



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

dca
dipartimento *colture arboree*

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
“SISTEMI ARBOREI AGRARI E FORESTALI”
XXII CICLO

COORDINATORE
Chiar.mo Prof. Tiziano Caruso

Settore Scientifico Disciplinare AGR/03

RISPOSTA AL DEFICIT IDRICO CONTROLLATO
DELL'OLIVO IN IMPIANTI SUPERINTENSIVI

Dissertazione finale

TESI DI

Dott. Giuseppe Farina

DOCENTE TUTOR

Prof. Francesco Paolo Marra

Indice

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Cenni storici	3
1.2 Botanica e tassonomia dell'olivo	4
1.3 Biologia dell'olivo	5
2 POSSIBILI STRATEGIE DI SVILUPPO DELL'OLIVICOLTURA ITALIANA	10
2.1 Gli impianti superintensivi in olivicoltura	16
2.2 Le tecniche colturali	20
3. RELAZIONI IDRICHE NELL'OLIVO	28
3.1 Aspetti anatomici e morfologici	28
3.2 Aspetti fisiologici della pianta	31
4. STIMA DEI CONSUMI IDRICI	36
4.1 Il potenziale idrico	36
4.2 Evapotraspirazione	38
4.3 Stato idrico del suolo	40
4.4 Irrigazione in "Deficit"	45
4.5 Irrigazione in deficit dell'olivo	49
5. DISPONIBILITÀ IDRICA E QUALITÀ DELLE PRODUZIONI OLIVICOLE	54
6. SCOPO DELLA TESI	59
7. MATERIALI E METODI	61
8. RISULTATI	67
9. DISCUSSIONI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	89
BIBLIOGRAFIA	97

1. INTRODUZIONE

1.1 Cenni storici

Quella dell'olio d'oliva è una storia lunga almeno 7.000 anni, epoca in cui gli alberi d'olivo venivano coltivati nell'area siro-palestinese, dove sono state rinvenute le più antiche testimonianze della sua presenza. Le ricerche archeologiche hanno consentito di collocarne le prime tracce intorno al V millennio a.C., nei pressi di Haifa, in Israele.

Le prime forme di civiltà occidentali si manifestarono proprio nei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo orientale e che detennero il primato nella olivicoltura e nella produzione di olio: Grecia, Turchia, Siria e Palestina fecero di questo prodotto la fonte primaria della loro civiltà e della loro ricchezza, come testimoniano i reperti archeologici ed i documenti del passato. A partire dal VIII sec. a.C., con la colonizzazione greca dell'Italia meridionale, la coltivazione dell'olivo viene introdotta in quella che verrà chiamata Magna Grecia.

Saranno poi i Romani a diffondere in tutto il loro impero, quindi anche nel bacino nord-occidentale del *Mare Nostrum*, la coltivazione dell'olivo, il cui prodotto finirà per assumere un ruolo sempre più sostanziale nell'economia generale dell'Impero, tanto che produzione e vendita vennero sottoposte al controllo diretto dello Stato.

La tradizionale millenaria coltivazione dell'olivo, nella nostra epoca ha ricevuto nuova linfa grazie alla moderna Scienza Agronomica ed alla disponibilità di nuovi mezzi tecnici. Le alterne vicende della storia non hanno scalfito la straordinaria forza e bellezza di questa pianta che ancor oggi domina incontrastata il paesaggio mediterraneo e lo caratterizza profondamente.

L'olivo oggi è diffuso in tutti i territori che si affacciano sul bacino del Mediterraneo ed è presente anche in California (Usa), Argentina, Messico, Australia e Cina.

Tra i paesi maggiormente attivi nella coltivazione dell'olivo, si segnala la Spagna che produce circa 41.400.000 quintali di olive, il 36,6% della produzione mondiale, seguita dall'Italia con una produzione pari al 24,1% del totale (28.800.000 quintali) e la Grecia con il 16,4%; tra i Paesi del Bacino del Mediterraneo svolgono un importante ruolo la Siria (7,2%), il Marocco (6,3%) e la Tunisia (4,4%). In definitiva, questi sei paesi che si affacciano sul Mediterraneo rappresentano il 95% della produzione mondiale di olive da olio e da mensa (Coreras, 2006).

1.2 Botanica e tassonomia dell'olivo

L'olivo (*Olea europea* L.) è una specie arborea da frutto sempreverde, diploide ($2n=2x=46$) (Angiolillo et al., 1999; Reale et al., 2006) longevo e ad accrescimento lento.

L'olivo coltivato appartiene alla vasta famiglia delle *oleaceae* che comprende ben 30 generi, a portamento arboreo o arbustivo, distribuiti nelle regioni temperate e subtropicali e include anche specie di interesse agronomico o ornamentale quali: *Ligustrum* (ligustro), *Syringa* (lillà), *Fraxinus* (frassino), *Jasminum* (gelsomino) e *Phillyrea* (fillirea). Il genere *Olea*, a cui appartiene l'olivo, comprende 35 specie e l'olivo (*Olea europaea* L.) è suddivisa in due sottospecie, l'olivo coltivato (*Olea europaea sativa*) e la forma spontanea, denominata oleastro, (*Olea europaea oleaster*).

La pianta presenta un habitus vegetativo basitono; sono infatti le gemme a legno più prossimali quelle che schiudono con più facilità ed inoltre la pianta emette germogli avventizi dalla ceppaia o pedale, grazie all'abbondanza di ovuli (iperplasia) che

favoriscono la tendenza della specie ad assumere, se libera di vegetare, un aspetto anche cespuglioso. Presenta uno sviluppo medio (4-8m di altezza) ma in certi casi (in dipendenza di cultivar, ambiente e condizioni culturali) può raggiungere anche grandi dimensioni. A riguardo bisogna ricordare gli imponenti olivi della Piana di Gioia Tauro, in Calabria (Lombardo et al. , 1986; Barone et al. ,1995) e l'olivo secolare più grande d'Europa che vive nel comune di Canneto, nel Lazio, il cui tronco presenta un diametro di circa 7 m (Gullo, 2000).

Il frutto è una drupa ovale dalla cui polpa si estrae l'olio; questa rappresenta l'unico caso in cui l'olio commestibile si ottiene direttamente dal frutto, mentre solitamente l'olio si estrae esclusivamente da semi (Bertrad, 2002).

1.3 Biologia dell'olivo

1.3.1 Fenologia

Con il termine fenologia si intende lo studio delle fasi di sviluppo delle piante in relazione al susseguirsi delle stagioni.

Nell'olivo lo sviluppo annuale è suddiviso in due cicli: un ciclo vegetativo ed un ciclo riproduttivo, all'interno dei quali sono state individuate convenzionalmente diverse fasi (Deidda et al., 2003):

- **Stasi vegetativa:** sospensione o rallentamento dell'accrescimento degli organi vegetativi;
- **Germogliamento:** le gemme apicali e laterali s'ingrossano, si allungano e inizia l'emissione di nuova vegetazione;
- **Crescita del germoglio:** accrescimento dell'apice vegetativo con comparsa di nuove foglie nodi ed internodi;

- **Mignolatura**, dalle gemme a fiore e, ove presenti, da quelle miste si formano e si sviluppano le infiorescenze:
 - a) inizio mignolatura: emissioni delle infiorescenze e comparsa dei diversi palchi dei bocci fiorali;
 - b) sviluppo mignole: allungamento dell'infiorescenza, con bocci fiorali di colore verde che iniziano a distanziarsi e rigonfiarsi;
 - c) completa mignolatura: fine accrescimento dell'infiorescenza, visibile separazione della corolla del calice e cambiamento del colore dei bocci fiorali dal verde al biancastro;
- **Fioritura**, dall'apertura dei boccioli fiorali alla caduta degli stami e dei petali:
 - a) inizio fioritura: espansione della corolla che rende visibili le antere di colore giallo brillante; interessa il 25% dei fiori presenti;
 - b) piena fioritura: completo distanziamento dei petali, allungamento degli stami e dello stilo che rende visibile lo stimma, piena deiscenza delle antere; la fase interessa il 50% dei fiori;
 - c) fine fioritura: completo indurimento delle antere e loro distacco, caduta dei petali; la fase interessa l'80% dei fiori;
- **Allegagione**: ingrossamento dell'ovario nella porzione calicina ancora persistente, presenza dello stimma imbrunito;
- **Accrescimento del frutto**: incremento dimensionale delle drupe sino al raggiungimento della dimensione definitiva:
 - a) 1° fase di accrescimento frutto: caduta del calice e inizio ingrossamento delle drupe che hanno raggiunto il 20% delle dimensioni finali;

- b) 2° fase o di indurimento nocciolo: rallentamento dell' incremento dimensionale delle drupe che hanno raggiunto il 50% delle dimensioni finali; il nocciolo progressivamente lignifica;
- c) 3° fase di accrescimento frutto: secondo rapido accrescimento delle drupe che hanno raggiunto la fase finale.
- **Invaiatura:** viraggio progressivo dal colore verde, al giallo paglierino, sino al colore rosso-violaceo per almeno il 50% della superficie della drupa; diminuisce la consistenza della polpa;
 - **Maturazione:** acquisizione completa della colorazione tipica della cultivar, o della colorazione corrispondente all'utilizzo commerciale del prodotto; inizio della comparsa di sintomi di senescenza.
 - **Caduta delle foglie:** comparsa graduale del colore giallastro fino al completo ingiallimento della foglia e successiva filloptosi;

1.3.2 Biologia florale

La produzione dell'olivo deriva dai fiori portati dalle infiorescenze che si formano all'ascella della foglie del ramo sviluppatosi nell'anno precedente a quello della fioritura. La differenziazione delle gemme a fiore avviene all'inizio della primavera. La gemma, inizialmente vegetativa, si trasforma in gemma a fiore contenente i primordi floreali da cui si svilupperà l'infiorescenza. Questa fase, conosciuta come mignolatura, comprende il periodo tra la fuoriuscita dell'infiorescenza e la fioritura (antesi). La mignolatura ha luogo in genere tra fine marzo e i primi di giugno, variabile da un anno all'altro e in funzione dell'ambiente di coltivazione; la piena fioritura si verifica 4-5 settimane dopo. L'infiorescenza, il cui colore inizialmente verde

vira al bianco-giallastro all'epoca della fioritura, è formata da un asse centrale con diversi ordini di ramificazione (grappolo) al cui apice sono inseriti uno o più fiori ed il numero di fiori per infiorescenza può variare da 10 a 40. Fattori ambientali e nutrizionali possono influenzare lo sviluppo delle infiorescenze che dura 30-45 giorni (Tombesi, 1995; Barone e Di Marco, 2003).

La fioritura vera e propria è caratterizzata dall'apertura dei fiori (antesi) che, a seconda delle condizioni climatiche e delle cultivar, può avvenire tra la fine di aprile e il mese di giugno e durare in genere 5-6 giorni in un albero (2-3 giorni nell'ambito di una infiorescenza) o prolungarsi fino a 10- 15 giorni con l'abbassamento della temperatura nell'ambiente (Fabbri et al., 2004).

Il fiore dell'olivo è molto piccolo (3-5mm), bianco ed ermafrodita, possiede cioè gli organi riproduttivi maschili (due stami) e femminili (pistillo). È formato da un corolla con quattro petali biancastri saldati fra di loro alla base (corolla gamopetala), da un calice con quattro sepali riuniti a forma di coppa (calice gamosepalo) di tipo persistente, cioè, che si mantiene legato all'ovario dopo la caduta della corolla, dal gineceo costituito da: un ovario supero biloculare con due ovuli per loggia, uno stilo breve e sottile, uno stimma grande e bifido, e dall'androceo costituito da: due stami che sorreggono due grandi antere gialle contenenti i granuli pollinici (Tombesi, 2003). Esistono due tipi di fiori: perfetti (ermafroditi) con pistilli funzionanti e fiori staminati (maschili) con pistilli degenerati aventi ovari parzialmente o totalmente abortiti (sterilità morfologica) (Fabbri et al. , 2004).

L'aborto dell'ovario è un fenomeno tipico nell'olivo che si manifesta in diversa misura nelle diverse varietà ed è fortemente influenzato sia da fattori genetici, come ad esempio anomalie nel numero o struttura dei cromosomi, mutazione genetiche o

interazioni con fattori citoplasmatici, che ambientali come ad esempio stress idrici e nutrizionali durante lo sviluppo dei fiori (Martin e Sibbett, 2005).

2 POSSIBILI STRATEGIE DI SVILUPPO DELL'OLIVICOLTURA ITALIANA

Le opportunità di espansione che la filiera olivicola-olearia è potenzialmente in grado di esprimere sono estremamente promettenti; da una parte le opportunità di carattere generale, che consistono nella espansione della domanda di un prodotto di qualità nei paesi ricchi (Nord Europa, Nord America, Oceania, ecc.), ma con bassi consumi procapite; dall'altra l'interesse derivante dagli effetti benefici che questo alimento determina sulla salute dei consumatori, dovuto essenzialmente ai suoi costituenti, quali gli acidi grassi, ed alle proprietà antiossidanti dei composti fenolici, importanti inibitori della sintesi dei radicali liberi (Owen et al., 2000a; 2000b, Visioli et al., 2004), ma legato anche ai componenti fenolici (tirosolo e idrossitirosolo, alcool fenolici e l'Oleuropina) che contribuiscono a ridurre il rischio cardiovascolare e di altre malattie (Bisognano et al., 1999; Fagiani et al., 2002; Owen et al., 2004; Tripoli et al., 2005; Dominguez e Barbagallo, 2007; Fitò et al., 2007; Flemming et al., 1973).

Queste opportunità per il sistema olivicolo-oleario italiano sono supportate, nel particolare, dalla presenza di aree vocate alla produzione di alta qualità, dalla possibilità di differenziare l'offerta grazie alla presenza di un rilevante numero di varietà autoctone e di numerose D.O.P. (Denominazione di Origine Protette) distribuite all'interno del territorio nazionale e, in particolare, nelle aree centro meridionali del paese.

Nonostante le notevoli potenzialità del comparto, i risultati di diversi studi condotti sulla filiera dell'olio di oliva, dimostrano come la struttura produttiva italiana è costituita prevalentemente da micro-aziende a conduzione familiare, caratterizzate da alti costi di produzione e da una bassa redditività.

