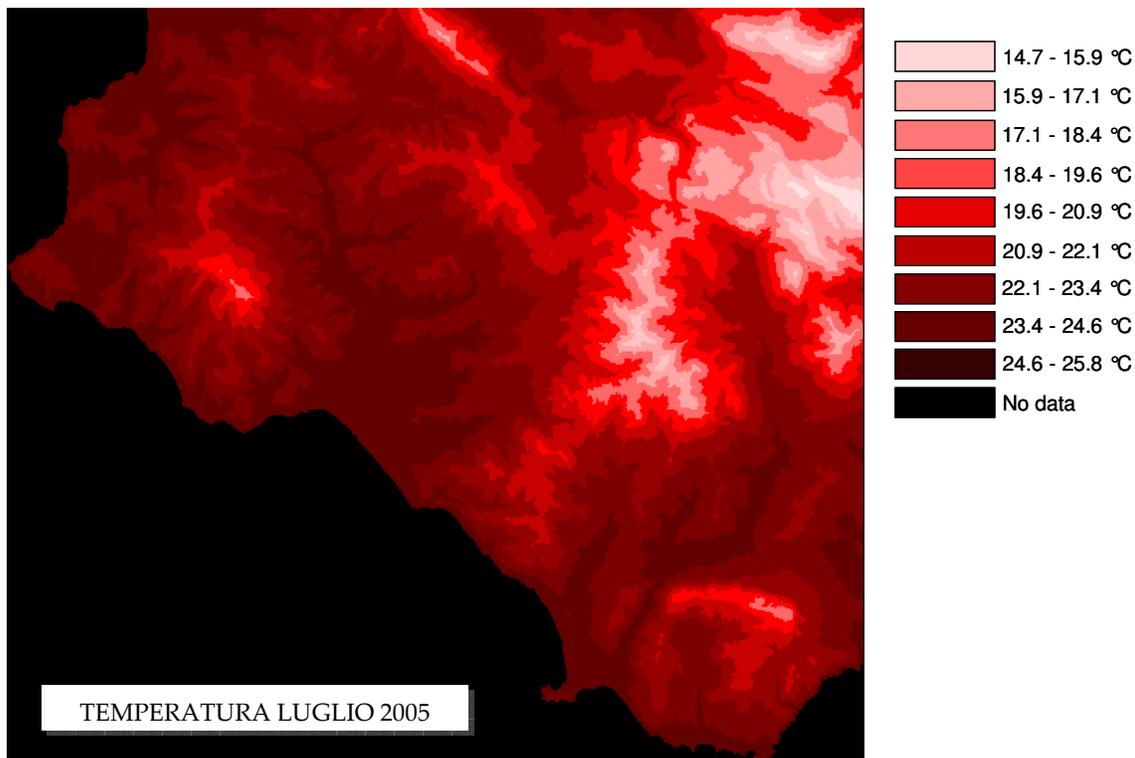
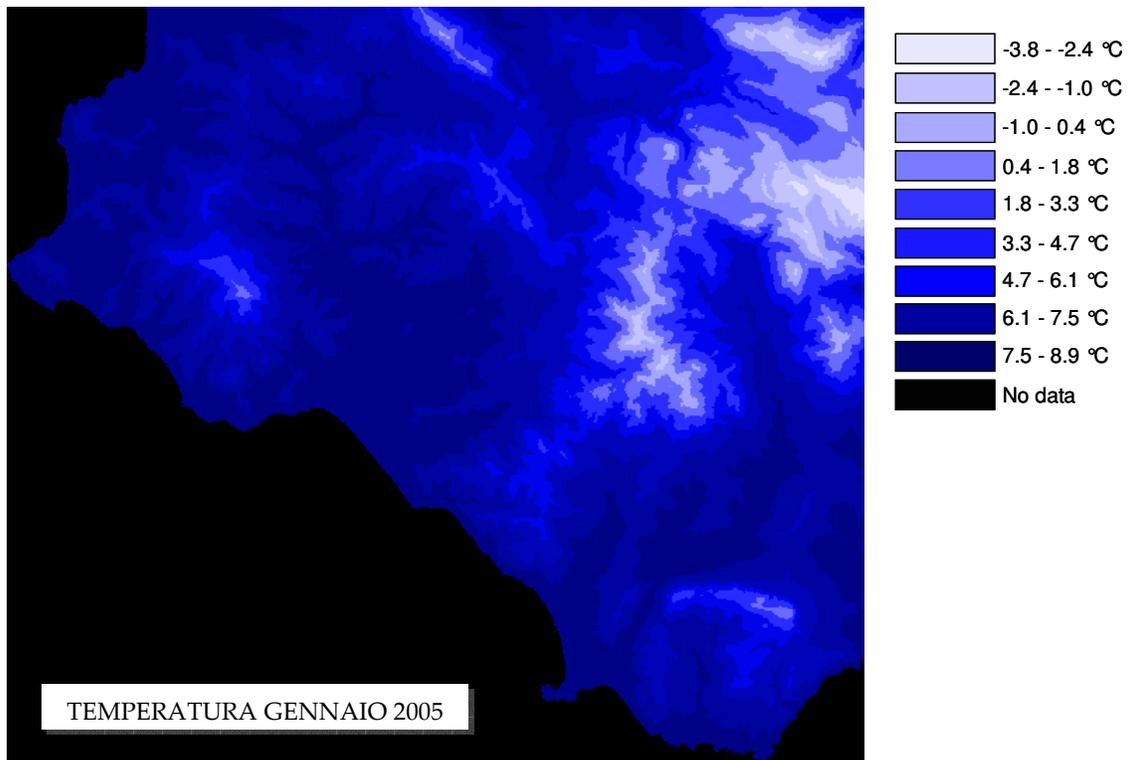


Figura 64. Mappe di temperatura media relative ai mesi di gennaio (in alto) e di luglio (in basso) 2005 per l'area di studio.

6.3.2 Spazializzazione dei dati pluviometrici 2005

Per l'anno 2005, sono state individuate 19 stazioni pluviometriche attive nell'areale cilentano o nelle vicinanze (**figura 63**), gestite dal Consorzio di Bonifica Velia, dal Centro Funzionale Meteo-Idrologico della Giunta Regionale della Campania e dall'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania.

I dati giornalieri sono stati aggregati per il periodo aprile-ottobre (periodo per il quale è stato calcolato il deficit pluviometrico, vedi § 6.3.6) e sottoposti ad interpolazione spaziale secondo la stessa procedura seguita per i dati pluviometrici storici (§ 6.2.2), ottenendo una matrice di precipitazione relativa al periodo aprile-ottobre 2005.

6.3.3 Mappe di radiazione solare globale

Matrici giornaliere di radiazione solare globale sono state ottenute moltiplicando la radiazione extra-atmosferica per il valore di trasmittanza atmosferica (**figura 61**). Quest'ultima è stata calcolata, per la stazione meteo di Ascea, dividendo i valori giornalieri misurati di radiazione solare globale per quelli stimati di radiazione extra-atmosferica, come descritto nel § 3.3.

I valori ottenuti sono stati mediati su base mensile e poi annuale, ottenendo matrici/mappe mensili e annuali di radiazione globale, relativa all'anno 2005, per l'area di studio (**figura 65**).

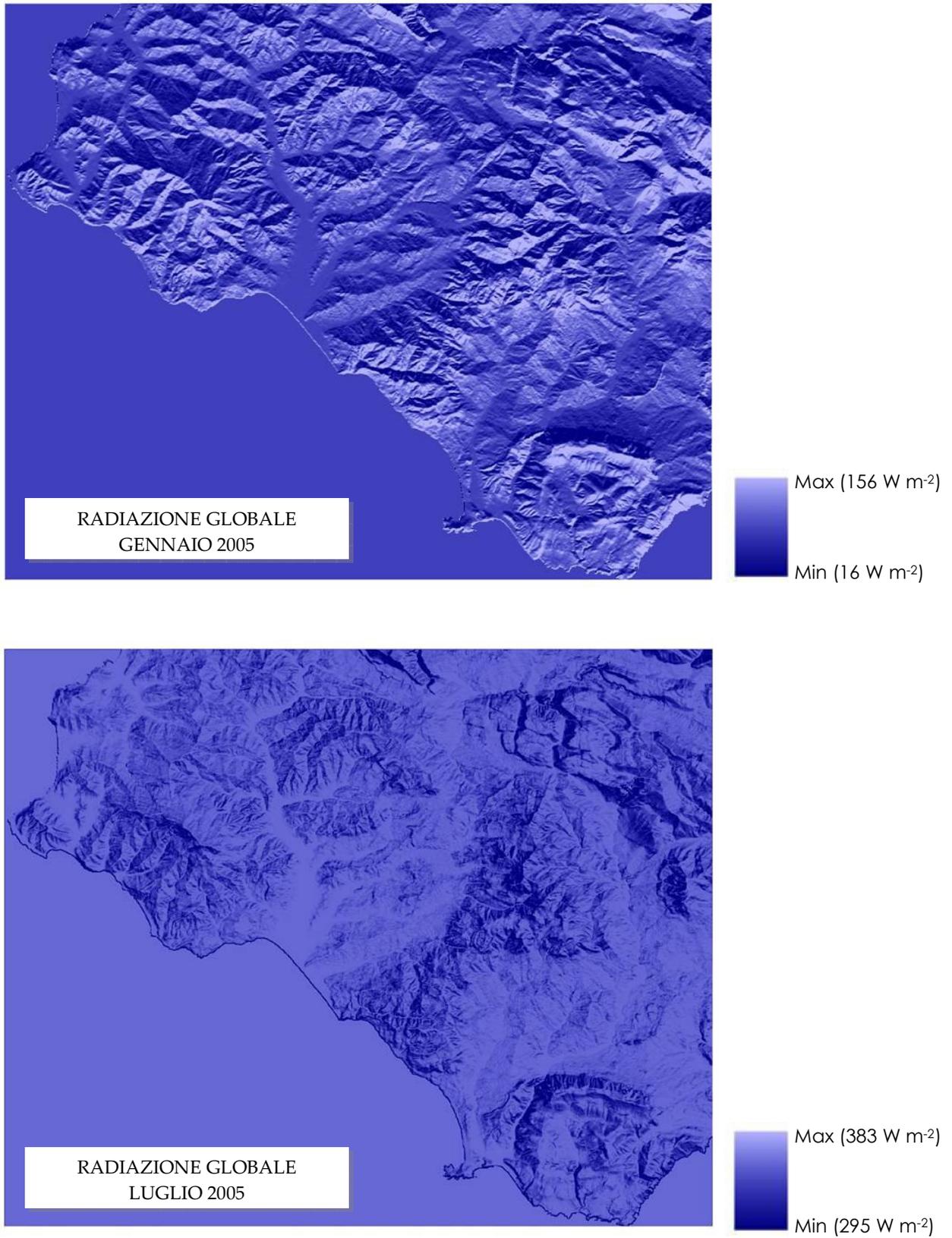


Figura 65. Mappe di radiazione solare globale relative ai mesi di gennaio (in alto) e di luglio (in basso) 2005 per l'area di studio.