Le difficoltà a coprire i costi di produzione, quindi di realizzare utili, ha costretto molti olivicoltori a investire poco per l'ammodernamento degli oliveti, per cui numerose aziende oggi si trovano nella condizione di dovere gestire oliveti secolari scarsamente meccanizzabili e soggetti all'alternanza di produzione. Sul piano commerciale, molti produttori non potendo contare su una dimensione aziendale economicamente adeguata, non sono nelle condizioni di imporsi sul mercato né tanto meno possono attuare efficaci strategie di *marketing*.

Questa situazione certamente rappresenta una grossa ipoteca sul futuro assetto del settore. Tenuto conto della situazione in cui versa il mondo della produzione e del mercato dell'olio di oliva, si ritiene che i nostri produttori, per ridurre i costi e recuperare margini di competitività, dovranno affrontare la realtà con una logica imprenditoriale che consenta di attuare programmi di interventi innovativi rivolti, oltre che a migliorare la qualità del prodotto, anche ad innalzare il livello colturale degli oliveti e a rafforzare la fase commerciale, realizzando una effettiva aggregazione dell'offerta.

Salvaguardare il comparto olivicolo può risultare decisivo nell'ambito di una efficace strategia nazionale di sviluppo del territorio, specie per quelle aree del meridione d'Italia, dove l'olivicoltura rappresenta una delle poche possibilità di fonte di reddito. Negli ultimi anni molti produttori, infatti, hanno preferito non procedere con le operazioni di raccolta, in considerazione dei costi dell'operazione e dei bassi prezzi di realizzo, che non arrivano molto spesso a coprire neanche i costi di raccolta e di molitura. Risulta, quindi, essenziale individuare dei modelli di sviluppo che siano compatibili con la struttura imprenditoriale locale, se si vuole garantire un miglioramento lungo i diversi livelli della filiera oleicola, ponendo particolare

attenzione, non solo alla fase di produzione, ma anche alle fasi di distribuzione e di commercializzazione del prodotto.

Appare evidente come i prezzi di mercato all'ingrosso, troppo bassi in funzione dell'effettiva qualità, specialmente di certi prodotti a denominazione protetta e controllata, siano un altro grave problema che affligge pesantemente l'olivicoltura italiana.

Il prezzo troppo basso conviene molto al grossista ed al grande imbottigliatore, penalizzando l'azienda agricola produttrice che alla fine è costretta a cedere il prodotto spesso a prezzi ben al di sotto del costo di produzione. Per chi compra a basso prezzo e in grandi quantità è facile realizzare alti profitti anche con margini unitari minimi (per kg o/e per bottiglia), mentre per chi produce, e con tutte le problematiche relative agli elevati costi di gestione dell'olivicoltura tradizionale, questo risulta praticamente impossibile.

L'azienda agricola produttrice, alla fine, risulta prigioniera di un perverso meccanismo ad effetto boomerang, perché non potrà mai essere competitiva con i prezzi del grossista e del confezionatore, ai quali è costretta a conferire il proprio prodotto, ed in questo modo avrà sempre difficoltà anche nel conquistarsi i propri spazi di mercato.

Oggi è questa la situazione generale della nostra olivicoltura, e per ogni azienda che è faticosamente riuscita crearsi dei redditi più soddisfacenti attraverso efficaci quanto costose strategie di marketing, ce ne sono molte, che invece soffrono per le difficoltà ed i costi colturali sempre più insostenibili. A questo punto si è reso necessario intervenire tecnicamente per ottimizzare la gestione economica della coltura.

Innanzitutto occorre una drastica riduzione dei costi colturali e contemporaneamente un sensibile incremento della produttività per ettaro, senza però,

mai perdere di vista la qualità e di conseguenza la differenziazione e la commercializzazione del prodotto finale.

Un altro aspetto, di cui bisogna tenere conto, è che negli ultimi anni si sta assistendo ad un fenomeno legato al fatto che ai paesi tradizionalmente consumatori si stanno affiancando le nuove aree di mercato influenzate sia dalle correnti migratorie, che hanno incentivato lo sviluppo di modelli alimentari diversi, sia dalla crescente cultura e attenzione nei confronti delle proprietà salutistiche dell'olio.

La quota di consumo pro capite di olio di oliva sul totale dei grassi vegetali consumati nel mondo è del 4%. Tale dato conferma la presenza di ampi margini di crescita del mercato, anche tenendo conto della presenza di un'offerta sempre più segmentata e in grado di rispondere a bisogni sempre più evoluti dei consumatori.

Le aree di consumo più importanti si confermano l'Unione Europea e gli Stati Uniti, rispettivamente con una quota del 65% e dell'9% del totale, con riguardo all'Australia con consumi di circa 37 mila tonnellate e alla Russia con 18 mila tonnellate. Canada e Giappone confermano i propri livelli di consumo. Bisognerà allora chiedersi come riorganizzare un così importante comparto, per evitare che l'olivicoltura tradizionale italiana, per come è strutturata e per come non è ristrutturabile, rischi di finire per assolvere funzioni esclusivamente paesaggistiche, lasciandosi alle spalle concetti come quelli di "produttività" e "redditività".

In altri termini, gli olivicoltori italiani, per restare sul mercato, dovranno essere messi in condizioni di produrre olio extravergine da vendere a circa 3 €/kg pur garantendo loro un reddito. Una prospettiva di innovazione tecnica sembra provenire dalla Spagna, dove si è sviluppato il modello di "olivicoltura superintensiva", l'unico finora veramente innovativo che, a fronte di un'alta densità di piante per ettaro e di una

maggior efficienza delle cultivar cosiddette “intensive”, potrebbe portare all’abbattimento dei costi di produzione in quanto integralmente meccanizzabile, dalla messa a dimora delle piante sino alla gestione del suolo, dalla potatura alla difesa fitosanitaria, alla raccolta.

L’innovazione dell’olivicoltura superintensiva consiste nel fatto che, per la gestione dell’oliveto, il concetto di pianta singola è sostituito da un *continuum*, per cui, ad esempio, la raccolta con macchina scavallatrice di un ettaro di oliveto viene completata da un cantiere con due sole persone nel giro di 2 ore (tra 4 e 5 secondi a pianta). Nell’insieme, il modello superintensivo consente di abbattere il fabbisogno di manodopera annuo ad ettaro portandolo intorno alle 10 giornate lavorative, invece delle oltre 50 della coltura tradizionale. Con produzioni di 10 tonnellate d’olive per ettaro e con resa del 18% in olio, il costo di raccolta con cantiere a noleggio (200 €/ha) viene letteralmente abbattuto e portato a 0,20 €/kg di olio prodotto. Allora sicuramente con un prezzo di vendita alla produzione di 3 €/kg dell’extravergine, resterebbero 2,8 €/kg per coprire tutti gli altri costi ed includerci anche il reddito d’impresa. Il sistema intensivo, presenta una maggior efficienza rispetto a quello tradizionale, anche in funzione del miglioramento qualitativo dell’olio prodotto soprattutto per la tempestività delle operazioni di raccolta meccanica dei frutti rispetto a quella manuale.

Come ogni innovazione, c’è ancora da studiare per mettere a punto il sistema, per ottimizzare il rapporto tra sviluppo delle piante e flessibilità delle macchine, per capire possibilità e limiti di applicabilità di tale modello alla sfaccettata realtà olivicola italiana, soprattutto in termini di ridotta dimensione media dell’azienda olivicola italiana e di risposta varietale della piattaforma autoctona. Il fatto che esso abbia trovato nel mondo consensi tali da portarlo a diffondersi su 100.000 ettari in solo tre lustri, con

previsione di arrivare a 250.000 ettari nei prossimi anni (Mateu et al., 2008), sicuramente è un indice della sua validità.

In relazione all'attuale situazione economica, soprattutto nel breve periodo, difficilmente l'Italia potrà competere nel panorama dell'olivicoltura superintensiva internazionale, soprattutto se tali modelli d'impianto saranno adottati ai fini dell'ottenimento di prodotti il cui standard qualitativo è finalizzato ai consumi di massa. Il nostro Paese, infatti, da sempre ha avuto un ruolo da protagonista a livello mondiale nella produzione di olio extra vergine d'oliva di alta qualità ed è proprio su questa prerogativa che si sono concretizzati i nostri maggiori successi imprenditoriali e commerciali.

Tale tradizione impone di sviluppare un modello italiano di olivicoltura intensiva, ovvero un sistema produttivo ed economico, che deve poter impiegare, senza alcuna limitazione, tutte le varietà disponibili nel panorama olivicolo nazionale e quelle che, con il lavoro di miglioramento genetico, potranno essere costituite in futuro.

Per l'olivicoltura dell'Europa mediterranea il controllo della crescita vegetativa non può quindi prescindere dalla selezione di nuovi portinnesti e dallo sviluppo di tecniche colturali che contribuiscano a ridurre la mole delle piante per adattarli a tali sistemi intensivi. Relativamente a quest'ultimo aspetto un notevole contributo alla gestione colturale degli impianti superintensivi è rappresentato dall'irrigazione che, più di altre pratiche, può contribuire a modulare l'attività vegetativa della pianta senza alterarne la resa produttiva. Attraverso il dosaggio dell'acqua durante specifiche fasi fenologiche è inoltre possibile ottimizzare, anche dal punto di vista economico, la gestione delle risorse idriche.

2.1 Gli impianti superintensivi in olivicoltura

Si tratta di un nuovo modello di olivicoltura, oggi diffuso soprattutto in Spagna, col quale la raccolta delle olive viene effettuata dalle stesse macchine che sono utilizzate ormai da molti anni per la vendemmia meccanica della vite da uva da vino.

Gi impianti superintensivi di olivo sono nati in Spagna nel 1993, frutto di un lungo lavoro di ricerca portato avanti da Vivai Agromillora Catalana in collaborazione con “l’Institut de Recerca Tecnologica Agroalimentares” della Catalogna.

Negli ultimi anni hanno trovato diffusione nel mondo con una superficie complessiva di circa 30.000 ettari, metà dei quali in Spagna e metà in America, Australia e Africa. In Italia gli impianti superintensivi sono ancora relativamente pochi, concentrati soprattutto in Puglia, ma si stanno rapidamente diffondendo grazie ad azioni di comunicazione e marketing assai aggressive.

Tale modello d’impianto si basa su alcuni presupposti agronomici che prevedono:

- limitata capacità di crescita degli alberi;
- elevata densità di piantagione;
- precoce entrata in produzione degli oliveti;
- elevata e costante produttività;
- impiego di macchine per la raccolta integrale delle olive operanti “in continuo”.

Questo tipo di impianto prevede 1200/1800 piante per ettaro, con una resa di 90-100 quintali di olive per ettaro all’anno, con bassi costi di produzione e un prodotto di ottima qualità. L’agricoltore che intende convertirsi a questo tipo di coltura dovrà affrontare un costo di investimento iniziale superiore di 3-4 volte rispetto a quello richiesto dal metodo tradizionale; ciò nonostante le cultivar adatte all’olivicoltura

superintensiva sono già produttive al terzo anno e l'anno successivo sono già in piena produzione. La meccanizzazione, inoltre, abbate notevolmente i costi di raccolta, che avviene rapidamente e consente al prodotto di giungere al frantoio in tempi molto ristretti, a tutto vantaggio della qualità dell'olio.

Non sono molte le cultivar che si adattano a questa tipologia di impianto: le spagnole "Arbequina" e "Arbosana" e la greca 'Koroneiki' (Rallo, 2006; Tous et al., 2008; Camposeo et al., 2008; Godini et al., 2006).

L'Arbequina, in particolare, è quella che dal punto di vista produttivo, in termini di quantità, precocità e costanza di produzione, ha mostrato una maggiore capacità di adattamento in diversi ambienti di coltivazione; in Spagna l'80% dei nuovi oliveti superintensivi è costituito soltanto da questa cultivar (Tous et al., 2006).

Gli alti costi d'impianto (numero di piante, strutture in pali e filo zincato, impianto di fertirrigazione) del modello superintensivo spagnolo prevedono, ai fini della redditività della coltura, una superficie minima aziendale non inferiore agli 11 ettari (Arrivo et al., 2006).

Lo sviluppo di questo tipo di olivicoltura, soprattutto in Paesi di nuova introduzione della specie, può però porre problemi di impollinazione incrociata, qualora le cultivar scelte per l'impianto presentino auto- o inter- incompatibilità; la distanza massima utile ai fini di una efficace impollinazione è stata stimata intorno ai 25-30 km (Fornaciari et al., 2002; Camposeo e Godini, 2007). Risulta, pertanto, fondamentale l'accertamento dell'autocompatibilità delle cultivar proposte per i nuovi impianti superintensivi. La cultivar Arbequina è riportata autocompatibile in Spagna (Tous e Romero, 1992; Rallo et al., 2002) e parzialmente autocompatibile in Italia (Bertolami, 1989). Per Arbosana e Koroneiki mancano riferimenti certi (Bartolini, 2008).

Negli oliveti superintensivi, le piante sono allevate in filari continui, con l'obiettivo di formare un'unica parete fruttificante che permetta la raccolta dei frutti con macchine scavallatrici operanti in continuo, derivate dalle vendemmiatrici. Lo sviluppo dei modelli d'impianto superintensivi sono stati progettati, dunque, adottando valori dei parametri architettonici (distanza tra le piante, altezza delle piante, spessore della chioma e ampiezza della fascia riproduttiva) tali da ottimizzare la meccanizzazione della raccolta con le macchine scavallatrici. Durante la fase produttiva le piante non devono superare le dimensioni compatibili con la camera di scuotimento delle vendemmiatrici (larghezza 1 metro, altezza da 2,5 a 3,5 metri); inoltre, al fine di agevolare l'aderenza delle scaglie del sistema d'intercettazione delle olive, i primi 50 cm del tronco devono essere privi delle ramificazioni. E' auspicabile, infine, che la fruttificazione delle piante sia presente uniformemente su tutta la chioma, compresa la parte basale.

La forma di allevamento ritenuta più idonea per questo modello di olivicoltura è costituita da un asse centrale alto m. 2,20, comunque non oltre i 2,50 metri, sul quale si inseriscono, a 50-60 cm dal suolo, i rami laterali orientati prevalentemente lungo il filare e di lunghezza decrescente dalla base verso l'alto.

In generale, al terzo anno dall'impianto la vegetazione chiude gli spazi tra le piante lungo il filare, assumendo in tal modo l'aspetto di una siepe continua. Le piante sono completamente gestibili da terra e se adeguatamente concimate e irrigate entrano in produzione già al 2° anno o al massimo dopo 3 anni dall'impianto. La precoce entrata in produzione, la regolarità, l'entità della produzione e la lunghezza della fase produttiva sono fondamentali per il successo economico dell'oliveto superintensivo,

perché in pochi anni deve consentire di ammortizzare le spese d'impianto e coprire i costi elevati delle tecniche colturali intensive.

Un altro aspetto importante riguarda lo sviluppo e la maturazione dei frutti; essi devono accrescersi regolarmente, senza subire forti competizioni da parte di altri organi vegetativi della pianta (Tombesi, 2003), ed essere raccolti quando abbiano raggiunto un elevato contenuto e un'alta qualità dell'olio; nella raccolta meccanica è, inoltre, importante che la maturazione dei frutti consenta un'elevata resa alla raccolta (Tombesi et al., 2006).

I primi impianti superintensivi sono stati realizzati tra il 1995 ed il 2000; nei primi anni, tali sistemi hanno fornito buone produzioni e consentito una facile meccanizzazione della raccolta. Successivamente, in alcune situazioni colturali, si sono manifestati problemi relativi principalmente al controllo del vigore della pianta e alla regolarità della produzione negli anni.

Pluriennali osservazioni, condotte sugli impianti superintensivi di due diverse aree olivicole della Spagna (Andalusia e Catalogna), hanno evidenziato, seppure con marcate differenze produttive, la comune tendenza a ridurre la produzione una volta superati i 10.000 m³/ha di volume complessivo delle chiome (De la Rosa et al., 2006; Leon et al., 2006; Pastor et al., 2006).

A densità d'impianto elevate, la chioma di ciascun albero continua ad accrescersi innescando fenomeni di ombreggiamento intra-pianta e tra piante contigue (Tous et al., 2006). L'olivo, specie eliofila per eccellenza, reagisce a tali fenomeni indirizzando la nuova vegetazione verso spazi dove l'intensità luminosa raggiunge livelli sufficienti a garantire la regolare attività fotosintetica delle foglie. Come conseguenza, si assiste ad uno "spostamento" verticale della chioma, determinato dalla

crescita verso l'alto della nuova vegetazione, con angoli più stretti nel punto d'inserzione dei rami sul fusto, e ad un aumento del diametro della stessa chioma, causato dalla crescita “centrifuga” dei giovani germogli. Nei casi più drammatici, quando l'intensità luminosa scende a valori inferiori al 30% rispetto alla radiazione massima, la pianta può mostrare profonde variazioni nel gradiente vegetativo che da basitono diviene tendenzialmente acrotono. Nei rami in ombra, la progressiva riduzione dell'attività fotosintetica della lamina fogliare si ripercuote negativamente sulla crescita della nuova vegetazione, sulla quantità di gemme indotte a fiore e sulla fertilità complessiva della mignola: numero di fiori fertili, percentuale di frutti che allegano, regolare crescita e sviluppo dei frutti. E' stato, inoltre, osservato che frutti portati da rami in ombra accumulano minori quantitativi di olio e la composizione acidica e i contenuti di polifenoli subiscono sensibili variazioni (Pastor et al., 2007).

2.2 Le tecniche colturali

Per ciò che riguarda la gestione agronomica degli impianti superintensivi vi sono significative differenze rispetto ad un impianto tradizionale. Lo sviluppo di questa nuova olivicoltura ad alta densità passa però attraverso importanti scelte legate anche alla meccanizzazione delle operazioni di potatura, in quanto questa, insieme alla raccolta, influisce in maniera consistente sulla redditività dell'impianto e sulla qualità delle produzioni.

La ristretta disponibilità di varietà a basso vigore e la mancanza di portainnesti nanizzanti capaci di controllare in modo efficiente la crescita delle piante (Tous *et al.*, 2006), contribuiscono a far sì che le chiome, a partire dal 5°-7° anno, necessitino di severi interventi di potatura, al fine di garantire un sufficiente grado di illuminazione,

evitare l'insorgere di fenomeni di competizione e mantenere dimensioni delle piante tali da permettere il passaggio delle scavallatrici.

Tali fattori influenzano sensibilmente la quantità di luce complessivamente intercettata dall'impianto e la distribuzione della radiazione luminosa all'interno della chioma e, di conseguenza, l'efficienza produttiva del sistema (Connor, 2006).

L'apporto della meccanizzazione è stato finora scarso e limitato, in prevalenza, all'impiego di motoseghe di tipo leggero. Allo scopo di ridurre le spese e l'impiego di manodopera, e nel contempo di velocizzare le operazioni di potatura, si guarda con crescente interesse alla potatura integralmente meccanizzata con l'impiego di macchine capaci di effettuare il *topping* e l'*hedging* (Lodolini, 2006), operazioni con le quali si regola rispettivamente l'altezza e lo spessore della chioma. I tagli effettuati con la potatura meccanica, tuttavia, non sono selettivi e ancora oggi si dispone di poche informazioni sui possibili effetti sulla dinamica di crescita dei germogli, sui relativi modelli di ramificazione e quindi, in definitiva, sulle modificazioni indotte nell'architettura della chioma. L'asportazione indiscriminata di rami e germogli può, infatti, modificare gli equilibri ormonali, ovvero il rapporto che si instaura fra auxine, citochinine e giberelline, influenzando sui vari stadi fenologici, tra cui induzione e differenziazione a fiore, crescita dei germogli e dell'apparato radicale (Faust, 1989). Inoltre, numerosi piccoli tagli rispetto a pochi grossi tagli stimolano più la formazione di nuovi germogli (Proietti et al., 2002). L'intervento di cima (*topping*), nel modello superintensivo, viene generalmente concepito come un unico taglio orizzontale da effettuare rispetto al piano di campagna, ciò al fine di consentire essenzialmente, il passaggio delle scavallatrici sulle piante. Con l'*hedging* si asporta invece una quantità più o meno cospicua di parte laterale della chioma, con lo scopo di garantire una

migliore insolazione ed un contenimento in senso laterale delle piante, condizione fondamentale per la meccanizzazione integrale delle operazioni di raccolta. L'adozione della potatura meccanica nell'oliveto superintensivo, in luogo di quella manuale o agevolata, semplifica quindi, e di molto, questa operazione colturale, giacché essa si riduce ad un taglio uniforme da apportare perifericamente alla chioma dell'albero e che può essere effettuato senza particolari difficoltà.

Si prevede quindi che in futuro la potatura meccanica negli oliveti superintensivi troverà sempre maggior diffusione come unica valida soluzione per l'esecuzione di questa costosa tecnica colturale.

Una pratica fondamentale per lo sviluppo rapido delle piante è la concimazione che in questa tipologia di impianti viene effettuata tramite *fertirrigazione*, prevedendo 5-6 interventi/anno. Con l'acqua di irrigazione vengono distribuiti i fertilizzanti, la cui composizione in elementi nutritivi varia in funzione della fase fenologica delle piante e permette di seguire in modo puntuale la reale domanda di nutritivi della pianta, con applicazioni ridotte e ripetute nel tempo. La fertirrigazione svolge un'azione di controllo della crescita e dello sviluppo della pianta, garantendo l'ottimale rapporto tra attività vegetativa e produttiva, presupposto di produzioni di alta qualità e quantitativamente soddisfacenti; riduce il numero delle operazioni colturali e di conseguenza il costo delle applicazioni dei fertilizzanti; migliora l'efficienza dei nutrienti, evitando i fenomeni di assorbimento "di lusso"; consente la distribuzione dei concimi in modo uniforme in tutto il profilo bagnato dall'irrigazione e attenua in modo sensibile la perdita di azoto per lisciviazione e per via gassosa (es. denitrificazione). Soprattutto in estate, interventi fertirrigui estremamente ravvicinati (ogni 1-2 giorni), con ridotti volumi d'acqua, assicurano contemporaneamente una regolare

somministrazione idrica e nutrizionale alla pianta, con importanti riflessi sulla qualità della produzione (es. regolare trasporto del calcio ai frutti, ripristino delle riserve), e minimizzando le oscillazioni verso i valori estremi dell'umidità del suolo, con importante riduzione dell'entità del processo di denitrificazione. Per di più evitano l'allontanamento delle forme solubili di azoto dal dominio radicale della pianta. La fertirrigazione può svolgere, inoltre, un importante ruolo conservativo nei confronti della sostanza organica del suolo; infatti riduce l'entità delle aree di suolo "bagnate" e il numero di lavorazioni necessarie; minimizza le perdite di carbonio organico per respirazione rispetto alle tecniche irrigue tradizionali e convenzionali; è integrabile in sistemi a input chimico ridotto (RCI), fondati sulla gestione conservativa della sostanza organica del suolo attraverso il sovescio, l'inerbimento e l'apporto di residui di potatura, di letame e di compost. La fertirrigazione può soddisfare la domanda di nutritivi delle piante nelle fasi in cui i materiali organici determinano nel suolo, immediatamente dopo il loro interrimento, pericolosi fenomeni di immobilizzazione. Inoltre, è diffusa la pratica delle *concimazioni fogliari*, essenzialmente azotate, insieme alle quali si effettuano i trattamenti contro la mosca e contro le malattie crittogamiche più frequenti. La distribuzione dei concimi minerali, per via fogliare, costituisce una valida alternativa alla fertirrigazione del suolo che risulta essere spesso a forte impatto ambientale. La concimazione fogliare riesce a soddisfare in modo efficiente le esigenze nutrizionali della pianta sfruttando la capacità delle cuticole vegetali di assorbire i nutrienti, i quali vengono prontamente trasportati anche ai frutti. Si riducono pertanto le dosi normalmente apportate al suolo (da 1/3 a 1/5) (Zucconi et al., 2002) e si contengono i danni e gli squilibri indotti spesso nel terreno da massicci interventi di fertilizzazione. La gestione della nutrizione delle piante assume grande importanza nel controllare lo

sviluppo vegetativo, senza compromettere la fruttificazione; inoltre, è una pratica necessaria per prevenire e limitare i fenomeni di alternanza di produzione, per l'azione di equilibrio tra fase vegetativa e riproduttiva delle piante (Rotundo et al. 2003).

Relativamente alla *gestione del suolo*, la conduzione dell'oliveto intensivo non si discosta molto rispetto a quella praticata nei sistemi tradizionali. In Spagna, il suolo viene generalmente lasciato inerbito tra le file mentre viene eseguito il diserbo a cadenza regolare sulla fila, di solito a base di glifosate. Per la conduzione dell'oliveto inerbito è necessario individuare l'ottimale gestione agronomica delle essenze erbacee. La modalità di gestione dell'inerbimento è condizionata in particolar modo dalla complementarità con la specie arborea per le esigenze idriche, nutrizionali, di luce e dell'azione che può svolgere per la tesaurizzazione delle risorse idriche e per il controllo dell'erosione (Caporali, 1991). Nella scelta della tipologia di copertura, non vanno, inoltre, trascurati i possibili fenomeni allelopatici tra essenze arboree e tra le erbacee stesse. Il mantenimento o l'accumulo della sostanza organica nel suolo da parte delle piante di copertura sono influenzati, oltre che dal clima, dal terreno, dalle modalità di conduzione e soprattutto dalla qualità del materiale organico aggiunto e dalla sua dinamica di mineralizzazione (Celano et al., 2003). La qualità delle diverse essenze erbacee è influenzata principalmente dal rapporto C/N e dal tenore di sostanze recalcitranti alla decomposizione (lignina e altre sostanze fenoliche). Le piante in grado di fornire residui di "elevata qualità" (Swift, 1985) sono caratterizzate da basso contenuto in prodotti recalcitranti alla decomposizione, da elevate percentuali di azoto e da basso rapporto C/N; tali requisiti si traducono nel terreno in una considerevole cessione di azoto minerale e di anidride carbonica. Comportamento opposto hanno i residui di "bassa qualità", che si differenziano per gli alti tenori di lignina e polifenoli o

per un basso contenuto di N ($C/N > 25$) e si rendono utili per l'incremento del tenore in sostanza organica dei suoli. La conoscenza delle caratteristiche delle diverse essenze, è utile per garantire la sincronizzazione della domanda della coltivazione principale con la disponibilità di nutritivi del terreno. Quindi la combinazione di essenze con caratteristiche qualitative differenti può stabilire un compromesso tra le diverse funzioni di un inerbimento, cioè apportare nutritivi nel breve periodo e aumentare o, almeno conservare, il tenore di sostanza organica nel terreno. Per oliveti siti in aree con una ridotta disponibilità idrica, non bisogna trascurare il cospicuo consumo idrico della copertura erbosa, che arriva a utilizzare anche 200 mm/ha di acqua per anno. Per ovviare a tale inconveniente si può ricorrere all'inerbimento naturale oppure artificiale con graminacee (orzo, avena) e/o leguminose (veccia, favino) associati al "mulching" estivo, cioè a una pacciamatura realizzata con i residui erbacei derivati da uno o più sfalci. La presenza di una copertura erbacea superficiale continua, naturale o artificiale, può ridurre l'erosione di oltre 5-6 volte rispetto alle lavorazioni; essa attenua l'azione battente della pioggia e riduce la velocità delle acque di ruscellamento; contiene la compattazione del suolo; previene la formazione della crosta sulla superficie; aumenta l'infiltrazione dell'acqua, grazie a fattori fondamentali quali i canali rilasciati dalle radici morte e all'attività dei lombrichi (Lal et al.,1991).

Negli oliveti superintensivi, la difesa fitosanitaria deve prestare attenzione all'instaurarsi di condizioni microclimatiche che potrebbero favorire quelle patologie legate ad elevata umidità, dovuta soprattutto all'irrigazione, che stimola il rigoglio vegetativo e causa maggior ombreggiamento nelle diverse parti della chioma della pianta e fra le piante. Negli impianti intensivi è stata riscontrata una maggiore frequenza di casi di Occhio di pavone (*Spilocaea oleagina*), per la minore circolazione di aria

all'interno degli impianti, e di rogna (*Pseudomonas savastanoi*), quest'ultimo favorito dalle lesioni operate sui rami dalla macchina scavallatrice.