Dalle immagini relative alla distribuzione della radiazione solare nel territorio in esame in due diversi mesi dell'anno 2005 appare come la variabilità nell'apporto radiativo in funzione dell'esposizione sia meno ampia, quindi le differenze tra i versanti a sud e quelli a nord meno marcate, in estate piuttosto che in inverno.

6.3.4 Mappe di evapotraspirazione di riferimento

Le matrici di radiazione solare globale media mensile, assieme a quelle di temperatura media mensile e di altitudine, sono state impiegate per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento a scala territoriale, ovvero per ogni pixel (30 x 30 m) del DEM dell'area di studio. Il calcolo è stato effettuato secondo il modello di Makkink, descritto nel § 3.6, in cui l'evapotraspirazione di riferimento viene stimata a partire da radiazione solare globale (input energetico per il passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello di vapore), temperatura dell'aria (da cui dipendono calore latente di evaporazione, pressione di vapore saturo, pressione atmosferica) e altitudine (che pure influenza la pressione atmosferica). Al coefficiente c è stato assegnato il valore di 0,57 (vedi § 3.6). Sono state così ottenute matrici/mappe di evapotraspirazione di riferimento (espressa in mm d^{-1} , valore medio mensile) per ogni mese dell'anno 2005 (**figura 66**).

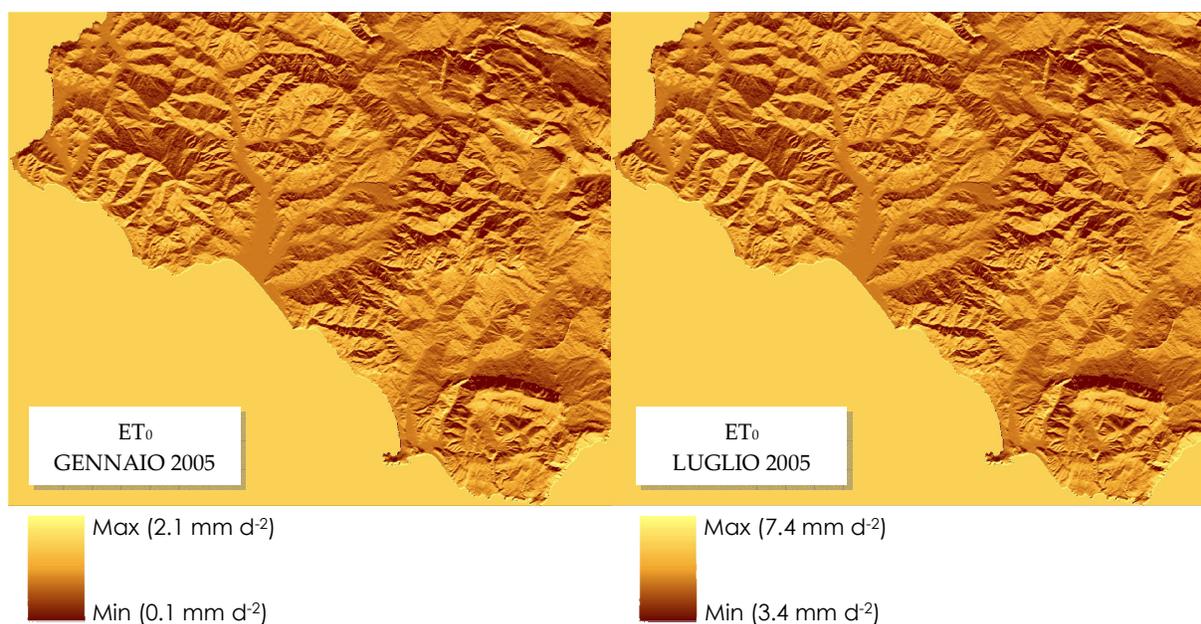


Figura 66. Mappe di evapotraspirazione di riferimento relative ai mesi di gennaio (a sinistra) e di luglio (a destra) 2005 per l'area di studio.

La variabilità riscontrata nei valori mensili di evapotraspirazione di riferimento rispecchia essenzialmente quella evidenziata nei valori di radiazione solare, costituendo quest'ultima l'apporto energetico per il processo evapotraspirativo ed essendo stato utilizzato un metodo radiativo per il calcolo della ET_0 . La temperatura dell'aria e l'altitudine, che pure sono state utilizzate per il calcolo dei valori di ET_0 , esercitano un peso decisamente inferiore. Persiste, dunque, per la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera, la netta differenza in funzione dell'esposizione già evidenziata per i valori di radiazione solare: tra il versante esposto a sud e

quello opposto il valore di ET_0 può anche risultare dimezzato. In generale, la variabilità nei valori di ET_0 è decisamente ampia: anche in estate, quando tale variabilità è minore, i valori massimi riscontrati sono sempre più che doppi rispetto ai minimi.

6.3.5 Mappa di Indice di Area Fogliare

Una mappa di Indice di Area Fogliare per l'area di studio relativa all'anno 2005 è stata ottenuta mediante elaborazione di un'immagine satellitare multispettrale. Diversi semplici approcci sono stati proposti per la stima del LAI a partire da immagini da satellite, mediante relazioni empiriche tra tale parametro vegetazionale e le misure di riflettanza nelle bande del rosso e dell'infrarosso. Tali approcci sono basati sull'assunzione che tutti gli altri fattori, ad esclusione del LAI, che possano influenzare la risposta spettrale della coltura siano fissi.

Nel caso specifico, si è fatto ricorso al modello CLAIR (Clevers, 1989), in cui il LAI viene calcolato a partire da un indice denominato *Weighted Difference Vegetation Index (WDVI)*, definito come:

$$WDVI = \rho_i - \rho_r * \rho_{si}/\rho_{sr} \quad (6.6)$$

dove ρ_r e ρ_i indicano la riflettanza della vegetazione misurata dal satellite nelle bande del rosso e dell'infrarosso, rispettivamente, mentre ρ_{sr} e ρ_{si} sono i corrispondenti valori per il suolo nudo; il rapporto ρ_{si}/ρ_{sr} può essere considerato una costante (D'Urso e Calera Belmonte, 2005).

Il LAI è calcolato a partire dal WDVI attraverso l'espressione:

$$LAI = - 1/\alpha \ln(1 - WDVI/WDVI_\infty) \quad (6.7)$$

dove α è un coefficiente di estinzione che deve essere determinato da misure simultanee di LAI e di $WDVI$, mentre $WDVI_\infty$ rappresenta il valore asintotico di WDVI per $LAI \rightarrow \infty$.

Questo approccio, validato mediante misure di campo in condizioni differenti (D'Urso e Calera Belmonte, 2005), è stato impiegato per realizzare una mappa di LAI a partire da un'immagine multispettrale (in particolare dalle bande del rosso e dell'infrarosso) acquisita dal satellite Landsat il giorno 21/06/2005. Per il calcolo, sono state effettuate le seguenti assunzioni: $\rho_{si}/\rho_{sr}=1.115$, $\alpha=0.33$; $WDVI_\infty=0.55$ (D'Urso e Calera Belmonte, 2005).

La mappa di LAI è stata, successivamente, intersecata con la Carta di Uso del Suolo della Regione Campania del 2005, in scala 1:50.000, ottenendo, per l'area di studio, una mappa di LAI relativa alle sole aree olivetate (**figura 67**). Data la lentezza di accrescimento che caratterizza la coltura dell'olivo, tale mappa può ritenersi valida per l'intera stagione 2005, almeno nel periodo precedente eventuali interventi di potatura effettuati dopo la raccolta.

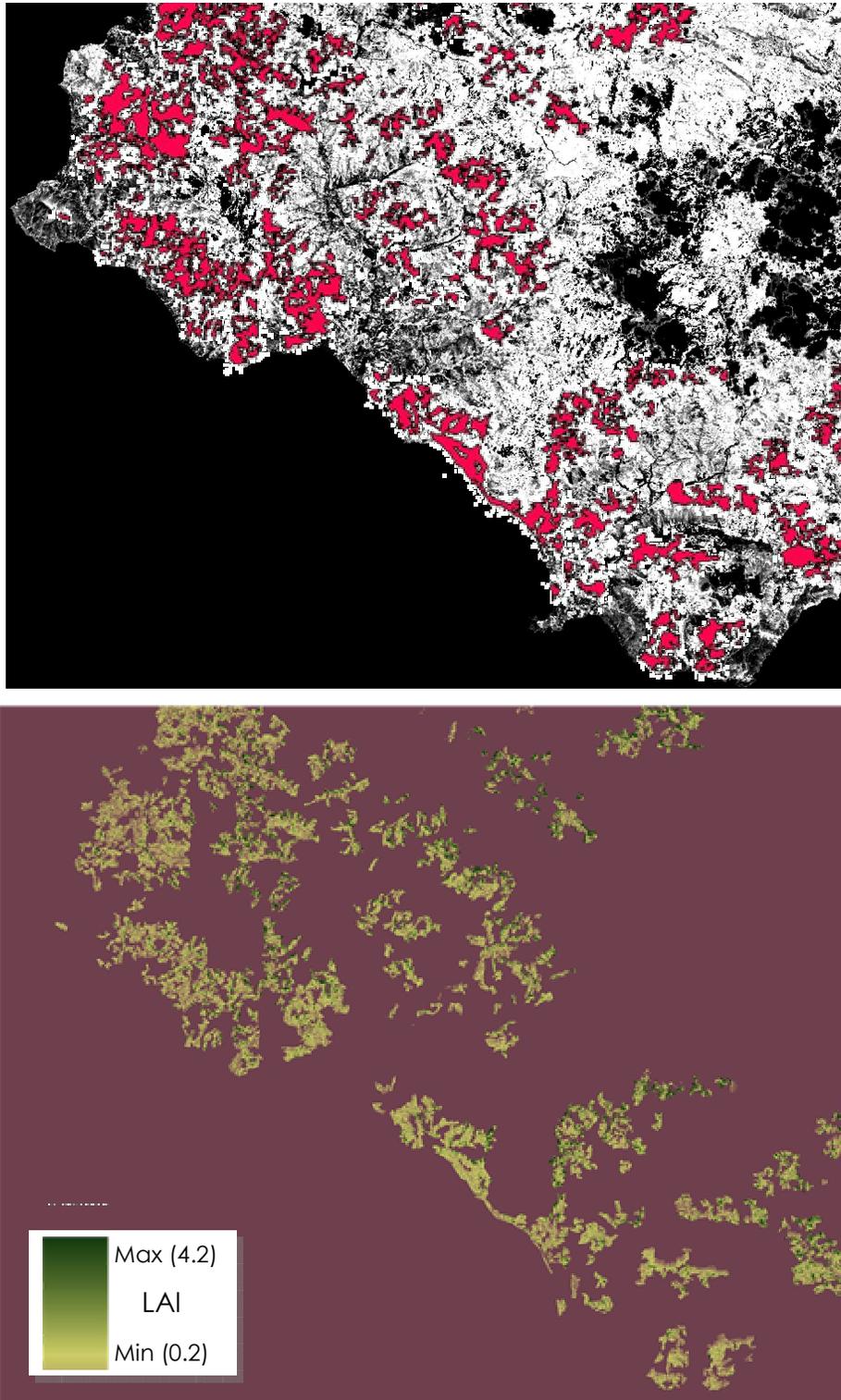


Figura 67. Alla mappa di LAI ottenuta dall'immagine satellitare sono stati sovrapposti i poligoni corrispondenti, nella carta di uso del suolo della Campania, agli oliveti (in alto), ottenendo una mappa di LAI relativa alle sole aree olivetate (in basso).