Per gli impianti superintensivi di olivo *l'irrigazione* è una pratica indispensabile per assicurare una soddisfacente produttività, dato il minore volume di terreno esplorato dagli apparati radicali delle singole piante. Gli oliveti superintensivi sono irrigati attraverso impianti a distribuzione localizzata. Inizialmente l'interesse degli olivicoltori per l'irrigazione nasceva dall'aumento della produzione, mentre oggi l'enfasi si sta spostando sui benefici per la qualità dell'olio. Le fasi fenologiche critiche, in cui l'olivo non dovrebbe subire stress idrici, sono la fioritura, l'allegagione, le prime 5-6 settimane di sviluppo del frutto dopo la fecondazione e il periodo di intenso accumulo di olio nella drupa. In altri momenti, ad esempio il periodo a cavallo dell'indurimento del nocciolo, è consigliabile sottoporre la pianta ad un deficit idrico controllato per risparmiare acqua o ottenere il miglioramento qualitativo dell'olio.

Numerosi studi, in presenza di metodi irrigui localizzati che bagnano solo una parte del volume di suolo interessato dall'apparato radicale, suggeriscono di iniziare la stagione irrigua prontamente, quando il terreno è ancora umido (60-70% dell'acqua disponibile), a causa dei seguenti motivi:

- l'olivo, in particolare negli ambienti meridionali, consuma acqua durante tutto il periodo dell'anno e, spesso, le piogge non riescono a ripristinare per intero la riserva idrica del volume di suolo esplorato dalla radici;
- l'inizio precoce della stagione irrigua consente di conservare, negli strati più profondi e nei punti non interessati dagli erogatori, una sufficiente riserva idrica, visto che l'assorbimento radicale avviene maggiormente nei punti bagnati degli strati superficiali e nelle aree più prossime al tronco;

- la conservazione di una certa riserva idrica nel volume di terreno non interessato dall'irrigazione, è utile in quanto consente di mantenere attive anche le radici presenti nella zona non bagnata;

Nelle zone meridionali, vista la scarsità delle precipitazioni durante il periodo primaverile-estivo, risulta impossibile ripristinare le condizioni idriche ottimali nel suolo non interessato dall'irrigazione di oliveti irrigati con sistema localizzato. In pratica però, spesso, il primo intervento irriguo viene effettuato quando le piante hanno consumato gran parte della riserva idrica, creando così notevoli difficoltà nella gestione corretta del metodo irriguo, soprattutto nel periodo in cui la domanda evapotraspirativa dell'ambiente è massima. Negli ambienti caratterizzati da inverno mite e siccitoso è necessario irrigare, soprattutto negli impianti giovani, anche durante questo periodo, al fine di assicurare l'attività delle foglie ed il ripristino delle sostanze di riserva nei vari organi. L'inizio della stagione irrigua può essere stabilito considerando la riserva idrica utile del terreno esplorato dalle radici, il fabbisogno idrico delle piante e la piovosità. La riserva idrica utile varia in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno e dello sviluppo dell'apparato radicale.

3. RELAZIONI IDRICHE NELL'OLIVO

Nel bacino del Mediterraneo, l'olivo generalmente cresce in ambienti dove la carenza idrica si manifesta sistematicamente e spesso perdura per tutto il periodo primaverile-estivo (Larsen et al., 1989; Lo Gullo e Salleo, 1988; Rienger, 1995).

L'olivo rappresenta una coltura mediterranea molto tollerante agli stress idrici. Questo spiega perché nel passato l'olivo sia stato coltivato quasi esclusivamente in asciutto. I recenti risultati di ricerche sulla biologia dell'olivo, hanno consentito di chiarire i meccanismi principali mediante i quali l'olivo è in grado di resistere a lunghi periodi di siccità e di utilizzare l'acqua in modo efficiente. L'efficienza di uso dell'acqua, ovvero la quantità di assimilazione netta per unità di H₂O traspirata, è più elevata nell'olivo che in altre specie coltivate. Ciò dipende da vari fattori, sia anatomici che fisiologici (Gucci, 2004).

3.1 Aspetti anatomici e morfologici

Caratteristiche che conferiscono all'olivo la capacità di assorbire, trasportare, e cedere acqua all'atmosfera in condizioni di scarsa umidità del suolo, sono presenti sia a livello dell'apparato radicale che della chioma. I meccanismi di resistenza della *foglia* dipendono dalle ridotte dimensioni della lamina fogliare, tomentosità della pagina inferiore e elevata capacità dei tessuti del mesofillo; determinanti sono anche lo spessore della cuticola fogliare, più spessa nella pagina superiore che in quella inferiore e la presenza di stomi solo nella pagina inferiore delle foglie, posti in piccole depressioni, e non direttamente esposti sulla superficie ma ricoperti da un feltro di tricomi. Questi oltre a riflettere la luce, filtrano la radiazione ultravioletta e mantengono

un sottile strato di aria umida a ridosso della superficie fogliare, tipico di una pianta xeromorfa, che teme di contro l'eccesso di umidità (Barone e Di Marco, 2003).

Le caratteristiche anatomiche del *fusto* sono molto importanti ai fini della resistenza alla siccità. Il legno di olivo è di tipo poroso diffuso, cioè presenta vasi distribuiti in modo piuttosto uniforme nell'anello di crescita. Il legno è ricco di fibre e presenta poco parenchima accessorio. I singoli elementi vasali dello xilema, cioè il tessuto conduttore della linfa grezza dall'apparato radicale verso la chioma, hanno un diametro ridotto (di solito inferiore a 20 μm) (Lo Gullo e Salleo, 1990). Le piccole dimensioni dei vasi sono un importante carattere per la resistenza a condizioni di aridità nel suolo, in quanto consentono di ridurre la probabilità di formazione di emboli nel sistema conduttore della linfa (Gucci, 2001). Nell'olivo, a valori di potenziale idrico corrispondenti all'incirca al punto di perdita di turgore delle cellule, solamente il 5% circa dei vasi xilematici del fusto sono collassati per la presenza di emboli (Salleo e Nardini, 1999).

L'*apparato radicale* è piuttosto superficiale ma capace di sviluppare radici esploratrici in grado di espandersi ben oltre la proiezione della chioma, immagazzinando una notevole quantità di acqua. In condizioni di carenza idrica, il rapporto radice-chioma dell'albero aumenta, cioè la pianta investe in proporzione più nell'apparato radicale che nella parte aerea in modo da ridurre la superficie traspirante in relazione a quella assorbente (Xiloyannis C. *et al.*, 2004). Una densità radicale elevata, infatti, comporta una più efficiente utilizzazione delle risorse, in quanto si ha una riduzione della distanza media tra le radici e un decremento sia del potenziale idrico sia di quello di concentrazione dei vari elementi minerali nel terreno.

La pianta in condizioni di carenza idrica, limitando la crescita dell'area fogliare, può usufruire di una riserva idrica paragonabile a quella delle piante irrigate, in quanto l'attività fotosintetica, svolta sia nella fase di carenza idrica che nel periodo autunno-invernale, produce assimilati destinati alla crescita diametrica delle strutture ed allo sviluppo dell'apparato radicale. Un indice importante dell'efficienza radicale nell'assorbimento dell'acqua e degli elementi nutritivi è rappresentato dalla *densità radicale*, che è tanto più elevata quanto è più efficiente l'utilizzazione delle risorse. La densità radicale viene espressa, normalmente, come peso secco oppure come lunghezza di radici per unità di volume di suolo interessato dall'apparato radicale. Nell'olivo e, in generale, in tutte le specie arboree da frutto, la densità radicale è molto bassa (Xiloyannis *et al.*, 1999). La presenza di un capillizio radicale posto in prossimità del colletto e originatosi dagli ovuli, può permettere la rapida e completa utilizzazione delle piogge di modesta entità che non arriverebbero ad interessare la parte più profonda dell'apparato radicale (Bongi e Paliotti, 1994). Lo sviluppo dell'apparato radicale è fortemente dipendente anche dal metodo di distribuzione dell'acqua adottato, dal momento che la massima densità delle radici si troverà nelle zone periodicamente bagnate. I sistemi di irrigazione localizzata favoriscono un'elevata concentrazione delle superfici radicali in prossimità dei gocciolatori.

La presenza di umidità nel suolo influisce sullo sviluppo dei tessuti delle radici e sull'assorbimento delle diverse parti dell'apparato radicale. In piante allevate in asciutto il cilindro corticale è più spesso e i tessuti dell'apice radicale maturano più rapidamente che in piante irrigate (Fernandez *et al.*, 1994). In asciutto, prevale l'assorbimento da radici profonde; in irriguo, o dopo irrigazione di soccorso, sono le radici superficiali ad assorbire la maggiore quantità di acqua. Successivamente alla reidratazione, dopo un

lungo periodo di carenza idrica, è possibile un rapido recupero dell'attività di assorbimento radicale (Fernandez *et al.*, 1997).

3.2 Aspetti fisiologici della pianta

Noguès e Baker (2000) hanno dimostrato che l'olivo coltivato nelle aree del Mediterraneo manifesta una bassa attività fotosintetica ed un ridotto tasso di traspirazione durante la stagione calda. Chartzoulakis *et al.*, (1999) è dell'opinione che le piante, per resistere a condizioni di stress idrico, mettono in atto una serie di meccanismi di adattamento. Questi conducono a cambiamenti dello stato idrico della foglia, chiusura degli stomi e conseguente riduzione del tasso di fotosintesi. La riduzione dell'attività fotosintetica, scaturita da deficit idrico, potrebbe potenzialmente essere dovuta a riduzione sia della conduttanza stomatica che della conduttanza del mesofillo. La *conduttanza stomatica* (g_s) misura il grado di permeabilità della foglia agli scambi gassosi: vapore d'acqua dall'interno della foglia verso l'atmosfera e anidride carbonica dall'atmosfera verso i tessuti della foglia.

Diversi autori sono concordi nel sostenere che il principale fattore fisiologico che contribuisce ad ottimizzare l'utilizzo dell'acqua in condizioni di carenza idrica è la regolazione stomatica (Giorio *et al.*, 1999; Fernandez *et al.*, 1997; and Moriana *et al.*, 2002). Infatti, l'eccessiva perdita di acqua da parte delle foglie può essere sensibilmente ridotta mediante la chiusura degli stomi. Le foglie tollerano un potenziale idrico estremamente basso (-10 MPa) ed una perdita di acqua dei tessuti del 40% con una elevata capacità di reidratazione (Rhizopoulou *et al.*, 1991).

La conduttanza stomatica in foglie di olivo presenta valori simili ad altre specie arboree da frutto in condizioni di buona disponibilità idrica nel suolo. Al diminuire della

disponibilità idrica nel suolo, la conduttanza stomatica dell'olivo si mantiene piuttosto elevata e superiore a quella di altre specie, i cui stomi sono particolarmente sensibili sia alla diminuzione del potenziale idrico che all'incremento di deficit di pressione di vapore (VPD) tra la foglia e l'atmosfera (Gucci, 2001). 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. Infatti, l'olivo riesce a mantenere l'attività fogliare fino a valori del suolo di -2,5 MPa, a differenza della maggior parte degli alberi da frutto che raggiungono il punto di appassimento a valori di circa -1,5 MPa (Xiloyannis *et al.*, 1999). L'olivo adotta una strategia di tipo "adattativo", opposta a quella di tipo "conservativo", che prevede la chiusura degli stomi e l'accumulo di acqua nell'apoplasto. Col proseguire dello stress gli stomi si chiudono, ma la chiusura completa avviene a potenziali idrici molto bassi (Gucci, 2003).

Uno dei meccanismi fisiologici, non ancora ben chiariti nell'olivo, riguarda il comportamento della conduttanza stomatica successivamente ad una reidratazione dopo un lungo periodo di carenza idrica. Contrariamente a quanto avviene per il potenziale idrico fogliare, che mostra un recupero molto rapido (Jorba *et al.*, 1985; Natali *et al.*, 1991; Fernandez *et al.*, 1993), la conduttanza stomatica mostra un'inerzia più o meno accentuata in funzione del livello di deficit idrico pregresso e del deficit di pressione di vapore dell'aria (Fernandez *et al.*, 1997). Tale inerzia della conduttanza stomatica potrebbe far pensare che esista un controllo di fattori ormonali o dell'acido abscissico (ABA), ma non esistono, almeno per l'olivo, dati sperimentali per supportare questa ipotesi. Questo aspetto è stato osservato anche in altre specie, quale la vite, che posta in condizione di stress idrico, vede la chiusura parziale degli stomi con conseguenza

riduzione della traspirazione e del processo di fotosintesi a causa di un insufficiente assorbimento di CO₂ (Scienza, 1983). Lo stress idrico induce la formazione di acido abscissico (ABA) nelle radici, dalle quali è trasportato verso le foglie dove provoca la chiusura degli stomi; il livello di questo ormone sembra essere legato alla predisposizione della pianta a resistere alla siccità. La sua presenza è maggiore nei genotipi più resistenti e via via minore in quelli meno resistenti (Petegolli, 1992). Diversi autori (Hsiao, 1973; Hardie e Martin 1989; Williamms *et al.*, 1992; Poni *et al.*, 1993; Dry e Loverys, 1999) hanno accreditato l'ipotesi che ad un moderato stress idrico corrisponda una più precoce sensibilità dei processi legati alla crescita cellulare ed alla sintesi proteica, rispetto a quelli relativi a fotosintesi, traspirazione e azotofissazione.

Il ruolo che il VPD esercita sulla conduttanza stomatica è stato dimostrato per molte specie (Aphalo e Jarvis, 1991) ed in particolare, per piante adatte a condizioni di aridità. Ma la letteratura sulla risposta della conduttanza stomatica al VPD è, per l'olivo, alquanto limitata (Bongi e Loreto 1989, Fernandez *et al.*, 1993, 1997, Giorio *et al.*, 1999), perché non sono state ancora studiate le relazioni di feed-back dirette, (variazioni della conduttanza stomatica (gs) in risposta a variazioni dell'evapotraspirazione (ET), o indirette (variazioni di gs in risposta a variazioni dello stato idrico fogliare e del suolo correlate alle variazioni dell'evapotraspirazione).

Con un VPD elevato aumenta il tasso di evapotraspirazione che nel breve periodo abbassa il potenziale idrico fogliare inducendo, oltre certi livelli, la chiusura stomatica (relazione di feed-back indiretta). Per lo stesso meccanismo descritto, una riduzione del VPD che provochi un abbassamento dell'evapotraspirazione potrebbe o innalzare direttamente la conduttanza stomatica (relazione di forward diretta tra ET e

gs) oppure migliorare lo stato idrico fogliare inducendo un aumento di gs (relazione di forward indiretta tra ET e gs) (Jones, 1998).

Il livello di deficit idrico pregresso, in pieno campo, risulta difficilmente definibile se facciamo riferimento solamente al potenziale idrico o al contenuto idrico relativo fogliare (RWC), ma può essere determinato con più chiarezza invece se ci riferiamo anche alle alterazioni che esso ha indotto sul metabolismo fotosintetico. Infatti, livelli di stress idrico moderati ($\Psi = -2,5 -3,0$ MPa) limitano la fotosintesi attraverso una forte riduzione della conduttanza stomatica, mentre stress idrici più severi ($\Psi = -3,5 -4,5$ MPa) alterano la biochimica della fotosintesi attraverso una riduzione della massima capacità fotosintetica (A_{max}) e, successivamente, anche dell'efficienza di carbossilazione della Rubisco, il principale enzima coinvolto nel processo fotosintetico. Poiché è noto che esiste un'azione coordinata tra la macchina fotosintetica e il comportamento stomatico, il completo recupero della conduttanza stomatica avviene quando è stata ristabilita la completa efficienza del metabolismo fotosintetico.

Una efficace strategia di stress idrico controllato dovrebbe tendere a evitare consumi idrici elevati, portando il potenziale di perdita traspirativi (g_s) in un intervallo di valori che consente la massima efficienza di uso dell'acqua e, al tempo stesso, determina modeste riduzioni nel tasso di fotosintesi che sono, in ogni caso, di natura prevalentemente reversibile. In presenza di stress moderato, la pianta è in grado di abbassare la conduttanza stomatica fogliare in modo più che proporzionale alla fotosintesi, conseguendo un incremento di quella che viene definita "efficienza all'uso dell'acqua".

Le piante, per mantenere l'attività fotosintetica anche in condizioni di carenza idrica nel suolo, hanno sviluppato processi fisiologici che consentono di mantenere, fino ad un certo punto, il turgore dei tessuti e quindi l'apertura degli stomi (Nunes *et al.*, 1989). L'abbassamento del potenziale osmotico è uno dei meccanismi attraverso il quale la pianta riesce ad adattarsi alla scarsa disponibilità di acqua nel suolo (Morgan, 1984). Anche l'aumento della elasticità della parete cellulare può in ugual modo contribuire a mantenere il turgore cellulare (Patakas e Noitsakis, 1997).

Per aggiustamento osmotico si intende la capacità di sintesi ed accumulo di soluti osmoticamente attivi e metabolicamente compatibili che consentono alla pianta di abbassare il potenziale osmotico (Gucci, 2001). Le piante soggette a deficit idrico possono sintetizzare e accumulare aminoacidi, proteine, zuccheri e acidi organici (Ingram e Bartels, 1996), le cui elevate concentrazioni contribuiscono ad abbassare il potenziale osmotico, permettendo all'acqua di entrare nelle cellule e mantenere il turgore cellulare; in tal modo si aumenta quindi la tolleranza dei tessuti al basso potenziale idrico del suolo (Tyree e Jarvis, 1982; Bray, 1993). Nell'olivo l'abbassamento del potenziale di turgore delle cellule determina un elevato gradiente di potenziale idrico tra le foglie e le radici, consentendo alle piante di estrarre acqua dal suolo anche con bassi valori di potenziale idrico del suolo, intorno a $-2,5$ MPa (Xiloyannis *et al.*, 1999; Gucci, 2003).

In definitiva l'olivo è caratterizzato da un elevato grado di aggiustamento osmotico al diminuire dell'acqua nel suolo; ciò consente all'albero di ridurre gli effetti sul turgore cellulare causati dalla diminuzione del potenziale idrico fogliare (Rierger, 1995; Abd-El-Rahman e El-Sharkawi, 1974).

4. STIMA DEI CONSUMI IDRICI

4.1 Il potenziale idrico

La misurazione dello stato idrico della pianta si rivela utile per la programmazione dell'irrigazione; questo è infatti legato a condizioni del suolo, del clima e allo stato fenologico della pianta stessa (Remorini e Massai, 2003). Il sistema più utilizzato per valutare lo stato idrico della pianta è stato quello di determinare il *potenziale idrico fogliare* (ψ_f) (Ameglio *et al.*, 1999; Hsiao, 1990; Ortuño *et al.*, 2006a); comunque Chonè *et al.*, (2001), Naor (2000) e Shackel *et al.*, (1997) hanno dimostrato che il *potenziale idrico del fusto* (ψ_s) è un indicatore dello stato idrico della pianta molto affidabile per pianificare l'irrigazione delle colture da legno.

L'acqua si muove all'interno della pianta seguendo differenti passaggi: dal suolo alle radici, dalle radici ai vasi xilematici dei germogli, dai germogli alle foglie e dalle foglie all'atmosfera attraverso gli stomi. Lo stato idrico della pianta dipende principalmente dal potenziale idrico dello strato di terreno vicino alle radici, dalle dimensioni della chioma e dalla richiesta evapotraspirativa (Chone *et al.*, 2001).

La stima dello stato idrico della pianta viene effettuata mediante l'utilizzo della camera a pressione di Scholander (Scholander *et al.*, 1965), la quale consente di misurare sia il potenziale idrico fogliare che il potenziale idrico del fusto.

Il procedimento di misurazione del potenziale prevede l'asportazione della foglia mediante un taglio del picciolo praticato con una lama affilata; la foglia è immediatamente inserita nella camera di Scholander e pressurizzata con gas inerte (in genere azoto), fino al comparire della prima goccia di linfa xilematica dalla superficie di taglio del picciolo. La pressione letta in quel preciso istante equivale, in senso opposto, alla tensione (potenziale idrico) con la quale l'acqua è trattenuta dalla foglia.

Il potenziale idrico fogliare può essere misurato prima dell'alba (*pre-dawn*) e misura lo stato idrico della pianta quando i flussi xilematici sono nulli; questa misura dà un'indicazione anche del contenuto idrico della porzione di suolo esplorato dalle radici (Begg e Turner 1970), oltreché dello stato idrico della pianta, dal momento che si ritiene che prima dell'alba questa sia in equilibrio con lo stato idrico del suolo.

Il potenziale idrico fogliare misurato nel corso della giornata su foglie adulte poste all'ombra, riflette una combinazione di più fattori: domanda idrica della foglia legata al suo microclima, disponibilità di acqua nel suolo, conduttività idraulica della pianta, regolazione stomatica (Chonè *et al.* 2001). Esso rappresenta quindi lo stato idrico della foglia stessa.

Il potenziale idrico del fusto viene misurato su foglie che non traspirano e che si mantengono quindi in equilibrio con lo stato idrico del fusto; tale equilibrio si ottiene insacchettando con film di plastica e alluminio le foglie da sottoporre a misurazione (Begg e Turner, 1970). Il potenziale in questo caso è il risultato della traspirazione dell'intera pianta, della disponibilità di acqua nel suolo e della conduttività radici-suolo (Chonè *et al.* 2001).

Il potenziale idrico fogliare dell'olivo presenta notevoli variazioni sia su base giornaliera che stagionale. Nel corso del giorno gli stomi riescono solo parzialmente a regolare il tasso di traspirazione, per cui l'andamento giornaliero del potenziale idrico dell'olivo riflette sia lo stato di idratazione dei tessuti che la domanda evapotraspirativa dell'ambiente. La notevole diminuzione giornaliera del potenziale idrico è dovuta alla perdita di acqua dai tessuti, alle elevate resistenze idrauliche nel fusto e nella radice e, alla rigidità delle pareti cellulari della foglia. Il punto di perdita di turgore per la foglia è

stato stimato intorno a valori di -3,0 -3,5 MPa di potenziale idrico, corrispondenti al 75-80% del *contenuto idrico relativo* (RWC) (Gucci, 2001).

Il potenziale idrico e la quantità di acqua presente nei tessuti dell'albero presentano un andamento ciclico su base giornaliera. Durante le ore del mattino l'assorbimento idrico da parte dell'apparato radicale è inferiore alla traspirazione della chioma, per cui i tessuti si disidratano progressivamente. Durante il pomeriggio e il periodo notturno, l'albero assorbe più acqua di quanta ne traspira con conseguente reidratazione dei propri tessuti (Gucci, 2003). In condizioni di stress idrico il potenziale fogliare della pianta può scendere anche a livelli molto negativi (Gucci *et al.*, 2007). In condizioni estreme di deficit idrico sono stati misurati valori di ψ_1 pari a -8,0 -10,0 MPa e a tali valori le piante mantengono la capacità di recupero e reidratazione (Angelopoulos *et al.*, 1996).

E' stato osservato che, successivamente alla reidratazione, è possibile un rapido recupero del potenziale idrico fogliare in uno o due giorni (Natali *et al.*, 1991).

4.2 Evapotraspirazione

La disponibilità di dati sullo stato idrico nel suolo, nonché sul contesto fisico-morfologico del territorio, è requisito fondamentale per poter effettuare un razionale utilizzo sia qualitativo che quantitativo del patrimonio idrico. Alla luce di ciò, la conoscenza dei principali processi idrologici che avvengono nel suolo, quali infiltrazione, redistribuzione, risalita capillare, evapotraspirazione ed assorbimento radicale, assume un ruolo importante. La vegetazione e le caratteristiche topografiche, inoltre, influenzano in maniera decisiva i suddetti fenomeni.

Importante è conoscere la quantità di acqua che le piante hanno a disposizione nel suolo in modo da somministrare, mediante irrigazione, un volume di acqua necessario a riportare il suolo alla capacità idrica di campo.

Un buona programmazione dell'irrigazione richiede comunque una accurata quantificazione della evapotraspirazione della pianta. L'irrigazione viene utilizzata per sostituire la quantità di acqua persa nel suolo e che non può essere rifornita mediante eventi atmosferici. La perdita di acqua avviene principalmente attraverso l'evapotraspirazione della coltura (ET_c) e la sua stima è di fondamentale importanza per la gestione dell'irrigazione.

A fini pratici applicativi, il metodo più utilizzato per la stima dei consumi idrici delle colture è quello empirico, seguendo l'approccio FAO, che permette di stimare l'evapotraspirazione della coltura attraverso la conoscenza dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) ed i coefficienti colturali (Allen *et al.*, 1998) secondo la seguente formula:

$$ET_c = ET_0 * K_c * K_r$$

in cui ET_c è l'evapotraspirazione massima della coltura, ET_0 è la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera, K_c è il coefficiente colturale tipico della specie e K_r è l'indice di copertura del suolo.

Per l'olivo sono ancora poche le informazioni disponibili circa i valori riferibili a K_c ; Orgaz e Fereres (1997) suggeriscono valori di coefficiente colturale per l'olivo che variano da 0,45 a 0,70 a seconda della ubicazione. La collocazione geografica della coltura influisce infatti sul coefficiente colturale e ciò può rendere inopportuno l'utilizzo di questa metodologia se si utilizzano valori di K_c non appropriati.

Altro metodo empirico utilizzato per il calcolo della evapotraspirazione potenziale (ET_0), è l'evaporimetro o vasca di classe "A" (Dorebos e Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 1998), consistente in una bacinella a sponde verticali piena d'acqua che va posta possibilmente su un prato o su una superficie inerbita lontano da ostacoli che influiscono sul vento o aree che influenzino la temperatura o l'umidità (aie, strade, lastricati ecc.), o da ostacoli che la possano ombreggiare. L'atmosfera farà evaporare l'acqua contenuta nella bacinella e dalla misura del livello dell'acqua, effettuata tutte le mattine, si può valutare la quantità di acqua evaporata; la misura sarà in millimetri di acqua persa al giorno (mm/giorno). L'uso si basa sulla correlazione esistente tra la quantità di acqua evaporata da una superficie libera e quella evapotraspirata da una coltura, essendo comuni i fattori climatici che regolano i due processi. Per ottenere il valore di ET_c , la quantità di acqua evaporata giornalmente viene moltiplicata per il coefficiente di posizione della vasca K_p , il cui valore dipende dalla ventosità, dall'umidità relativa dell'aria, da un'eventuale inerbimento dell'area in cui è stata posta la vasca e dalla distanza dell'evaporimetro dal bordo della stessa.

4.3 Stato idrico del suolo

Il suolo è il mezzo attraverso il quale l'acqua è resa disponibile per le piante. La misurazione dello stato idrico del suolo viene di solito preferita, in quanto, generalmente, è di più facile attuazione, tuttavia fornisce solo una stima indiretta dello stato idrico della pianta. Le misurazioni dello stato idrico fatte direttamente sul suolo hanno un difetto piuttosto rilevante: è quasi impossibile trasformare questi valori in stime assolute della disponibilità idrica di un suolo. La scelta dei punti esatti in cui effettuare il monitoraggio risulta inoltre problematica, infatti, l'apparato radicale delle

specie arboree perenni può avere uno sviluppo irregolare, andando di solito a occupare grossi volumi di suolo. Tra l'altro, il contenuto idrico del suolo non è costante nello spazio, soprattutto nei frutteti con impianto di irrigazione a goccia. Pertanto, sarebbe necessario effettuare decine di misurazioni per avere un quadro completo dello stato idrico del suolo (Warrick e Nielsen, 1980; Naor e Cohen, 2003).