L'Indice di Area Fogliare calcolato per le aree olivetate a partire da dati spettrali acquisiti da satellite ha mostrato una variabilità molto ampia, che non rispecchia però la variabilità riscontrata in nessuno dei parametri climatici. Il LAI di un oliveto è, infatti, funzione principalmente della gestione agronomica: distanza d'impianto, altezza delle piante, forma di allevamento, modalità di potatura. La sua variabilità spaziale risulta, dunque, molto irregolare: differenze anche radicali possono riscontrarsi tra siti molto vicini, in conseguenza di una diversa gestione degli oliveti. È a causa di questa grande variabilità nella gestione agronomica mostrata dalla mappa di LAI che risulta difficile, per il territorio in esame, mettere in evidenza le relazioni tra fattori ambientali e risultato produttivo. Per una olivicoltura tradizionale quale quella cilentana, in cui distanze d'impianto e forme di allevamento sono tutt'altro che standardizzate, questi fattori agronomici esercitano un'influenza sulla qualità del prodotto in molti casi superiore a quella dei parametri ambientali.

Negli oliveti caratterizzati da LAI molto alto, dunque vegetazione molto fitta, soprattutto se ubicati in posizione sfavorevole dal punto di vista dell'apporto radiativo solare (in pendenza su un versante esposto a nord), ci si aspetta di ottenere frutti più piccoli, in ritardo di maturazione, caratterizzati da una minore pigmentazione e un minore contenuto di composti fenolici ad attività antiossidante rispetto ad oliveti in cui le piante possono usufruire di una maggiore quantità di radiazione solare.

6.3.6 Mappa di deficit pluviometrico

Il deficit pluviometrico (differenza tra evapotraspirazione potenziale e precipitazione efficace) è stato calcolato per il periodo aprile-ottobre, lo stesso interessato dalle simulazioni di bilancio idrologico, per il quale è maggiormente importante la stima dello stress idrico e dei fabbisogni irrigui colturali.

Per poter calcolare, a partire dal valore di evapotraspirazione di riferimento, quello di evapotraspirazione potenziale, è stato necessario effettuare una stima dei coefficienti colturali, in funzione del periodo dell'anno e dell'Indice di Area Fogliare.

I valori di LAI ottenuti per le aree olivetate a partire dall'immagine da satellite sono stati distinti in classi, per ciascuna delle quali sono stati calcolati i valori mensili del coefficiente colturale (k_c). Il valore centrale di ciascuna classe di LAI è stato utilizzato per calcolare l'evapotraspirazione potenziale con il modello di Penman-Monteith, a partire dai dati meteorologici giornalieri (temperatura dell'aria, radiazione solare, umidità relativa e velocità del vento) misurati nella stazione meteo ritenuta più rappresentativa dell'areale oggetto di studio (Ascea). Gli stessi dati meteorologici sono stati utilizzati per calcolare, con il modello di Penman-Monteith, i valori giornalieri di evapotraspirazione di riferimento.

Dal rapporto tra ET_p ed ET_0 sono stati calcolati i valori giornalieri di k_c per ciascuna classe di LAI, successivamente mediati su base mensile (**tabella 20**).

Tabella 20. Valori mensili di k_c per ciascuna classe di LAI.

	LAI									
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
<i>Aprile</i>	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2
<i>Maggio</i>	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
<i>Giugno</i>	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
<i>Luglio</i>	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
<i>Agosto</i>	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
<i>Settembre</i>	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
<i>Ottobre</i>	0,4	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
<i>Media aprile-ottobre</i>	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2

I valori di k_c così ottenuti sono stati moltiplicati per i valori di evapotraspirazione di riferimento già calcolati per ciascun pixel, ottenendo matrici mensili di evapotraspirazione potenziale, successivamente aggregate per il periodo aprile-ottobre.

La precipitazione efficace (P_{eff}) è stata calcolata a partire dal valore di precipitazione misurato e spazializzato (vedi § 6.3.2), al quale è stato sottratto il valore di precipitazione intercettata dalla vegetazione, stimato, in funzione del LAI, secondo il modello utilizzato da SWAP (Van Dam *et al.*, 1997):

$$P_i = a \cdot LAI \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{b \cdot P_{gross}}{a \cdot LAI}} \right) \quad (6.8)$$

dove P_i è la precipitazione intercettata (cm d^{-1}), P_{gross} è la precipitazione misurata (cm d^{-1}), a è un coefficiente empirico (cm d^{-1}) e b è la frazione di suolo coperta dalla vegetazione ($\approx \text{LAI}/3.0$) (-). All'aumentare dell'entità della precipitazione, la quantità di precipitazione intercettata raggiunge asintoticamente il valore di saturazione $a \cdot \text{LAI}$. Il valore del coefficiente a dovrebbe essere determinato sperimentalmente, ma per le ordinarie colture agricole può essere assunto pari a 0.25 cm d^{-1} (Van Dam *et al.*, 1997).

Dalla differenza tra i valori di evapotraspirazione potenziale e quelli di precipitazione efficace è stata ottenuta, per le superfici olivetate comprese nell'area di studio, la mappa di deficit pluviometrico per il periodo aprile-ottobre 2005 (**figura 68**).

È possibile notare in figura una netta distinzione tra due zone, quella settentrionale, a nord della catena montuosa centrale, e quella meridionale, circondata dagli stessi rilievi a nord e dal mare a sud-est, sud e sud-ovest. In quest'ultima zona, seppure con una discreta variabilità, il deficit pluviometrico è in generale più alto. I valori massimi di questo indice si riscontrano in oliveti esposti a sud e caratterizzati da un valore alto di LAI, dove cioè si combinano un apporto radiativo elevato, motore del processo evapotraspirativo, ed un'ampia superficie traspirante.

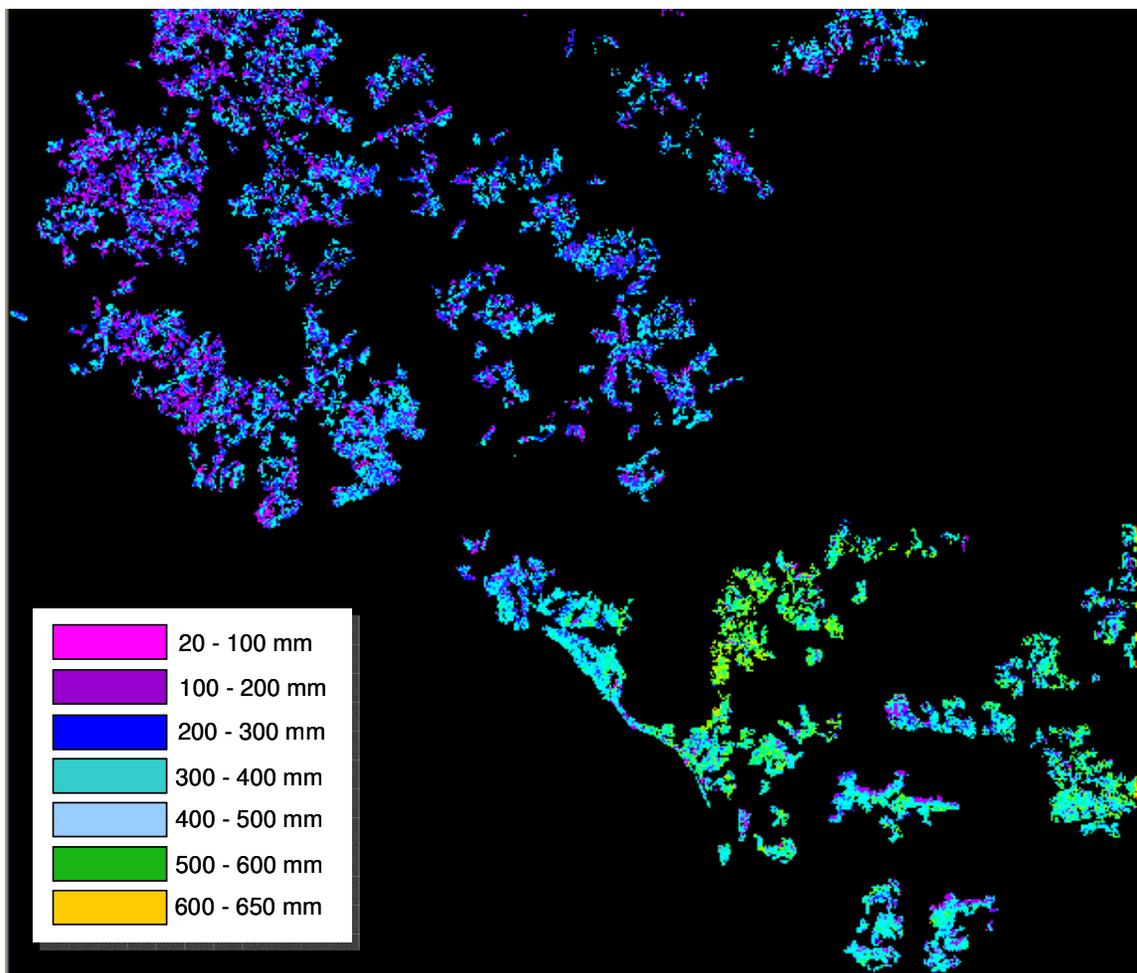


Figura 68. *Mappa di deficit pluviometrico ($ET_p - P_{eff}$) per il periodo aprile-ottobre 2005 relativa alle superfici olivetate dell'area di studio.*

Nei siti in cui si uniscono moderato stress idrico (Figura 68) e apporto radiativo elevato, a causa di ubicazione favorevole (Figura 65) o adeguata gestione agronomica (Figura 67), ci si aspetta di ottenere una produzione di migliore qualità a causa dell'influenza esercitata dalla radiazione solare sui processi di accrescimento e di pigmentazione del frutto e dello stimolo indotto da fattori di stress (ossidativo o idrico) sulla biosintesi di composti ad attività antiossidante.

Il calcolo del deficit pluviometrico su base territoriale può costituire anche un supporto all'irrigazione, fornendo un'indicazione dei volumi idrici da somministrare. Nella gestione dell'irrigazione è da tener presente che, nonostante quest'ultima garantisca un significativo aumento della produzione di olio ad albero, un moderato stress idrico in alcuni periodi della stagione di crescita può consentire di migliorare la qualità del prodotto (maggiore contenuto di sostanze fenoliche, migliori caratteristiche organolettiche e nutrizionali, maggiore conservabilità) e di risparmiare acqua. È stato riportato, infatti, come, riducendo l'apporto irriguo anche del 35-40% rispetto ai fabbisogni, non si osservi una riduzione significativa del livello produttivo (vedi § 2.4.1).

CAPITOLO 7

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi era finalizzato alla messa a punto ed alla proposta di un approccio metodologico per un lavoro di zonazione olivicola che risultasse praticabile sia in termini operativi che economici.