Al fine di garantire una più efficiente gestione dell'acqua, sono stati messi a punto diversi sistemi (Feres e Goldhamer, 1990), alcuni dei quali includono dei sensori per il monitoraggio continuo del contenuto idrico del suolo (Hanson *et al.*, 2000). I sensori a matrice granulare (GMS) rappresentano un'opzione per stimare indirettamente il contenuto idrico del suolo (Leib *et al.*, 2003). Questi misurano la resistenza elettrica di un terreno, la quale può successivamente essere convertita in termini di potenziale idrico del suolo (ψ_{soil}), usando formule correttive, presenti in letteratura, per i terreni sabbiosi (Irmak e Haman, 2001), per i terreni franco-limosi (Eldredge *et al.*, 1993), etc. Il *Watermark* (Larson, 1985) è un GMS dal costo relativamente basso. È facile da usare e da installare e può funzionare in modo affidabile quando l'acqua è trattenuta dal terreno con una tensione variabile tra i 10 kPa e i 200 kPa (Leib *et al.*, 2003). Tuttavia sono evidenti alcune limitazioni. Ad esempio, il sensore *Watermark* non risponde se le variazioni di potenziale idrico del suolo sono superiori ai 10 kPa e, quindi, non può essere utilizzato laddove si vuole mantenere il potenziale idrico del terreno su valori bassi (Irmak e Haman 2001; Taber *et al.*, 2002; Intrigliolo e Castel, 2004). Inoltre il *Watermark* non risponde bene in caso di asciugamento rapido o parziale bagnatura del suolo, mostrando un comportamento isterico (McCann *et al.*, 1992) che può determinare errori nelle misurazioni. Nonostante tutte queste limitazioni, il *watermark* trova comunque applicazione nel momento in cui

si vuole ottenere un'indicazione relativa sullo stato idrico del suolo, infatti è stato usato con successo per l'irrigazione sia di colture erbacee (Shock *et al.*, 1998a, 1998b; Taber *et al.*, 2002) che di colture legnose (Hanson *et al.*, 2000a; Intrigliolo e Castel, 2004).

Esistono parecchi metodi per la misurazione dell'umidità nel suolo (Green e Topp, 1992), ma la maggior parte di questi fornisce una singola misura, relativa a un particolare punto, in un dato momento. Ciò rende estremamente difficile osservare come cambiano i vari parametri in funzione del tempo. La registrazione ad intervalli frequenti è ora disponibile grazie ai recenti sviluppi nel campo dell'elettronica e dell'informatica e le informazioni ottenute possono dunque essere utilizzate sia per scopi di ricerca che per la gestione pratica dell'irrigazione (Goldhamer *et al.*, 1999). Attualmente esistono diversi metodi considerati validi per il monitoraggio continuo dello stato idrico del suolo. Tali metodi sono basati sulla riflettometria nel dominio della frequenza o *frequency domain reflectometry* (Dean *et al.*, 1987; Paltineanu e Starr, 1997; Starr e Paltineanu, 1998a,b; Kelleners *et al.*, 2004; Vera, 2009). Le informazioni fornite dai sensori, sono utili per valutare la dinamica di assorbimento idrico da parte delle piante in tempo reale, cosa impossibile con altri dispositivi (Lukangu *et al.*, 1999; Vera, 2009).

Negli ultimi anni, la misurazione dello stato idrico del suolo risulta essere un compito meno tedioso di quanto non lo sia stato precedentemente; infatti i nuovi metodi includono l'acquisizione automatica dei dati (Evet *et al.*, 2002a,b). Diversi sensori disponibili sul mercato, riescono a lavorare in continuo, fornendo dati in tempo reale. Quanto detto rende più facile la stesura di piani irrigui più precisi (Starr e Paltineanu, 2002). Diversi studi hanno descritto l'applicazione, a diverse profondità, di sensori di capacitance. Questi hanno fornito informazioni sia sul contenuto di acqua nel suolo alle diverse profondità, sia sulla dinamica dell'acqua in tutta la zona interessata dalle radici

(Roberson *et al.*, 1996; Fares e Alva, 2000a; Fares e Polyakov, 2006; Vera, 2009). Diversi esperimenti sulla dinamica delle acque nel suolo si sono basati sul monitoraggio continuo del contenuto idrico del suolo attraverso sensori EnviroSCAN. Questi, infatti, possono offrire informazioni utili per l'irrigazione (Hanson *et al.*, 2000; Girona *et al.*, 2002; Thompson *et al.*, 2007; Vera, 2009). Le misurazioni del contenuto idrico del suolo possono variare in funzione del grado di umidità, salinità, temperatura, costante dielettrica, eventuali sacche d'aria a contatto con i sensori, etc. Esclusi gli studi di Hanson e Peters (2000) e Starr e Rowland (2007), i quali hanno messo a confronto i risultati di sonde di diversi modelli, ed esclusi anche gli studi di Mwale *et al.*, (2005) e Tomer e Anderson (1995), i quali hanno messo a confronto le sonde di capacitance con quelle a neutroni, vi sono poche informazioni sperimentali disponibili riguardanti la precisione dei vari dispositivi a disposizione per misurare il contenuto idrico del suolo delle colture arboree in condizioni di campo (Vera, 2009).

Diversi studi hanno messo a confronto le varie tecnologie utilizzate per la misura di contenuto d'acqua del suolo (Evelt *et al.*, 2002a; Chanzy *et al.*, 1998; Starr e Paltineanu, 1998; Fares e Alva, 2000a). Non vi è, tuttavia, nessun metodo migliore degli altri, in quanto ciascuno ha i suoi vantaggi e svantaggi in funzione delle informazioni richieste. Recentemente, alcuni ricercatori (Starr e Paltineanu, 1998; Chanzy *et al.*, 1998; Baumhardt *et al.*, 2000; Morgan *et al.*, 1999; Kelleners *et al.*, 2004; Vera, 2009) hanno utilizzato tecniche basate sulle sonde di capacitance come valida alternativa alle sonde a neutroni o ad altri metodi tradizionali di misurazione dello stato idrico del suolo (Vera, 2009). Le sonde EnviroSCAN (MVPs) e i sistemi di monitoraggio dello stato idrico del suolo sono stati ampiamente utilizzati come strumenti di gestione dell'irrigazione a partire dal 1991 (Buss, 1993) e, più recentemente, come strumento per

ricerche compiute su vaste aree (Starr e Paltineanu, 1998; Paltineanu e Starr, 2000; Fares e Alva, 2000b; Starr e Timlin, 2004; Starr e Rowland, 2007). Descrizioni dettagliate dell'MPCs e confronti con altre apparecchiature di misurazione sono discusse altrove (Paltineanu e Starr, 1997; Starr e Paltineanu, 2002; Starr e Rowland, 2007). Brevemente, le sonde di capacitance sono formate da una o più coppie di elettrodi cilindrici in metallo, montate su un'asta di sostegno. Questa viene a sua volta inserita all'interno di un tubo di accesso in cloruro di polivinile (PVC), installato in precedenza. Una misurazione accurata del contenuto di acqua nel suolo con queste sonde o con tutti i sensori elettromagnetici, richiede procedure di installazione tali da evitare qualunque modifica delle caratteristiche fisiche del suolo o la comparsa di sacche d'aria nei pressi delle sonde stesse (Starr e Paltineanu, 2002). Sono inoltre richieste equazioni di taratura specifiche per ogni singolo caso. La zona rappresentata dal sensore è un cilindro di terreno, di circa 10 cm di lunghezza lungo l'asse della sonda, con un anello di 10 cm intorno al suo diametro di 5 cm del tubo in PVC di accesso. Più sensori possono essere piazzati su una singola sonda, con il numero e lo spazio tra i sensori impostato dall'utente. Gli intervalli di tempo in cui avviene la lettura sono anch'essi flessibili e possono essere impostati dall'utente. Essi possono variare da 1 a 9 giorni. La misura e l'analisi di modelli di accumulo e assorbimento del *contenuto volumetrico di acqua nel suolo* (uv), sono stati utili per valutare e migliorare le pratiche di gestione dell'irrigazione al fine di ridurre le perdite per percolazione e aumentare l'iWUE (Intrinsic Water Use Efficiency) (Green *et al.*, 2006; Starr *et al.*, 2008).

Tuttavia, sono stati recentemente sviluppati modelli di diagnosi basati sulle misurazioni TDR, al fine di fornire degli indicatori su accumulo, umettamento, drenaggio e assorbimento di uv. Questi indicatori si rivelano utili per valutare le

prestazione del sistema di irrigazione, infatti valutano per prima cosa da quali zone del terreno la pianta assorba più acqua, quindi migliorano il sistema attraverso un aumento degli apporti nelle zone interessate.

L'assorbimento veniva presentato come una funzione sinusoidale adatta a basse e persistenti variazioni di ampiezza nell'uv. Comunque la componente dell'assorbimento è relativamente nuova e suscettibile di ulteriori evoluzioni. In particolare non esistevano misurazioni dirette della traspirazione della pianta (sap flow) per sostenere i risultati del modello di assorbimento (Starr *et al.*, 2008).

Le misurazioni fatte sul suolo hanno la grande limitazione di non essere sempre precise a causa della grande eterogeneità riscontrabile nel suolo a livello delle radici (Campbell e Campbell 1982; Charlesworth, 2005; Ben-Gal *et al.*, 2009). Questo tipo di misurazioni, che sono soggette a errori cumulativi, richiedono dunque più sensori e possono talvolta non essere rappresentative a causa del grado di eterogeneità del terreno (Jones, 1990, 2004; Schultz e Gruber, 2005; Moller *et al.*, 2007).

4.4 Irrigazione in “Deficit”

La somministrazione di acqua sotto le richieste evapotraspirative corrisponde ad un deficit irriguo controllato ed è una strategia ottimale attraverso la quale alle colture è consentito di mantenere un certo grado di deficit idrico e di riduzione della produzione. Tale tecnica viene denominata in diversi modi: irrigazione parziale, deficit idrico controllato, irrigazione di deficit di ET e irrigazione limitata. Le strategie di deficit idrico sono molto utilizzate in agricoltura. A parte la necessità di applicazione in caso di mancanza di acqua per l'irrigazione, il deficit idrico è consigliabile per una migliore

gestione delle colture in alcuni impianti, per es. in impianti ad alta densità per controllare il vigore, o quando l'obiettivo è quello di produrre oli di elevata qualità.

Il principale scopo è quello di migliorare l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua, riducendo l'irrigazione o eliminando l'irrigazione meno produttiva. Piuttosto che lavorare a minimizzare il deficit idrico delle colture, la gestione dell'irrigazione deve decidere quale livello di deficit permettere e deve riconoscere quando quel livello è stato raggiunto (English *et al.*, 1990). Per quantificare il livello di deficit idrico è necessario definire l'intera richiesta evapotraspirativa della coltura. Fortunatamente, da quando Penman (1948) ha sviluppato l'approccio combinato per calcolare ET, la ricerca sulle richieste idriche delle colture ha prodotto diversi metodi per il suo calcolo. Un indicatore dello stress idrico, capace di lavorare in condizioni di campo, è richiesto per l'applicazione corretta di qualsiasi strategia di deficit idrico. Tra loro, quelle che dipendono dall'indicatore di stress della pianta hanno grandi potenzialità: le misure del contenuto idrico del fusto, la temperatura della chioma, le variazioni del flusso floematico (sap flow = SF) e la variazione di diametro del fusto (stem diameter variation = SDV) (Fernández, 1997).

Anche se il mandorlo è una specie resistente all'aridità (Feres e Goldhamer, 1990; Hutmacher *et al.*, 1994; Torrecillas *et al.*, 1996), è risaputo che l'irrigazione rappresenta un aspetto molto importante per la quantità e qualità del prodotto (Castel e Feres, 1982; Prichard *et al.*, 1993; Nanos *et al.*, 2002). Lo stress idrico può influire negativamente su produzione e pezzatura della mandorla (Girona *et al.*, 1993) così come sulla carica produttiva (Goldhamer e Smith 1995; Goldhamer e Viveros, 2000; Esparza *et al.*, 2001). Per il mandorlo solitamente il deficit idrico è applicato durante il riempimento della mandorla (fase IV) grazie al suo moderato impatto sulla produttività

(Girona *et al.*, 1997; Goldhamer e Viveros, 2000). Gli stessi autori hanno riscontrato una leggera riduzione del peso secco della mandorla in condizioni di stress severo per un periodo di circa 50 giorni prima della raccolta, mentre in condizioni di stress idrico meno severo non è stato osservato alcun effetto (Girona *et al.*, 1997; Goldhamer e Viveros, 2000; Esparza *et al.*, 2001).

L'indirizzo attuale nell'irrigazione delle piante di olivo è quello di sviluppare diversi sistemi di deficit idrico in base ai quali l'acqua è fornita ad un tasso inferiore al bisogno di evapotraspirazione con contenute riduzioni di produzione (Goldhamer, 1999; Tognetti *et al.*, 2005).

Continuous Deficit Irrigation (SDI)

Applicazioni di una frazione fissa del tasso di evapotraspirazione attraverso la stagione irrigua.

Regulated Deficit Irrigation (RDI)

Il concetto di RDI è stato per la prima volta proposto da Chalmers *et al.*, (1981) e Mitchell e Chalmers (1982) per controllare la crescita vegetativa in impianti di pesco; essi scoprirono che il risparmio di acqua si poteva ottenere senza la riduzione della produzione. Sebbene simili risultati furono ottenuti per il pero (Mitchell *et al.*, 1989), in altri ambienti RDI non ebbe lo stesso successo (Girona *et al.*, 1993). Comunque, tale tecnica ha avuto successo in molte specie da frutto come mandorlo (Goldhamer *et al.*, 2000), pistacchio (Goldhamer e Beede, 2004), agrumi (Goldhamer e Salinas, 2000), melo (Ebel *et al.*, 1995), albicocco (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2000), uva da vino (Bravdo e Naor, 1996; McCarthy *et al.*, 2002), e olivo (Moriani *et al.*, 2003). Chalmers *et al.* (1981) sostiene che le tecniche di RDI sono basate solamente sulla riduzione

dell'apporto idrico durante certi periodi del ciclo annuale delle piante. Questi periodi sono selezionati quando i processi di crescita in corso sono meno sensibili alla carenza idrica e quando l'effetto derivato è vantaggioso per la produzione, come nel caso della riduzione di vigore negli impianti intensivi. Se RDI viene applicato correttamente, non ci sarà alcuna riduzione della produzione o di pezzatura del frutto (Tatura, 2000).

Low Frequency DI

Consiste nel lasciare il suolo asciutto fino a quando l'acqua prontamente disponibile viene consumata; successivamente il suolo viene irrigato fino alla capacità di campo e lasciato nuovamente asciugare. Il successo dell'irrigazione complementare dipende dalla capacità del suolo di trattenere l'acqua; questo comunque deve essere caratterizzato prima di applicare tale strategia.

Partial Rootzone Drying (PRD)

Si tratta di un approccio relativamente recente; il primo lavoro su PRD è quello di Dry *et al.* (1996). Lo scopo è quello di irrigare con un quantitativo di acqua simile a quello previsto da RDI ma conseguendo un miglior comportamento della coltura. Ciò si ottiene irrigando metà della porzione di terreno esplorato dalle radici (rootzone) mentre l'altra metà viene mantenuta asciutta, alternando l'irrigazione da una metà all'altra ogni 2-3 giorni. In teoria questo innesca un meccanismo di segnale radici-germogli che induce la chiusura degli stomi e migliora l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua. PRD è più costoso rispetto al tradizionale sistema di irrigazione localizzato, considerato che sono richiesti per ciascuna pianta due linee di irrigazione e la gestione è più complicata. L'utilizzo di questa tecnica negli impianti frutticoli è controversa: è stata osservata una

diversa risposta colturale di piante di diverse specie cresciute in contenitore, mentre in pieno campo si sono ottenuti scarsi risultati. Ciò può essere dovuto alla variabilità nella distribuzione dell'acqua nella rootzone di piante da frutto adulte (Naor, 2006).

Studi recenti hanno realizzato un esperimento dove il 50% di ET_c è stato fornito ad un albero di Manzanilla seguendo i metodi RDI e PRD (Fernández *et al.*, 2006). I risultati sono stati confrontati con la metodologia di irrigazione localizzata tradizionale dove si applicava il 100% di ET_c a piante simili. Dopo aver analizzato la conduttanza stomatica, il tasso di assimilazione netta, il potenziale idrico del fusto ed il flusso floematico in radici principali, fusto e branche principali, non è stato riscontrato alcun vantaggio agronomico di PRD rispetto RDI (Fernández *et al.*, 2006).

4.5 Irrigazione in deficit dell'olivo

L'olivicoltura intensiva delle regioni meridionali si trova oggi nella condizione necessaria di razionalizzare i principali fattori della produzione, fertilizzanti ed acqua, a causa sia dei mutati indirizzi comunitari che premiano tecniche agronomiche a basso impatto ambientale, sia per la minore disponibilità della risorsa idrica dovuta ad una riduzione delle precipitazioni; secondo Pierini (2000) negli ultimi dieci anni le piogge sono diminuite del 20% rispetto al periodo 1951-1991.

Inoltre nei sistemi intensivi, dove per favorire la meccanizzazione e per aumentare la produzione per unità di superficie si ritiene utile limitare le dimensioni delle piante, l'ottimizzazione della pratica irrigua può contribuire a contenere l'attività vegetativa della pianta senza alterarne la resa produttiva.

Tutte le tecniche di imposizione di uno stress controllato, per le diverse colture, si ispirano al principio fondamentale di restituire solamente una frazione della quota di

acqua persa per evapo-traspirazione, cercando di conseguire i seguenti effetti: controllo della crescita vegetativa e, di riflesso, degli inconvenienti che si possono creare per la formazione di chiome troppo dense; miglioramento della qualità produttiva; migliore efficienza di utilizzo dell'acqua d'irrigazione, normalmente espressa dal rapporto tra sostanza secca prodotta e volume di acqua erogato (Santalucia G. *et al.*, 2007).

Considerata la capacità di adattamento a condizioni di carenza idrica dell'olivo, le strategie di irrigazione in deficit risultano interessanti per la loro possibile applicazione nella gestione della tecnica irrigua.

In alcuni studi, il deficit idrico controllato o regolato ha previsto un apporto idrico ridotto e/o sospeso nella fasi fenologiche meno sensibili alla carenza d'acqua, garantendo, invece, un adeguato rifornimento idrico nelle fasi più importanti per la produzione. Prove sperimentali condotte in oliveti irrigui in California hanno mostrato che la riduzione degli apporti irrigui fino al 25% rispetto al fabbisogno stimato della coltura, non ha avuto effetti negativi sulla quantità e sulla qualità della produzione di olive da tavola della cultivar Manzanilla (Goldhamer, 1999). Altri esperimenti effettuati in Spagna, su un impianto della cultivar Arbequina, hanno mostrato che l'irrigazione in deficit con volumi pari al 50% e al 75% della tesi pienamente irrigata (100% E_t), durante il periodo di accrescimento del frutto (da tre settimane dopo l'allegagione a prima dell'inizio dell'invaiaitura), non diminuiva la produzione in olive o in olio e che era quindi possibile risparmiare fino al 35% dell'acqua nel corso dell'intera stagione irrigua (Alegre, 2001).

Un'altra strategia per migliorare l'efficienza dell'acqua d'irrigazione è la somministrazione deficitaria durante tutta la stagione irrigua (D'Andria 2004). Tale tipo di pratica consiste nel ridurre i quantitativi di acqua irrigua rispetto al fabbisogno

colturale, comunque in modo da non provocare il crollo della produttività. Esperienze su questo tipo di gestione dell'irrigazione hanno messo in evidenza che la riduzione al 66% della dose ottimale d'acqua irrigua non comporta alcuna diminuzione della produzione rispetto a piante pienamente irrigate; inoltre, anche solo il 33% del fabbisogno irriguo ha mostrato notevoli vantaggi di produzione rispetto alla non irrigazione, per il maggior numero di frutti prodotto e per il maggiore peso medio degli stessi (Patumi *et al.*, 1999; D'Andria *et al.*, 2000).

Nella gestione della pratica d'irrigazione in deficit è importante evitare che lo stress diventi eccessivo o troppo prolungato perché ciò potrebbe influire sullo sviluppo del frutto e sull'accumulo di olio; dunque, è indispensabile conoscere gli effetti della carenza idrica sulla coltura ed individuare le fasi fenologiche meno sensibili.

Dal punto di vista vegetativo l'olivo ha due fasi di accrescimento: un ciclo primaverile ed uno autunnale; in estate, infatti, si verifica un periodo di stasi vegetativa dovuto principalmente alle alte temperature. Le fasi di sviluppo del frutto, invece, si verificano durante i mesi estivi. Il ciclo degli organi fruttiferi inizia l'anno precedente, con l'induzione florale che coincide con l'accrescimento del frutto, seguito dalla iniziazione florale che avviene prima del riposo invernale. Dopo il riposo invernale, quando le temperature lo permettono, si sviluppano le infiorescenze (accrescimento delle mignole) e successivamente inizia il periodo di fioritura ed allegazione. Una volta allegato il frutto, questo inizia a crescere, e nelle prime fasi del suo accrescimento si verifica l'indurimento del nocciolo e successivamente l'accrescimento della drupa e l'accumulo di olio. Il ciclo termina con la maturazione dell'oliva.

Durante le fasi di accrescimento vegetativo e di fioritura è importante che non ci sia deficit idrico, poiché influenzerebbe sia la fertilità dei fiori e di conseguenza il

numero dei frutti (Spiegel, 1955), sia l'accrescimento dei rami che sono importanti per la massa fogliare dell'anno e per la produzione dell'anno successivo (Samish e Spiegel, 1961).

All'inizio dell'accrescimento del frutto e nelle prime fasi dell'indurimento del nocciolo, si ha una prima caduta fisiologica dei frutti, prevalentemente provenienti da fiori che non sono stati correttamente fecondati o che l'albero non può mantenere in funzione delle sue riserve (Rallo e Fernández-Escobar, 1985). Per ridurre l'entità di questa caduta è importante che l'olivo giunga in questa fase nel migliore stato nutrizionale possibile (Spiegel, 1955).

Le fasi prima dell'invasatura e maturazione sono momenti critici nei quali l'olivo è anche capace di recuperare l'accrescimento dei frutti e l'accumulo di olio, specialmente quando durante l'estate si è avuta una significativa riduzione di acqua (Milella e Dettori, 1987). È importante che in queste epoche ci sia una disponibilità idrica adeguata, anche in modo da poter accumulare riserve nutritive per l'anno successivo prima dell'inizio dei mesi freddi (Spiegel, 1955).

La maggiore produttività degli oliveti irrigati è dovuta, oltre che a un maggiore calibro finale dei frutti, anche a una più elevata persistenza delle drupe all'albero. Infatti, le piante che durante la stagione secca hanno subito forti stress idrici, soprattutto nelle annate di carica, non riescono a soddisfare il fabbisogno di acqua e assimilati di tutti i frutti e questo spesso si traduce in un intenso flusso di cascola in pre-raccolta (Inglese *et al.* 1996). Oltre che incrementando i tassi di crescita, i frutti rispondono a diversi regimi idrici modificando anche la fenologia di maturazione. Infatti, i frutti che si sviluppano su piante non irrigate maturano molto in anticipo (fino a quattro settimane) rispetto a quelli allevati con elevati regimi irrigui. Inoltre, il lasso di tempo

che intercorre tra l'inizio dell'invasatura e la totale colorazione dell'epidermide è molto più breve in condizioni di stress idrico (Inglese *et al.* 1996).

La riduzione dei volumi idrici determina anche alcuni benefici dal punto di vista dell'equilibrio vegeto-riproduttivo dell'albero. Con il deficit idrico controllato si ha un migliore controllo della crescita vegetativa della chioma e un più equilibrato sviluppo dell'apparato radicale che tende ad approfondirsi ed espandersi lateralmente. Un apparato radicale esteso offre vantaggi sia dal punto di vista dell'assorbimento degli elementi minerali e dell'acqua che in termini di ancoraggio dell'albero.

L'apporto di acqua stimola anche la lipogenesi; Servili *et al.* (2007) hanno trovato che irrigando un oliveto si ottengono maggiori produzioni di olio. Questi autori hanno osservato che basta mantenere la coltura a uno stato di deficit controllato (predawn leaf water potential (PLWP) compreso tra -1MPa e -3,3 MPa) per avere incrementi nella produzione di olio fino al 25%. Inoltre, l'irrigazione dell'oliveto con questo criterio permette di ottenere le stesse performance produttive di un oliveto "fully irrigated" (PLWP > -1 MPa) risparmiando fino a 750 m³ per ettaro all'anno.

Riducendo gli apporti irrigui si aumenta anche l'estraibilità dell'olio in fase di trasformazione (Girona, 2002). Alegre *et al.* (2001) hanno evidenziato che riducendo la quantità di acqua somministrata con l'irrigazione estiva, si ha un aumento del rendimento in olio rispetto ad alberi irrigati col 100% dell'ET_c, malgrado tutti i frutti avessero un simile contenuto in materia grassa per peso secco di frutto. Gli autori attribuiscono questo effetto al differente contenuto di acqua nei frutti, in quanto l'acqua contenuta nel frutto determinerebbe la formazione di emulsioni durante il processo di estrazione, diminuendo la quantità di olio ottenuto (Pastor Muñoz-Cobo *et al.* 2005).

5. DISPONIBILITÀ IDRICA E QUALITÀ DELLE PRODUZIONI

OLIVICOLE

L'irrigazione è una pratica ormai piuttosto diffusa nell'olivicoltura italiana. In passato l'irrigazione era utilizzata quasi esclusivamente per l'olivicoltura da mensa, ma negli ultimi anni rappresenta un'innovazione importante per l'olivicoltura da olio.

Allo stato attuale la superficie olivicola irrigata rappresenta una quota non marginale dell'olivicoltura italiana. Una recente indagine condotta dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria indica che l'olivicoltura irrigua si estende su 165.545 ettari nelle regioni meridionali e insulari, con un'incidenza sulla superficie olivicola totale pari al 14,1%, con punte del 23% per la Puglia e del 21% per la Sardegna (INEA, 1999).

Numerosi sono i motivi della diffusione dell'olivicoltura irrigua in Italia; l'irrigazione dell'oliveto consente infatti di aumentare la produzione di olive e di olio per albero, la pezzatura dei frutti, il rapporto polpa/nocciolo; inoltre, contribuisce a mitigare l'alternanza di produzione, con le positive ricadute sulla qualità dell'olio (Chartzoulakis *et al.*, 1992; Goldhamer *et al.*, 1994; Michelakis *et al.*, 1995; Pannelli et Alfei, 1996).

L'entità dei vantaggi ottenuti con l'irrigazione dipende da fattori climatici, pedologici e colturali. Nei climi aridi dell'Italia meridionale, l'irrigazione può consentire di raddoppiare la produzione di olio, mentre in quelli più freschi dell'Italia centrale l'incremento produttivo è più contenuto (Gucci, 2004).

È comunemente accettato che il frutto dell'olivo cresce secondo una curva a doppia sigmoide, con due periodi distinti di crescita elevata intervallati da una fase di

crescita meno marcata (Lavee, 1986; Rallo e Cuevas, 2001). In realtà, sia fattori ambientali (alte temperature, piovosità), che agronomici (carico di frutti, irrigazione) possono alterare l'andamento della crescita dell'oliva (Loupassaki *et al.*, 1993). In condizioni ambientali non limitanti, come nel caso di piante irrigate, l'accrescimento del frutto presenta un andamento quasi lineare con una modesta flessione nella fase centrale (Costagli, 2001). Tuttavia, le condizioni prevalenti nella gran parte delle prove in campo, ed in particolare la scarsa disponibilità idrica nel suolo nel periodo estivo, determinano un andamento a doppia sigmoide, tanto più evidente quanto più severo è il deficit idrico e prolungato il periodo di siccità. Il rallentamento della crescita del frutto, nelle drupacee, è stato attribuito all'accentuarsi del processo di sclerificazione dell'endocarpo che porta al suo indurimento (Tombesi, 1994; Inglese *et al.*, 1999).

Nelle drupacee, la prima fase di crescita rapida è di solito associata al prevalere di processi di divisione cellulare, mentre la crescita durante il terzo stadio della doppia sigmoide è attribuita a processi di distensione cellulare (Costagli *et al.*, 2003). In realtà, divisione, distensione e differenziazione cellulare avvengono contemporaneamente e tendono a sovrapporsi durante lo sviluppo del frutto (Manrique e Rapoport, 1999).