La metodologia proposta, integrando metodiche e competenze mutuare da diverse discipline, consente di caratterizzare in maniera sintetica e comprensiva un sito di coltivazione, identificandone tutte le caratteristiche che possano riflettersi sul risultato produttivo, siano esse climatiche, pedologiche, topografiche, agronomiche. Le metodiche applicate non risultano molto dispendiose in termini di tempo e di risorse umane e materiali e come tali possono essere estese con facilità a differenti areali e genotipi, non solo da parte degli ambienti scientifici, ma anche da parte degli ambienti tecnici ed amministrativi interessati ad effettuare una pianificazione del territorio razionale e fondata su robuste basi fisiche. La misura diretta dei parametri necessari, troppo dispendiosa e dunque inapplicabile su superfici estese, è stata in diversi casi sostituita dalla loro stima mediante relazioni fisiche note o mediante tecniche di interpolazione spaziale a partire da valori più facilmente misurabili. Per i fini del presente studio ciò non risulta una limitazione: l'accuratezza della stima passa in secondo piano di fronte alla necessità di evidenziare le differenze significative tra ambienti di coltivazione che possano tradursi in differenti risposte produttive.

La metodologia proposta è risultata efficace nell'evidenziare tali differenze, soddisfacendo al contempo le citate esigenze di semplicità, economicità, interdisciplinarietà, senza allontanarsi da un fondamento fisico.

Rispetto agli approcci, tutt'altro che numerosi, fino ad oggi proposti o applicati per la coltura dell'olivo, presenta i vantaggi di un minore empirismo, una maggiore interdisciplinarietà, un aumento del numero di parametri presi in considerazione, l'adozione di metodologie innovative per la stima di alcuni parametri agro-meteorologici o colturali. La misura indiretta, semplice e rapida, dell'Indice di Area Fogliare mediante fotografia emisferica, l'utilizzo di modelli di simulazione di bilancio idrologico allo scopo di valutare l'effetto di suolo, clima e gestione agronomica sullo stato idrico della coltura ed evidenziare differenze tra siti di coltivazione dal punto di vista della disponibilità idrica, l'impiego di immagini satellitari per la stima, a scala territoriale, di variabili colturali sono tutte innovazioni che potrebbero essere introdotte con successo in una metodologia di zonazione agronomica.

La metodologia proposta è stata applicata ad un areale, il Cilento, di antichissima tradizione olivicola e ad una varietà, la Pisciotтана, che ad esso è legata da una lunghissima storia co-evolutiva, ma che risulta sempre meno apprezzata e spesso, negli ultimi anni, sostituita con cultivars alloctone, ritenute maggiormente adatte ad un'olivicultura intensiva, ma la cui risposta in un ambiente diverso da quello di origine o di antica acclimatazione non è nota.

La caratterizzazione dei frutti di tale cultivar e dell'olio da essi ottenuto ha consentito di valutare le potenzialità, in termini di qualità del prodotto, del genotipo nell'ambiente di coltivazione del Cilento. Il giudizio complessivo è risultato decisamente positivo: tutti i parametri di qualità previsti dalla legislazione europea vigente sono ampiamente rientrati nei limiti stabiliti per la migliore categoria commerciale di oli di oliva ("extra vergine"), la composizione in acidi grassi è risultata ben bilanciata, con un buon tenore dell'acido monoinsaturo oleico, la abbondante dotazione in composti ad attività antiossidante è garanzia di una elevata shelf-life e di ottime caratteristiche nutrizionali ed organolettiche, il profilo sensoriale è risultato ricco, complesso e ben bilanciato. Le buone potenzialità mostrate dalla cultivar inducono a ritenere opportuno lavorare ad una sua valorizzazione attraverso l'individuazione delle condizioni ambientali e agronomiche che le consentano di esprimersi al meglio, soprattutto dal punto di vista della qualità del prodotto.

Il lavoro di caratterizzazione chimica del frutto è stato occasione per fornire un contributo alla conoscenza della frazione fenolica della polpa dell'oliva, la cui composizione, molto complessa e variabile in risposta a numerosi fattori genetici, agronomici, ambientali, non è stata ancora del tutto messa in luce. Da un esame della letteratura scientifica di settore, il profilo fenolico della cv. Pisciotana, in particolare, risulta non essere stato ancora oggetto di caratterizzazione.

Dall'applicazione dell'approccio proposto a scala puntuale, in siti di coltivazione il più possibile omogenei dal punto di vista agronomico ma differenziati sotto l'aspetto ambientale, sono emerse alcune considerazioni che possono essere così riassunte:

☞ La variabilità tra i siti dal punto di vista pedologico, pur non trascurabile, non si è tradotta in differenze significative nei parametri produttivi e qualitativi del frutto. Ciò induce a ritenere che sul risultato produttivo abbiano influenza in misura preponderante fattori climatici ed agronomici e che l'effetto esercitato dalle caratteristiche fisico-chimiche del suolo sia apprezzabile soltanto nel caso di condizioni pedologiche estremamente sfavorevoli o nel caso di perfetta uniformità nei fattori ambientali ed agronomici di maggiore rilevanza.

☞ Il clima ha mostrato rivestire un ruolo di maggiore influenza rispetto al suolo, almeno nelle condizioni sperimentali del presente studio. In particolare, l'apporto radiativo solare ed il regime termico sono apparsi determinanti ai fini del risultato produttivo. La temperatura e la radiazione solare, infatti, esercitando una funzione di regolazione sull'attività enzimatica, appaiono fattori determinanti per lo sviluppo, la pigmentazione, la composizione lipidica della drupa. Il regime termico, inoltre, costituendo uno dei principali fattori limitanti per lo sviluppo del più pericoloso parassita dell'olivo, esercita una rilevante influenza sull'entità del rischio fitosanitario.

☞ Le caratteristiche geografiche e topografiche del sito di coltivazione, quali la quota, la pendenza, l'esposizione, la distanza dal mare, andando ad influenzare il regime termico e l'apporto radiativo solare, sono determinanti per l'andamento della maturazione e l'evoluzione delle caratteristiche fisico-chimiche del frutto.

☞ Ai fini del risultato produttivo, il ruolo chiave è, comunque, esercitato dalla gestione agronomica, la cui influenza copre in molti casi quella esercitata dalle caratteristiche climatiche e pedologiche dell'ambiente di coltivazione. Nonostante nell'impostazione del lavoro sperimentale si fosse cercato di annullare la variabilità nella gestione agronomica mediante la scelta di siti di campionamento omogenei da questo punto di vista, l'effetto esercitato da alcuni parametri

colturali è, comunque, risaltato con evidenza. In particolare, la densità del fogliame da una parte condiziona l'evoluzione della pigmentazione e la biosintesi dei composti fenolici del frutto, influenzando la quantità di radiazione solare che riesce a penetrare nelle parti interne della chioma, dall'altra, regolando i flussi evapotraspirativi, è determinante per il bilancio idrologico colturale.

La quantità di radiazione solare che riesce a raggiungere i frutti, in funzione dell'ubicazione geografica e topografica del sito di coltivazione, ma anche della densità della vegetazione, appare, dunque, di fondamentale importanza per i processi metabolici che portano allo sviluppo del frutto, alla sua pigmentazione e alla sintesi della frazione fenolica, alla quale è legata la qualità nutrizionale ed organolettica dell'olio. Queste considerazioni conducono a sottolineare l'importanza, per il miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del frutto, sia della scelta di un sito di coltivazione che garantisca un sufficiente apporto radiativo, sia dell'adozione di una corretta gestione agronomica, attraverso ad esempio la scelta di una densità d'impianto e di una forma di allevamento e l'esecuzione di una potatura annuale che garantiscano una buona penetrazione della luce all'interno della chioma.

Sarebbe, comunque, di grande interesse approfondire lo studio dell'influenza esercitata dai fattori ambientali sulla sintesi fenolica. Mentre piuttosto chiara, infatti, è l'influenza esercitata dalla disponibilità di acqua, pochissimo si conosce sul ruolo della radiazione solare nei percorsi metabolici che conducono alla biosintesi della frazione fenolica del frutto.

Accanto alle considerazioni emerse sulle relazioni tra ambiente di coltivazione e risultato produttivo per la coltura dell'olivo, un ulteriore prodotto del presente studio è consistito in mappe relative a variabili agro-meteorologiche e colturali, che possano da un lato fungere da strumento per una pianificazione territoriale volta sia al miglioramento della qualità del prodotto che alla valorizzazione delle potenzialità del territorio, dall'altro essere di supporto alla gestione agronomica, per ciò che concerne, ad esempio, il calcolo dei fabbisogni irrigui, la scelta della forma di allevamento e della modalità di potatura, o ancora possano consentire di effettuare una previsione del risultato produttivo potenzialmente ottenibile nei diversi ambienti.

☞ La distribuzione spaziale dell'apporto radiativo è importante all'atto della scelta di un sito opportuno per l'impianto di un oliveto, essendo la radiazione solare implicata nei processi di accrescimento e di pigmentazione del frutto e di sintesi dei composti fenolici. L'esposizione si è mostrata come il principale fattore determinante l'apporto radiativo; la condizione più vantaggiosa appare, dunque, costituita da esposizione a sud e dall'assenza di significativi rilievi circostanti che possano determinare prolungato ombreggiamento alla coltura.

Della disponibilità di radiazione solare va tenuto conto anche nella gestione dell'oliveto: nelle aree dove tale disponibilità è limitata sarà maggiormente importante favorire la penetrazione dei raggi solari nella parte interna della chioma attraverso la scelta di opportune distanze d'impianto, forme di allevamento, modalità di potatura.

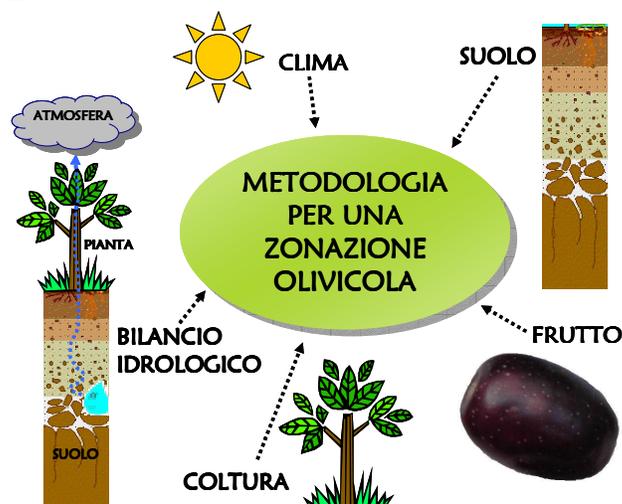
☞ Il calcolo del deficit pluviometrico su base territoriale, oltre a costituire un supporto all'irrigazione, fornendo un'indicazione dei volumi idrici da somministrare, può essere di aiuto nella previsione della qualità potenzialmente ottenibile nei diversi siti di coltivazione. Dove si uniscono moderato stress idrico e apporto radiativo elevato, a causa di ubicazione favorevole o

adeguata gestione agronomica, ci si aspetta di ottenere una produzione di migliore qualità a causa dell'influenza esercitata dalla radiazione solare sui processi di accrescimento e di pigmentazione del frutto e dello stimolo indotto da fattori di stress (ossidativo o idrico) sulla biosintesi di composti ad attività antiossidante.

La metodologia proposta si mostra applicabile tanto in areali caratterizzati da un'olivicoltura tradizionale ed estensiva, quanto in regioni in cui domina un'olivicoltura moderna, meccanizzata ed irrigua. Nel primo caso, infatti, può essere di supporto alla scelta di siti dove le limitazioni alla coltura dell'olivo non risultino eccessive e, al contempo, uno stress moderato (idrico ed ossidativo) garantisca la produzione di frutti di elevata qualità; nel secondo caso, ovvero in condizioni in cui maggiori energie sono profuse nella gestione dell'oliveto, può anche consentire di indirizzare le scelte colturali allo scopo di migliorare la qualità del prodotto, fornendo indicazioni per la scelta della forma di allevamento, della modalità di potatura, dei volumi irrigui da somministrare.

Perché l'analisi territoriale proposta nel presente studio (spazializzazione di variabili agrometeorologiche e colturali) possa tradursi in uno strumento di immediata e semplice utilizzazione da parte degli operatori del settore olivicolo e degli enti preposti alla pianificazione del territorio, sarebbe quanto mai utile mettere a punto un indice che esprima sinteticamente l'attitudine di un sito alla coltivazione dell'olivo, sul modello degli indici messi a punto per la coltura della vite (vedi § 2.2). La completa messa in luce dei legami esistenti tra fattori ambientali e risultato produttivo, condizione indispensabile per poter proporre un indice che riassume in maniera completa la potenzialità di un sito di coltivazione, è un obiettivo ancora non perseguito pienamente per una coltura così complessa quale quella dell'olivo e potrebbe essere oggetto di future indagini sperimentali. I risultati del presente studio inducono a ritenere opportuno, in particolare, approfondire la conoscenza dell'effetto esercitato dall'apporto radiativo solare sui processi di accrescimento, di maturazione e di biosintesi dei componenti minori del frutto dell'olivo.

Tale indice, dopo essere stato validato in ambienti differenti, potrebbe costituire un efficace strumento di razionale pianificazione territoriale, consentendo di migliorare la qualità del prodotto, garantire la conservazione del suolo, rispettare e valorizzare le caratteristiche e le potenzialità del territorio.



BIBLIOGRAFIA

- Abd-El-Rahman A.A., Shalaby A.F., Balegh M., **1966**. Water economy of olive under desert conditions. *Flora*, 156: 202-219.
- Alegre S., Marsal J., Tovar M.J., Mata M., Arbonés A., Girona J., **2000**. Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. cv 'Arberquina') for oil production. *Acta Hort.*, 586: 259-262.
- Allen R.G., Wright M.E., Burman R.D., **1989**. Operational estimates of evapotranspiration. *Agron. J.*, 81: 650-662.
- Amerine M.A., Winkler A.J., **1944**. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgard*, 15: 493-673.
- Amiot M.J., Fleuriet A., Macheix J.J., **1989**. Accumulation of oleuropein derivatives during olive maturation. *Phytochem.*, 28: 67-70.
- Andrewes P., Busch J., De Joode T., Groenewegen A., Alexandre H., **2003**. Sensory properties of virgin olive oil polyphenols: identification of deacetoxy-ligstroside aglycone as a key contributor to pungency. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 1415-1420.
- Andrieu B., Sinoquet H., **1993**. Evaluation of structure description requirements for predicting gap fraction of vegetation canopies. *Agric. For. Meteorol.*, 65: 207-227.
- Angerosa F., **2002**. Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104: 639-660.
- 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. Chrom. A.*, 1054: 17-31.
- Balsa C., Alibert G., Brulfert J., Queiroz O., Boudet A.M., **1979**. Photoperiodic control of phenolic metabolism in *Kalanchoe blossfeldiana*. *Phytochem.*, 18: 1159-1163.
- Barbeau G., Asselin C., Morlat R., **1998a**. Estimation du potentiel viticole des terroirs en Val de Loire selon un indice de précocité du cycle de la vigne. *Bulletin de l'OIV*, 71(805-806): 247-262.
- Barbeau G., Morlat R., Asselin C., Jacquet A., Pinard C., **1998b**. Comportement du cépage Cabernet Franc dans différentes terroirs du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale (exemple de 1988). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 32(2): 69-81.
- Bascomb C.L., **1968**. Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, 19: 251-268.
- Beltrán G., Del Rio C., Sánchez S., Martínez L., **2004**. Influence of harvest date and crop yield on the fatty acid composition of virgin olive oils from cv. Picual. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 3434-3440.
- Beltrán G., Aguilera M.P., Del Rio C., Sánchez S., Martínez L., **2005**. Influence of fruit ripening process on the natural antioxidant content of Hojiblanca virgin olive oils. *Food Chem.*, 89: 207-215.
- Berenguer M.J., Grattan S.R., Connell J.H., Polito V.S., Vossen P.M., **2004**. Irrigation management to optimize olive oil production and quality. *Acta Hort.*, 664: 79-85.
- Beretz A., Cazenave J.P., **1988**. The effect of flavonoids on blood-vessel wall interactions. In: Cody V., Middleton E., Harborne J.B., Beretz A. (Eds.). *Plant flavonoids in biology and medicine. II: Biochemical, cellular, and medicinal properties*. Alan R. Liss, New York, pp.187-200.
- Bianco A., Mazzei R.A., Melchioni C., Romeo G., Scarpati M.L., Soriero A., Uccella N., **1998**. Microcomponents of olive oil - III. Glucosides of 2(3,4-dihydroxy-phenyl)ethanol. *Food Chem.*, 63: 461-464.

- Blaney H.F., Criddle W.D., **1950**. *Determining water requirements in irrigated areas from climatological data*. U.S.D.A. Soil Conservation Service Tech. Pub. 96.
- Blennow K., **1995**. Sky view factors from high-resolution scanned fish-eye lens photographic negatives. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 12: 1357-1362.
- Bonachela S., Orgaz F., Villalobos F.J., Fereres E., **1999**. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. *Irrig. Sci.*, 18: 205-211.
- Bongi G., Soldatini G.F., Hubick K.T., **1987**. Mechanism of photosynthesis in olive tree (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica*, 21: 572-572.
- Bouaziz M., Chamkha M., Sayadi S., **2004**. Comparative study on phenolic content and antioxidant activity during maturation of the olive cultivar Chemlali from Tunisia. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 5476-5481.
- Bouaziz M., Grayer R.J., Simmonds M.S.J., Damak M., Sayadi S., **2005**. Identification and antioxidant potential of flavonoids and low molecular weight phenols in olive cultivar Chemlali growing in Tunisia. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 236-241.
- Bouten W., **1992**. *Monitoring and modelling forest hydrological processes in support of acidification research*. PhD-thesis, University of Amsterdam, pp 218.
- Bravdo B.A., Hepner Y., **1987**. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. *Acta Hort.*, 206: 49-67.
- Bréda N.J.J., **2003**. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *J. Exp. Bot.*, 54: 2403-2417.
- Brenes M., Rejano L., Garcia P., Sanchez H.A., Garrido A., **1995**. Biochemical changes in phenolic compounds during Spanish-style green olive processing. *J. Agric. Food Chem.*, 43: 2702-2706.
- Brenes M., Garcia A., Garcia P., Rios J. J., Garrido A., **1999**. Phenolic compounds in Spanish olive oils. *J. Agric. Food Chem.*, 47: 3535-3540.
- Brenes M., García A., Ríos J.J., García P., Garrido A., **2000**. Use of 1-acetoxypinoresinol to authenticate Picual olive oils. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 37: 615-625.
- Brunt D., **1952**. *Physical and dynamical meteorology*. 2nd edition. University Press, Cambridge, 428 pp.
- Burman R.D., Jensen M.E., Allen R.G., **1987**. Thermodynamic factors in evapotranspiration. In: *Proc. Irrig. and Drain. Spec. Conf.*, L.G. James and M.J. English (Eds.), ASCE, Portland, Ore., July, p. 28-30.
- Campbell G.S., **1990**. Derivation of an angle density function for canopies with ellipsoidal leaf angle distributions. *Agric. For. Meteorol.*, 49: 173-176.
- Campostrini F., Costantini E.A.C., Mattivi F., Nicolini G., **1997**. Effect of "Terroir" on quanti-qualitative parameters of "Vino Nobile di Montepulciano". 1^{er} colloque international *Les terroirs viticoles*, Angers, France, INRA, pp. 461-468.
- Camuesco D., Comalada M., Rodríguez-Cabezas M.E., Nieto A., Morente M.D., Concha A., Zarzuelo A., Gálvez J., **2004**. The intestinal anti-inflammatory effect of quercitrin is associated with an inhibition in iNOS expression. *British J. Pharmacol.*, 143: 908-918.
- Cardoso S.M., Guyot S., Marnet N., Lopes-da-Silva J.A., Renard C.M.G.C., Coimbra M.A., **2005**. Characterisation of phenolic extracts from olive pulp and olive pomace by electrospray mass spectrometry. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 21-32.
- Carsel R.F., Parrish R.S., **1988**. Developing joint probability distributions of soil water characteristics. *Water Resour. Res.*, 24: 755-769.
- Caruso D., Colombo R., Patelli R., Giavarini F., Galli G., **2000**. Rapid evaluation of phenolic component profile and analysis of oleuropein aglycon in olive oil by atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry (APCI-MS). *J. Agric. Food Chem.*, 48: 1182-1185.
- Cestari G., **1967**. Lineamenti strutturali del Cilento (Campania Meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 104: 539-549.
- Chalker-Scott L., Fuchigami L.H., **1989**. The role of phenolic compounds in plant stress responses. In: *Low-temperature Stress Physiology in Crops*, Ed. by Paul H.L. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 27-40.
- Chen J.M., Black T.A., **1992**. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant Cell Environ.*, 15: 421-429.

- Chen J.M., Black T.A., Adams R.S., **1991**. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. *Agric. For. Meteorol.*, 56: 129-143.
- Clevers J.G.P.W., **1989**. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 29: 25-37.
- Conradie W.J., Carey V.A., Bonnardot V., Saayman D., Schoor van L.H., **2002**. Effect of different environmental factors on the performance of Sauvignon blanc grapevines in the Stellenbosch/Durbanville districts in South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *South African J. Enol. Vitic.*, 23(2): 79-91.
- Coombe B.G., **1987**. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Hort.*, 206: 23-35.
- Cooper K.H., **1997**. Il potere curativo degli antiossidanti. RED Edizioni, Como, pp. 176.
- Costantini E.A.C., **1987**. Cartografia tematica per la valutazione del territorio nell'ambito dei sistemi produttivi. Bacini dei torrenti Vergaia e Borratello: area rappresentativa dell'ambiente di produzione del vino Vernaccia di San Gimignano (Siena). *Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo*, XVIII: 23-74.
- Costantini E.A.C., **1992**. Study of the relationships between soil suitability for wine cultivation, wine quality and soil erosion through a territorial approach. *Geokopulos*, III: 1-14.
- Costantini E.A.C., **1998**. Le analisi fisiche nella definizione della qualità dei suoli per la valutazione del territorio. *I Georgofili. Quaderni 1998 III. La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo*. Firenze, pp. 33-57.
- Costantini E.A.C., Lulli L., Catone I., Pinzauti S., **1985**. Serie e fasi di suolo sui depositi pliocenici marini del territorio di San Gimignano (Siena). Indagine preliminare per la definizione delle aree idonee alla produzione della Vernaccia D.O.C.G.. *Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo*, XVI: 247-288.
- Costantini E.A.C., Lulli L., Mirabella A., **1991**. First experiences to individuate soils suitable for the production of high quality Vernaccia of San Gimignano. Atti del simposio internazionale: *La gestione del territorio viticolo sulla base delle zone pedoclimatiche e del catasto*. S. Maria della Versa (PV) 29-30 giugno 1987, pp. 125-135.
- Costantini E.A.C., Campostrini F., Arcara P.G., Cherubini P., Storchi P., Pierucci M., **1996**. Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano". *Acta Hort.* 427: 45-55.
- Costantini E.A.C., Sulli L., **2000**. Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 49(1-2): 219-234.
- D'Andria R., Morelli G., Martuccio G., Fontanazza G., Patumi R., **1996**. Valutazione della produzione e della qualità dell'olio di giovani piante di olivo allevate con diversi regimi idrici. *Italus Hortus*, 3: 23-31.
- De la Torre-Carbot K., Jauregui O., Gimeno E., Castellote A.I., Lamuela-Raventós R.M., López-Sabater M.C., **2005**. Characterization and quantification of phenolic compounds in olive oils by solid-phase extraction, HPLC-DAD, and HPLC-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 4331-4340.
- Del Carlo M., Sacchetti G., Di Mattia C., Compagnone D., Mastrocola D., Liberatore L., Cichelli A., **2004**. Contribution of the phenolic fraction to the antioxidant activity and oxidative stability of olive oil. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 4072-4079.
- De Nino A., Mazzotti F., Morrone S.P., Perri E., Raffaelli A., Sindona G., **1999**. Characterization of Cassanese olive cultivar through the identification of new trace components by ionspray tandem mass spectrometry. *J. Mass Spectrom.*, 34: 10-16.
- Dettori S., Russo G., **1993**. Influencia del cultivar y del régimen hídrico sobre el volumen y la calidad del aceite de oliva. *Olivae*, 49: 36-43.
- Dingman S.L., **2002**. *Physical Hydrology*. 2nd edition. Prentice Hall, New Jersey, 646 pp.
- Dirksen C., Kool J.B., Koorevaar P., Van Genuchten M.Th., **1993**. HYSWASOR: simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In: Russo D., Dagan G., *Water Flow and Solute Transport in Soils*. Springer, Berlin, pp. 99-122.

- Doorenbos J., Pruitt W.O., **1977**. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd edition*. FAO, Rome, Italy, pp. 156.
- D'Urso G., Calera-Belmonte A., **2005**. Operative approaches to determine crop water requirements from earth observation data: methodologies and applications. *AIP Conference Proceedings 852., Earth Observation for Vegetation Monitoring and Water Management*. 10-11 November 2005, Naples, Italy; pp. 14-25.
- Fabiani R., De Bartolomeo A., Rosignoli P., Servili M., Montedoro G.F., Morozzi G., **2002**. Cancer chemoprevention by hydroxytyrosol isolated from virgin olive oil through G1 cell cycle arrest and apoptosis. *Eur. J. Cancer Prev.*, 11: 351-358.
- Faci J.M., Berenguer M.J., Espada J.L., Garcia S., **2002**. Effect of variable water irrigation supply in olive (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina in Aragon (Spain). II. Extra virgin oil quality parameters. *Acta Hort.*, 586: 341-344.
- Falcetti M., Iacono F., **1996**. Ecophysiological description of sites and wine sensory properties as a tool for zoning in viticulture. *Acta Hort.*, 427: 395-404.
- FAO, **1976**. A Framework for Land Evaluation. In *Soil bulletin*, 32, pp.120.
- Favi E., Costantini E.A.C., **1991**. Pedologia applicata alla valutazione del territorio. In *Il suolo*, a cura di Cremaschi M. e Ridolfi G., La Nuova Italia Scientifica, Roma, pp 319-370.
- Feddes R.A., Kowalik P., Zarandy H., **1978**. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*. Pudoc, Wageningen, pp. 189.
- Feddes R.A., Kabat P., Van Bakel P.J.T., Bronswijk J.J.B., Halbertsma J., **1988**. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone. *J. Hydrol.*, 100: 69-111.
- Fernandez J.E., Moreno F., Martin-Aranda J., Rapoport H.F., **1994**. Anatomical response of olive roots to dry and irrigated soils. *Adv. Hortic. Sci.*, 8: 141-144.
- Fiorino P., Ottanelli A., **2003**. Crescita ed inolizione dei frutti di cultivar di olivo (*Olea europaea*) nella Toscana interna e possibili influenze dell'ambiente nella determinazione dei trigliceridi. Convegno Nazionale *Germoplasma olivicolo e tipicità dell'olio*, Perugia, 5 dicembre 2003.
- Folin O., Ciocalteu V., **1927**. On tyrosine and tryptophan determination in protein. *J. Biol. Chem.*, 73: 627-650.
- Freeman B.M., **1983**. Effects of irrigation and pruning of Shiraz grapevines on subsequent red wine pigments. *Am. J. Enol. Vitic.*, 34: 23-26.
- Fregoni M., Zamboni M., **1992**. Criteri di differenziazione e delimitazione delle regioni vitivinicole ed esame dei fattori naturali viticoli ed umani che vi concorrono. Atti del convegno internazionale: *La zonazione viticola tra innovazione agronomica, gestione e valorizzazione del territorio. L'esempio del Trentino*. S.Michele/Adige, agosto 1992, pp. 26-44.
- García J.M., Yousfi K, Mateos R., Olmo M., Cert A., **2001**. Reduction of oil bitterness by heating of olive (*Olea europaea*) fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 4231-4235.
- García-Diaz M.T., Martínez-Rivas J.M., Mancha M., **2002**. Temperature and oxygen regulation of oleate desaturation in developing sunflower (*Helianthus annuus*) seeds. *Physiol. Plant.*, 114: 13-20.
- Gariboldi P., Jommi G., Verotta L., **1986**. Secoiridoids from *Olea europaea*. *Phytochem.*, 25: 865-869.
- Goldhamer D.A., Dunai J., Ferguson L., **1994**. Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Hort.*, 356: 172-175.
- Gómez J.A., Giráldez J.V., Fereres E., **2001**. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agric. Water Manage.*, 49: 65-76.
- Gómez-Rico A., Salvador M.D., Moriana A., Pérez D., Olmedilla N., Ribas F., Fregapane G., **2007**. Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chem.*, 100: 568-578.
- Granados S., Quiles J.L., Gil A., Ramifrez-Tortosa M.C., **2006**. Dietary lipids and cancer. *Nutr Hosp.*, 21 Suppl 2: 42-52.

- Gucci R., 2001. Relazioni idriche dell'olivo. Atti del Corso Internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico *Gestione dell'acqua e del territorio per un'olivicoltura sostenibile*, Napoli, 24-28 settembre 2001, pp. 60-64.
- Gucci R., Gravano E., Moing A., Gaudillere J.P., 1998. Ripartizione dei carboidrati in giovani piante di olivo soggette a stress salino o deficit idrico. Atti delle *IV Giornate Scientifiche SOI*. Sanremo (IM), pp. 383-384.
- Gucci R., Servili M., 2005. L'irrigazione in deficit controllato in olivicoltura. *I Georgofili. Quaderni 2005 IV. Innovazioni nel miglioramento qualitativo della produzione delle specie legnose da frutto attraverso l'irrigazione*. Firenze, pp. 119-143.
- Guida D., Guida M., Luise D., Salzano G., Vallario A., 1980. Idrogeologia del Cilento (Campania). *Geologica Romana, XIX*: 349-369.
- Guth H., Grosch W., 1991. A Comparative Study of the Potent Odorant of Different Virgin Olive Oils. *Fat. Sci. Technol.*, 9: 335-339.
- Gutiérrez-Rosales F., Perdiguero S., Gutiérrez R., Olhá J.M., 1992. Evaluation of the bitter taste in virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 69: 394-395.
- Gutiérrez-Rosales F., Rios J.J., Gomez-Rey M.L., 2003. Main polyphenols in the bitter taste of virgin olive oil. Structural confirmation by on-line high-performance liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 6021-6025.
- Harrison L.P., 1963. Fundamental concepts and definitions relating to umidity. In: *Humidity and moisture*. A. Wexler (Ed.) Vol. 3. Reinold Publishing Company, New York.
- Harwood J.L., Jones A.L., Perry H.J., Rutter A.J., Smith K.L., Williams M., 1994. Changes in plant lipids during temperature adaptation. In: *Temperature Adaptation of Biological Membranes*. Cossins A.R. (Ed.). Portland Press, London, UK, pp. 107-118.
- Hatanaka A., 1993. The biogeneration of green odour by green leaves. *Phytochem.*, 34: 1201-1218.
- Hillel D., 1998. *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 771.
- Hodnick W.F., Pardini R.S., 1998. Inhibition of mitochondrial function by flavonoids. In: *Flavonoids in Health and Disease*. Rice-Evans C., Packer L. (Eds.). Marcel Dekker Ltd, New York.
- Hronsky S., 1999. Selection of viticultural areas by the 'terroir' method. *Vinohrad Bratislava*, 37: 122-123.
- Huglin P., 1986. *Biologie et écologie de la vigne*. Ed. Payot, Laussane, France, pp. 372.
- Inglese P., Barone E., Gullo G., 1996. The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv Carolea. *J. Hort. Sci.*, 71: 257-263.
- Iqbal M., 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, New York., 390 pp.
- Ismail A.S., Metzidakis J., Stavroulakis G., 1999. Effect of irrigation on the quality characteristics of organic olive oil. *Acta Hort.*, 474: 687-690.
- Jackson D.I., Cherry N.J., 1988. Prediction of a district's grape-ripening capacity, using a latitude-temperature index (LTI). *Am. J. Enol. Vitic.*, 1: 19-28.
- Jackson D.I., Lombard P.B., 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 4: 409-430.
- Jensen M.E., Haise H.R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drainage Div. ASCE*, 89: 15-41.
- Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K., Muysa B., Coppin P., Weiss M., Baret F., 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agric. For. Meteorol.*, 121: 19-35.
- Jones H.G., 1992. *Plant and microclimate, 2nd edition*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jourjon F., Morlat R., Seguin G., 1991. Caractérisation des terroirs viticoles de la moyenne vallée de La Loire. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 26: 51-62.
- Jourjon F., Morlat R., Seguin G., 1992. Développement de la vigne et maturation du raisin dans différents terroirs viticoles de la moyenne vallée de la Loire. *J. Int. Sci. Vigne et Vin*, 26: 51-62.

- Kalua C.M., Allen M.S., Bedgood D.R., Bishop A.G., Prenzler P.D., **2005**. Discrimination of olive oils and fruits into cultivars and maturity stages based on phenolic and volatile compounds. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 8054-8062.
- Kataoka J., Kubo Y, Sugiura A., Tomana T., **1983**. Changes in L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis during berry ripening of three grape cultivars. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 52: 273-279.
- Kiritsakis A., **1991**. *Olive oil*. American Oil Chemist's Society, Champaign, IL, USA.
- Kiritsakis A., **1998**. Flavour components of olive oil-A Review. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75: 673-681.
- Kiritsakis A., Markakis P., **1987**. Olive oil, a review. *Adv. Food Res.*, 31: 453-482.
- Kuwajima H., Uemura T., Takaishi K., Inoue K., Inouye H., **1988**. A secoiridoid glucoside from *Olea europaea*. *Phytochem.*, 27: 1757-1759.
- Lacroix M., Latreillee B., Van Calsteren M.R., Jobin M., Gagnon M., **1990**. Effet de l'irradiation gamma sur le contenu en composés phénoliques en relation avec le développement de la couleur et de l'activité antimicrobienne durant le murissement des mangues. *J. Int. Polyphenols*, 15: 171-174.
- Lee R., **1964**. Potential insolation as a topoclimatic characteristic of drainage basins. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 9: 27-41.
- Leon J.M., Bukovac M.J., **1978**. Cuticle development and surface morphology of olive leaves with reference to penetration of foliar-applied chemicals. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 103: 465-472.
- Lercker G., Capella P., **1997**. La conservazione delle sostanze grasse. In: *Manuale degli oli e dei grassi*. Edizioni Tecniche nuove, Milano, Italia, pp. 91-95.
- Li-Cor, **1992**. *LAI-2000 plant canopy analyser. Operating manual*. Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA.
- Lo Gullo M.A., Salleo S., **1990**. Wood anatomy of some trees with diffuse- and ring-porous wood: some functional and ecological interpretations. *Giornale Botanico Italiano*, 124: 601-613.
- Lulli L., Lorenzoni P., Arretini A., **1980**. Esempi di cartografia tematica e di cartografia derivata (sezione Lucignano - Foglio di Firenze) - La carta dei suoli, la loro capacità d'uso, l'attitudine dei suoli all'olivo e al Sangiovese. *C.N.R., P.F. Conservazione del suolo*, Firenze, pp. 127.
- Lulli L., Costantini E.A.C., Mirabella A., Gigliotti A., Bucelli P., **1989**. Influenza del suolo sulla qualità della Vernaccia di San Gimignano. *Vignevini*, 1/2: 53-62.
- Maas E.V., **1990**. Crop salt tolerance. In: Tanji K.K., *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Monograph 71, pp. 262-304.
- Maas E.V., Hoffman G.J., **1977**. Crop salt tolerance – current assessment. *J. Irrig. Drainage Div. ASCE*, 103: 115-134.
- Makkink G.F., **1957**. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Int. J. Water Eng.*, 11: 277-288.
- Martinez B., Baret F., Camacho-de Coca F., Garcia-Haro J., Verger A., Melia J., **2004**. Validation of MSG vegetation products. Part I: Field retrieval of LAI and FVC from hemispherical photographs. In: *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology VI. Proceedings of the International Society for Optical Engineering*, vol. 5568, pp. 57-68.
- Mérougé I., Seguin G., Arrouays D., **1998**. Les sols et l'alimentation hydrique de la vigne à Pomerol: état hydrique et croissance de la vigne en 1995. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 32(2): 59-68.
- Mickelakis N.I.C., Vouyoucalou E., Klapaki G., **1994**. Plant growth and yield response of olive to different levels of soil water potential. *Acta Hort.*, 356: 205-210.
- Miller J.B., **1967**. A formula for average foliage density. *Australian J. Bot.*, 15: 141-144.
- MIRAAF: Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, **1994**. *Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo*. ISMEA, Roma, pp. 207.
- Modi G., Nizzi Grifi F., Fiorino P., **1990**. Maturazione delle drupe e caratteristiche dell'olio in "Frantoio" e "Leccino" in Chianti. Atti del Convegno *Problematiche qualitative dell'olio di oliva*, Sassari, pp. 213-229.
- Molz F.J., **1981**. Models of water transport in the soil-plant system. A review. *Water Resour. Res.*, 17: 1245-1260.

- Monsi M., Saeki T., **1953**. Über den Lichtfactor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.*, 14: 22-52.
- Montedoro G.F., **1985**. *Definizione e analisi delle caratteristiche olfattive e gustative degli alimenti*. Chiriotti Ed., Pinerolo, Italia.
- Montedoro G., Garofolo L., **1984**. Caratteristiche qualitative degli oli vergini di oliva. Influenza di alcune variabili: varietà, ambiente, conservazione, estrazione, condizionamento del prodotto finito. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, LXI: 157-168.
- Montedoro G.F., Servili M., Baldioli M., Selvaggini R., Miniati E., Macchioni A., **1993**. Simple and hydrolyzable compounds in virgin olive oil. 3. Spectroscopic characterizations of the secoiridoid derivatives. *J. Agric. Food Chem.*, 41: 2228-2234.
- Montedoro G.F., Servili M., Pannelli G., **2003**. Le caratteristiche del prodotto e le relazioni con le variabili agronomiche. In *Olea - Trattato di Olivicoltura*. Edagricole. Bologna, pp. 263-289.
- Monteith J.L., **1965**. Evaporation and the Environment. In: *The state and movement of water in living organisms*. G.E. Fogg (Ed.). Cambridge University Press, pp. 205-234.
- Morales M.T., Angerosa F., Aparicio R., **1999**. Effect of the extraction conditions of virgin olive oil on the lipoxygenase cascade: chemical and sensory implication. *Grasas y Aceites*, 50: 114-121.
- Morlat R., **1992**. Le terroir viticole: contribution a l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de moyenne vallée de la Loire. *Revue Française d'Oenologie*, 32: 6-13.
- Morlat R., **1996**. Elements importants d'une methodology de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. *1^{er} Colloque International sur Les Terroirs Viticoles*. INRA. Angers., pp. 17-31.
- Morlat R., **1997**. Terroirs d'Anjou : objectifs et premiers résultats d'une étude spatialisée à l'échelle régionale. *Bulletin de l'OIV*, 797-798: 567-591.
- Morlat R., **1998**. The relationship between 'terroir', vine and wine. *Comptes Rendas des Séances de l'Academie D'Agriculture de France*, 84: 19-32.
- Motilva 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: 2037-2043.
- 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.
- Mualem Y., **1976**. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12: 513-522.
- Mulinacci N., Innocenti M., La Marca G., Mercalli E., Giaccherini C., Romani A., Saracini E., Vincieri F., **2005**. Solid olive residues: an insight on their phenolic composition. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 8963-9.
- Murray F.W., **1967**. On the computation of saturation vapour pressure. *J. Appl. Meteorol.*, 6: 203-204.
- Myneni R.B., Nemani R.R., Running S.W., **1997**. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models. *IEEE T. Geosci. Remote*, 35: 1380-1393.
- N.G.D., *Norme italiane per il controllo dei Grassi e Derivati*, **1976**. Stazione Sperimentale per le Industrie degli Oli e dei Grassi, Milano.
- Nilson T., **1971**. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. *Agric. Meteorol.*, 8: 25-38.
- Noroozi M., Angerson W.J., Lean M.E.J., **1998**. Effects of flavonoids and vitamin C on oxidative DNA damage to human lymphocytes. *Am. J. Clin. Nutr.*, 67: 1210-1218.
- Obied H.K., Allen M.S., Bedgood D.R., Prenzler P.D., Robards K., Stockmann R., **2005**. Bioactivity and analysis of biophenols recovered from olive mill waste. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 823-837.
- Orgaz F., Fereres E., **1997**. Riego. In: *El cultivo del olivo*. Barranco D., Fernandez-Escobar R., Rallo L. (Eds.) Mundi-Prensa, Madrid, pp. 251-272.
- Osman M., Metzidakis I., Gerasopoulos D., Kiritsakis A., **1994**. Qualitative changes in olive oil collected from trees grown at two altitudes. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, LXXI: 187-190.

- Owen R.W., Haubner R., Mier W., Giacosa A., Hull W.E., Spiegelhalder B., Bartsch H., **2003**. Isolation, structure elucidation and antioxidant potential of the major phenolic and flavonoid compounds in brined olive drupes. *Food Chem. Toxicol.*, 41: 703-717.
- Panico M., **2004**. *Modellazione e simulazione dell'attingimento radicale e dell'evapotraspirazione per colture arboree irrigue in ambiente mediterraneo*. Tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca. Università di Napoli Federico II.
- Patruno A., Cavazza L., Castrignanò A., **1997**. Granulometria. In: *Metodi di Analisi Fisica del Suolo*, Coordinatore M. Pagliai, Franco Angeli editore, pp. 1-26.
- Patumi M., **2002**. Influenza della cultivar, maturazione del frutto e condizioni ambientali sulla composizione degli oli extravergini. *Corso Euro Mediterraneo di alta formazione in olivicoltura*. Napoli, 2-6 dicembre 2002.
- Patumi M., D'Andria R., Fontanazza G., Morelli G., Giorio P., Sorrentino G., **1999**. Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 74: 729-737.
- 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 Chem.*, 77: 27-34.
- Penavayre M., Morlat R., Jacquet A., Bimont F., **1991**. Influence des terroirs sur la croissance et le développement de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 25: 119-131.
- Penman H.L., **1948**. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings Royal Society, London*, 193: 120-146.
- Pugliano G., **2002**. In: *La risorsa genetica dell'olivo in Campania*. Regione Campania - Assessorato Agricoltura Se.S.I.R.C.A.
- Purohit S., Laloraya M.M., Bhartu S., **1991**. Effect of phenolic compounds on abscissic acid-induced stomatal movement: structure-activity relationship. *Physiologia Plantarum*, 81: 79-82.
- Raj Narayana K., Sripal Reddy M., Chaluvadi M.R., Krishna D.R., **2001**. Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian J. Pharmacol.*, 33: 2-16.
- Raupach M.R., **1994**. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plane displacement as functions of canopy height and area index. *Bound. Layer Meteorol.*, 71: 211-216.
- Regolamento CEE 2568/91. Off. J. Eur. Communities **1991**, L 248.
- Regolamento CE 796/2002. Off. J. Eur. Communities **2002**, L. 128/8.
- Reiners J., Grosch W., **1998**. Odorants of virgin olive oils with different flavour profiles. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2754-2763.
- Reynolds A., Senchuk I.V., de Savigny C., **2005**. Use of GPS and GIS to determine the basis for terroir. Spatial variation in an Ontario Riesling vineyard. Proceedings of the 30th Annual Meeting and Symposium of the American Society of Enology and Viticulture, St. Louis, Mo., 13-16 July 2005.
- Richards L.A., **1931**. Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics*, 1: 318-333.
- Riou C., Becker N., Sotes Ruiz V., Gomez-Miguel V., Carbonneau A., Panagiotou M., Calo A., Costacurta A., Castro de R., Pinto A., Lopes C., Carneiro L., Climaco P., **1994**. *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne*. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 322 pp.
- Riou C., Morlat R., Asselin C., **1995**. Une approche intégrée des terroirs viticoles: discussions sur les critères de caractérisation accessibles. *Bulletin de l'OIV*, 767-768: 93-106.
- Ritchie J.T., **1972**. A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.*, 8: 1204-1213.
- Rovellini P., Cortesi N., **2002**. Liquid chromatography-mass spectrometry in the study of oleuropein and ligstroside aglycons in virgin olive oil: aldehydic, dialdehydic forms and their oxidized products. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, LXXIX: 1-14.

- Ruiz J.M., Bretones G., Baghour M., Ragala L., Belakbir A., Romero L., **1998**. Relationship between boron and phenolic metabolism in tobacco leaves. *Phytochem.*, 48: 269-272.
- Ryan D., Robards K., Prenzler P., Jardine D., Herlt T., Antolovich M., **1999a**. Liquid chromatography with electrospray ionisation mass spectrometric detection of phenolic compounds from *Olea europaea*. *J. Chrom. A*, 855: 529-537.
- Ryan D., Robards K., Lavee S., **1999b**. Determination of phenolic compounds in olives by reversed-phase chromatography and mass spectrometry. *J. Chrom. A*, 832: 87-96.
- Ryan D., Robards K., **1998**. Phenolic compounds in olives. *Analyst*, 123: 31R-44R.
- Ryan D., Antolovich M., Prenzler P., Robards K., Lavee S., **2002a**. Biotransformation of phenolic compounds in *Olea europaea* L. *Sci. Hort.*, 92: 147-176.
- Ryan D., Antolovich M., Herlt T., Prenzler P.D., Lavee S., Robards K., **2002b**. Identification of phenolic compounds in tissues of the novel olive cultivar Hardy's Mammoth. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 6716-6724.
- Salas J., Pastor M., Castro J., Vega V., **1997**. Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de olica. *Grasas y Aceites*, 48(2): 74-82.
- Sánchez-Rabaneda F., Jáuregui O., Lamuela-Raventós R.M., Viladomat F., Bastida J., Codina C., **2004**. Qualitative analysis of phenolic compounds in apple pomace using liquid chromatography coupled to mass spectrometry in tandem mode. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 18: 553-563.
- Santini A., **1979**. Bilancio idrico del sistema suolo-vegetazione: l'impiego di un modello matematico di simulazione. *Riv. Ingegn. Agr.*, 10: 63-76.
- Santini A., Pitacco A., Giulivo C., Zerbi G., Caliandro A., Castrignanò A., *et al.*, **1990**. Modellizzazione del trasporto dell'acqua nel sistema suolo-pianta-atmosfera. *Riv. di Agron.*, 24: 273-290.
- Savournin C., Baghdikian B., Elias R., Dargouth-Kesraoui F., Boukef K., Balansard G., **2001**. Rapid high-performance liquid chromatography analysis for the quantitative determination of oleuropein in *Olea europaea* leaves. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 618-621.
- Schwertmann U., **1964**. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraktion mit saurer Ammoniumoxalat-losung. *Zeitschrift Pflanzenernahrung Dungung Bodenkunde*, 105: 194-202.
- Scienza A., Falcetti M., Bogoni M., Campostrini F., **1992**. Le zonage des terroirs viticoles effectué au moyen de l'étude de l'interaction "cépage per environnement". Application pour l'évaluation de plusieurs sites de l'Italie. *Atti XX congresso mondiale della vite e del vino*. OIV, 18-26 maggio 1992, Madrid, sessione I, tomo II.
- Scienza A., Bogoni M., Iacono F., **1996**. A multi-disciplinary study of the vineyard ecosystem to optimize wine quality. *Acta Hort.*, 427: 347-361.
- Seguin G., **1983**. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bulletin de l'OIV*, 56 (623): 3-18.
- Servili M., Montedoro G.F., Pannelli G., Famiani F., **1990**. Influenza delle variabili pedologiche, tecnologiche e varietali sulla qualità degli oli vergini di oliva. *Atti convegno Problematiche qualitative dell'olio di oliva*. Sassari, 6 Novembre, pp. 231-245.
- Servili M., Baldioli M., Selvaggini R., Miniati E., Macchioni A., Montedoro G., **1999**. High-performance liquid chromatography evaluation of phenols in olive fruit, virgin olive oil, vegetation waters and pomace and 1D- and 2D-Nuclear Magnetic Resonance characterization. *J.A.O.C.S.*, 76: 873-882.
- Servili M., Selvaggini R., Esposto S., Taticchi A., Montedoro G., 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. Chrom. A*, 1054: 113-127.
- Shalhevet J., Mantell A., Bielorai H., Smunsi D., **1981**. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. *Int. Irrig. Inform. Center, Publ. 1*, Bet Dagan, Israel, pp. 124.
- Sinoquet H., Andrieu B., **1993**. The geometrical structure of plant canopies: characterization and direct measurement methods. In: *Crop Structure and Light Microclimate*. Varlet-Grancher *et al.* (Eds.). INRA, pp 131-158.

- Smith N.J., **1991**. Predicting radiation attenuation in stands of Douglas-fir. *For. Sci.*, 37: 1213-1223.
- Sofa A., Dichio B., Xiloyannis C., Masia A., **2005**. Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology*, 32: 45-53.
- Sofa A., Dichio B., Xiloyannis C., Masia A., **2004**. Effect of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. *Plant Science*, 166: 293-302.
- Soler-Rivas C., Espín J.C., Wichers H.J., **2000**. Oleuropein and related compounds. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 1013-1023.
- Spiegel P., **1955**. The water requirement of the olive tree, critical periods of moisture stress, and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. *Report of the XIV International Horticultural Congress*, Wageningen (Netherlands), pp. 1363-1373.
- Taylor S.A., Ashcroft G.M., **1972**. *Physical Edaphology*. Freeman and Co., San Francisco, California, pp. 434-435.
- Tesic D., Woolley D.J., Hewett E.W., Martin D.J., **2001a**. Environmental effects on cv Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand. 1. Phenology and characterization of viticultural environments. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8: 15-26.
- Tesic D., Woolley D.J., Hewett E.W., Martin D.J., **2001b**. Environmental effects on cv Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand. 2. Development of a site index. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8: 27-35.
- Testi L., Villalobos F.J., Orgaz F., Fereres E., **2006**. Water requirements of olive orchards: I Simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrig. Sci.*, 24: 69-76.
- Tetens O., **1930**. Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift für Geophysik*, 6: 297.
- Tombesi A., Boco M., Pilli M., **1998**. Microclima del frutto: influenza della luce sull'accrescimento e sulla sintesi dell'olio. *Rivista di Frutticoltura*, 7/8: 63-67.
- Tonietto J., Carbonneau A., **2004**. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. For. Meteorol.*, 124: 81-97.
- Tonolo G., Marzo S., **1989**. Determinazione della vitamina E aggiunta e dei tocoferoli naturali negli oli di semi dietetici via HPLC. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, LXVI: 3-6.
- Tovar M.J., Motilva M.J., Romero M.P., **2001**. Changes in the phenolic composition of virgin olive oil from young trees (*Olea europaea* L. cv Arbequina) grown under linear irrigation strategies. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 5502-5508.
- Tovar M.J., Romero M.P., Alegre S., Girona J., Motilva M.J., **2002**. Composition and organoleptic characteristics of oil from Arbequina olive (*Olea europaea* L.) trees under deficit irrigation. *J. Sci. Food Agric.*, 82: 1755-1763.
- Tsimidou M., **1998**. Polyphenols and quality of virgin olive oil in retrospect. *Ital. J. Food Sci.*, 10: 99-116.
- Tsimidou M., Papadopoulos G., Boskou D., **1992**. Determination of phenolic compounds in virgin olive oil by RP-HPLC with emphasis on UV detection. *Food Chem.*, 44: 53-60.
- Turc L., **1954**. Calcul du bilan de l'eau: evaluation en fonction des précipitation et des températures. *IAHS Publ.* 37, pp. 88-200.
- Uceda M., Hermoso M., **1998**. La calidad del aceite de oliva. In *El cultivo del olivo*; Barranco D., Fernández-Escobar R., Rallo L., (Eds.); Junta de Andalucía Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Spain; pp 547-572.
- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P., van Walsum P.E.V., Groenendijk P., van Diepen C.A., **1997**. *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Report 71, Dep. Water Resources, Wageningen Agricultural University.
- Van Genuchten M.Th., **1980**. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 892-898.
- Van Genuchten M.Th., **1987**. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. *Research Report 121. USDA-ARS, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California, USA.*

- Van Leeuwen C., Seguin G., **1997**. Incidence de la nature du sol et du cépage sur la maturation du raisin, à Saint Emilion, en 1995. 1^{er} colloque international *Les terroirs viticoles*, Angers, France, INRA, pp. 154-157.
- Vasquez-Roncero A., **1978**. Les polyphenols de l'huile d'olive et leur influence sur les caractéristiques de l'huile. *Rev. Français Corp Gras.*, 1: 21-26.
- Vaudour E., Girard M.Cl., Bremond L.M., Lurton L., **1998**. Caractérisation spatiale des terroirs et constitution des raisins en AOC Côtes-du-Rhône Meridionales (Basin de Xyons-Valreax). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 32: 169-182.
- Vedel A., **1984**. La qualite intrinseque des vins en rapport avec les facteurs qui conditionnent le terroir. *Bulletin de l'OIV*, 643-644: 787-796.
- Verhoef A., McNaughton K.G., Jacobs A.F.J., **1997**. A parameterization of momentum roughness length and displacement height for a wide range of canopy densities. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 1: 81-91.
- Villalobos F.J., Orgaz F., Testi L., Fereres E., **2000**. Measurement and modelling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Eur. J. Agron.*, 13: 155-163.
- Viola P., **1996**. *Olive oil and health*. International Olive Oil Council, Madrid, Spain.
- Visioli F., Galli C., **1994**. Oleuropein protects low density lipoprotein from oxidation. *Life Sciences*, 55: 1965-1971.
- Vlahov G., **1992**. Flavonoids in three olives (*Olea europaea*) fruit varieties during maturation. *J. Sci. Food Agric.*, 58: 157-159.
- Vranová E., Inzé D., Van Breusegem F., **2002**. Signal transduction during oxidative stress. *J. Exp. Bot.*, 53: 1227-1236.
- Watson D.J., **1947**. Comparative physiological studies in growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Ann. Bot.*, 11: 41-76.
- Weiss M., Baret F., Smith G.J., Jonckheere I., Coppin P., **2004**. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination. Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agric. For. Meteorol.*, 121: 37-53.
- Welles J.M., Norman J.M., **1991**. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agric. J.*, 83: 818-825.
- Wesseling J.G., **1991**. BALANCE: a package to show the components of the water balance of a one-dimensional soil profile in time. *Environmental software* 8, 8/4: 247-253.
- Wilson J.E., **1998**. Terroir. *The role of geology, climate and culture in the making of French wines*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 336.
- Xiloyannis C., Palese A.M., **2001**. Efficienza dell'uso dell'acqua nella coltivazione dell'olivo. In: *Gestione dell'acqua e de territorio per un olivicoltura sostenibile*, Corso Internazionale di aggiornamento tecnico scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001. Ed. COI - Regione Campania - CNR Ist. Irrigazione.
- Yravedra Llopis G., **1983**. Liaison qualite-terroir. *Bulletin de l'O.I.V.*, 56: 854-862.