Nell'olivo si ritiene che un periodo di deficit idrico durante il primo stadio di crescita del frutto diminuisca le dimensioni dei frutti alla raccolta, agendo principalmente sui processi di divisione cellulare; mentre, il deficit idrico successivamente all'indurimento del nocciolo sembra agisca soprattutto sul processo di distensione cellulare (Beede e Goldhamer, 1994). In condizioni ambientali non limitanti (pianta in irriguo), la curva di crescita non si presenta con una doppia sigmoide ma un andamento quasi lineare. La prima fase di crescita elevata del frutto è caratterizzata da una intensa moltiplicazione cellulare, mentre nella seconda si ha principalmente un

accrescimento per distensione. Queste fasi avvengono contemporaneamente e tendono a sovrapporsi durante lo sviluppo del frutto (Gucci *et al.*, 2001). Durante la moltiplicazione cellulare, in cui si ha una elevata attività metabolica, forte assorbimento di azoto, e intensa attività respiratoria, è importante un adeguato approvvigionamento idrico, in mancanza del quale si ha un rallentamento nella formazione di cellule, causando una minore dimensione dei frutti, oltre che alla cascola dei frutticini (Natali, 1988). La pianta, alla insufficiente disponibilità di assimilati, reagisce con un meccanismo di autodifesa eliminando prima i frutti e poi le foglie (Giulivo, Xiloyannis, 1988).

La produzione di olio per pianta tende ad aumentare negli oliveti irrigui (Alegre, 2001), anche se la percentuale di olio rapportata al peso fresco delle drupe risulta inferiore a quella riscontrata da olive ottenute senza irrigazione (Ricci, 2003).

Diversi ricercatori hanno studiato l'influenza che l'irrigazione può avere sulla composizione chimica e sulle caratteristiche organolettiche dell'olio d'oliva, ma nonostante ciò i risultati ottenuti non sono stati sempre concordanti. Numerosi fonti riportano che il regime idrico a cui le piante sono soggette hanno poche ripercussioni sui parametri merceologici degli oli (acidità libera, numero di perossidi, indici spettrofotometrici) (Patumi *et al.* 2002; Servili *et al.* 2007); mentre è emerso in molti studi un effetto della disponibilità di acqua sulla composizione fenolica e sulla frazione volatile, che sono i fattori a cui le proprietà salutistiche e sensoriali di un olio fanno particolarmente riferimento.

Gli studi si sono soffermati maggiormente su alcuni aspetti determinanti per la qualità dell'olio quali grado di acidità, contenuto in polifenoli, assorbanza nell'ultravioletto (K270) e numero di perossidi. Solamente per quest'ultimo parametro,

diversi autori sono d'accordo nel segnalare che non vi è nessuna influenza da parte dell'irrigazione (Dettori e Russo, 1993; Salas *et al.*, 1997; Patumi *et al.*, 1999; Faci *et al.*, 2000).

In relazione al *grado di acidità*, solo Salas *et al.* (1997) hanno osservato un valore superiore negli oli provenienti dalle piante che avevano soddisfatto completamente il proprio fabbisogno idrico.

Risultati diversi si sono presentati sull'influenza dell'irrigazione sul profilo acidico dell'olio di oliva. Alcuni autori non hanno evidenziato differenze significative nel contenuto in acidi grassi degli oli in funzione del trattamento di irrigazione (Inglese *et al.*, 1996; Patumi *et al.*, 1999), mentre altri come Salas *et al.* (1997) e Faci *et al.* (2000) hanno osservato una minore percentuale di acido palmitico e stearico negli oli provenienti da piante non irrigate.

Risultati contrastanti, inoltre, sono emersi per il rapporto fra acidi grassi insaturi e acidi grassi saturi nell'olio in funzione dell'irrigazione. Da un lato, alcuni autori hanno osservato un minore valore di questo rapporto negli oli provenienti da piante non irrigate (Dettori e Russo, 1993; Faci *et al.* 2000), mentre Salas *et al.* (1997) hanno osservato che il rapporto fra frazione insatura e satura diminuisce all'aumentare dei quantitativi d'acqua di irrigazione.

All'aumentare della quantità di acqua somministrata con l'irrigazione, si verifica un incremento lineare dell'*assorbanza* a 270 nm (Faci *et al.* 2000); tale dato non è in accordo con quanto riportato da Salas *et al.* (1997) per i quali nessuna differenza significativa è emersa in funzione di diversi volumi irrigui somministrati, mentre hanno osservato un minore valore del parametro K270 negli oli provenienti da piante non irrigate.

Per ciò che riguarda i *polifenoli*, che svolgono una funzione antiossidante e conferiscono all'olio le tipiche note di amaro e piccante, la maggioranza dei lavori editi concordano nell'affermare che la loro concentrazione nell'olio diminuisce man mano che aumenta l'acqua somministrata (Beltrán *et al.*, 1995; Salas *et al.*, 1997; Patumi *et al.*, 1999; Faci *et al.*, 2000), benché i lavori di Dettori e Russo (1993) e di Inglese *et al.* (1996) riportano un maggiore contenuto di polifenoli negli oli provenienti da piante più irrigate. Tesi controverse queste, sulle quali la ricerca sta lavorando per arrivare quanto prima alla possibilità di verificare se il contenuto in polifenoli, in relazione alla pratica irrigua, sia dovuto a una diversità del processo di maturazione dell'oliva o a un differente biochimismo nella loro sintesi.

Attualmente, vi è molto interesse nell'individuare gli eventuali effetti dell'irrigazione sui singoli composti della frazione fenolica e sulle componenti minori dell'olio per la rilevanza che questi hanno nella definizione delle caratteristiche nutraceutiche e organolettiche del prodotto finale.

Lo stato idrico delle piante ha anche un marcato effetto sulla concentrazione dei *composti volatili*. Queste sostanze sono prodotte via lipossigenasi durante il processo di estrazione meccanica e rappresentano la principale classe di composti responsabili dei sentori di "fruttato", "erba tagliata", "floreale" e di tutte le altre note olfattive che costituiscono l'aroma di un olio extravergine di oliva. In particolare la concentrazione di aldeidi e alcoli C6, responsabili degli attributi di "fruttato" e "verde", risultano essere, al contrario dei polifenoli, positivamente influenzati dall'irrigazione (Angerosa *et al.*, 2004).

6. SCOPO DELLA TESI

Sulla base di quanto è avvenuto nella frutticoltura, anche per l'olivo si rende necessario rinnovare gli impianti, intensificandoli, per consentire la riduzione del periodo improduttivo, aumentare le produzioni unitarie e, in funzione della destinazione del prodotto, meccanizzare integralmente o, almeno, agevolare la raccolta (Fontanazza *et al.*, 1995; Tous *et al.*, 1999).

Per rilanciare lo sviluppo dell'olivicoltura diviene, pertanto, indispensabile disporre di genotipi e/o tecniche agronomiche che contribuiscano a contenere la crescita vegetativa delle piante. In tale ambito di ricerca, per gran parte delle specie frutticole, l'attività svolta a livello nazionale ed internazionale è stata in grado nel corso degli anni di mettere a punto tecniche di gestione colturale che sono riuscite, spesso in modo marcato, a ridurre l'attività di crescita. In particolare, l'ottimizzazione della pratica irrigua, attraverso la riduzione dei volumi irrigui, ha permesso in molte specie arboree da frutto di contenere l'attività vegetativa della pianta senza alterarne la resa produttiva.

Un eccesso d'irrigazione, oltre a causare sprechi ingiustificati, può infatti provocare effetti indesiderati quali un inopportuno rigoglio vegetativo durante il periodo di ingrossamento delle drupe, una forte emissione di succhioni e una minore resistenza alle basse temperature invernali.

Numerose ricerche, volte a razionalizzare l'uso dell'irrigazione sono state condotte in California su oliveti per la produzione di olive da mensa (Goldhamer, 1999). I risultati di queste sperimentazioni hanno evidenziato come la restituzione di livelli irrigui inferiori all'evapotraspirato, pur mostrando una riduzione dell'attività vegetativa

delle piante, non abbiano pregiudicato la produzione sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo con un risparmio idrico ed economico significativo.

Negli ultimi anni, con l'introduzione della pratica irrigua anche nell'olivicultura da olio, numerose ricerche sono state intraprese per valutare gli effetti del deficit idrico controllato sulla produttività delle piante, sul tasso di crescita dei frutti, sulla fenologia di maturazione, sull'accumulo di grasso nei vacuoli e, infine sulle caratteristiche qualitative degli oli (Inglese *et al.* 1996; Patumi *et al.* 1999 e 2002; Motilva *et al.* 2000; Moriana *et al.* 2003; Gucci *et al.* 2007; Servili *et al.* 2007).

Malgrado siano numerose le esperienze di RDI condotte nel mondo sull'olivo risultata che le indagini sono per lo più state effettuate su impianti tradizionali, contraddistinti da bassa o media densità e basati su forme di allevamento a vaso o a monocono (Gucci; Xiloyannis).

Minore risulta invece la frequenza delle ricerche condotte sugli impianti superintensivi (Tovar *et al.* 2002) che, caratterizzati da un elevato Leaf Area Index (LAI), presentano una elevata richiesta evapotraspirativa e quindi fabbisogno di acqua.

Poste tali premesse, l'obiettivo della presente attività di ricerca è stato quello di valutare la risposta di piante di olivo della cultivar "Arbequina", allevate secondo il modello superintensivo, a diversi livelli di irrigazione, con particolare riguardo agli effetti causati da ridotti apporti irrigui, sull'attività produttiva e su alcuni parametri eco-fisiologici delle piante.

7. MATERIALI E METODI

Le osservazioni sono state condotte negli anni 2008 e 2009, presso l'azienda agricola Gandolfo ubicata in contrada Scacciaiazzo, nel territorio del comune di Marsala (TP). L'azienda è estesa 9 ettari di cui 5 destinati ad oliveti tradizionali con le cultivar Biancolilla, Cerasuola, Nocellara del Belice e piante di Giarraffa utilizzate come impollinatori; sui restanti 4 ettari circa, è stato realizzato un impianto superintensivo con le varietà spagnole Arbequina e Arbosana, la varietà greca Koroneiki e la varietà autoctona Biancolilla.

Da un punto di vista pedologico l'oliveto insiste su una tipologia di suolo denominato "terre rosse mediterranee" in cui, oltre all'elevato tenore di calcare attivo, si ha una prevalenza della componente sabbiosa.

L'impianto superintensivo, esteso 3,44 ha, è stato costituito con 400 piante di Arbosana, 80 di Koroneiki e da **6076** piante di **Arbequina**. Altri 7000 m² sono stati impiantati con 732 piante di Biancolilla, che sono state disposte alle distanze di 5 x 2,5 m. con densità d'impianto di circa 800 piante ad ettaro.

Oggetto del presente studio sono state piante autoradicate della cultivar Arbequina, impiantate nel 2004 e disposte sul terreno secondo un sesto di 1,5 x 3,5 m, pari a una densità di impianto di circa 1.900 piante ad ettaro.

L'oliveto è dotato di un sistema di irrigazione con ali gocciolanti con irrigatori in linea di tipo autocompensante da 1,6 l/ora; gli irrigatori sono disposti alla distanza di 50 cm l'uno dall'altro, quindi ogni pianta viene servita da 3 gocciolatori. Sulle ali gocciolanti sono stati applicati dei contatori per la misurazione della quantità di acqua erogata, nonché delle elettrovalvole comandate da timer, per la gestione delle diverse tesi.

La richiesta irrigua (IR), per ciascun anno, è stata calcolata seguendo la procedura suggerita nel quaderno FAO n. 56 (Allen *et al.*, 1998) con l'ausilio del software CropWat 8.0 reperibile gratuitamente dal sito della FAO.

In dettaglio, la richiesta irrigua (IR) è stata calcolata a partire da dati di evapotraspirazione, piogge effettive e riserva di acqua facilmente disponibile nel suolo. La stima della richiesta irrigua ha tenuto conto anche della riserva idrica (R) cioè il contenuto di acqua accumulata nel profilo di suolo esplorato dalle radici che può essere consumato dalla coltura. Allo scopo di evitare stress alle piante, il contenuto idrico del suolo non deve mai essere inferiore all'acqua facilmente disponibile (AFD). Quando in un determinato periodo si verifica che $ET_c < P_e$, la riserva del profilo di suolo considerato si "ricarica" con gli apporti idrici naturali, al contrario, se è $ET_c > P_e$, si ha una diminuzione della riserva. Le precipitazioni effettive (P_e) rappresentano l'acqua di pioggia utilizzabile dalla coltura.

Come è noto, l' ET_c può essere calcolata come segue (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = K_c * K_r ET_o \quad (1)$$

Dove:

ET_c = Evapotraspirazione della coltura [$mm\ d^{-1}$],

K_c = Coefficiente colturale,

K_r = coefficiente di copertura del suolo,

ET_o = Evapotraspirazione di riferimento [$mm\ d^{-1}$].

A tal fine i valori di ET_o (evapotraspirazione di riferimento), di temperatura massima e minima e di piovosità, sono stati forniti dal Servizio Informativo Agrometeorologico della Sicilia (SIAS), stazione di Marsala (TP) per gli anni 2008 e 2009.

Per quanto concerne la scelta dei coefficienti colturali (K_c) specifici per l'olivo, sono stati reperiti in letteratura (Orgaz e Fereres, 1997; Allen *et al.*, 1998; Testi *et al.* 2004; Milella e Dettori, 1986; Xiloyannis *et al.*, 1999). Va ricordato, inoltre, che tali valori variano durante l'anno in relazione alle esigenze idriche degli alberi e risultano massimi durante le fasi fenologiche di fioritura, allegagione, sviluppo vegetativo e accrescimento delle drupe, mentre sono più bassi durante le fasi di indurimento del nocciolo e stasi vegetativa. Per il calcolo del IR nei due anni di prova sono stati utilizzati K_c variabili compresi tra 0,30 e 0,65. Per quanto riguarda il coefficiente di copertura del suolo (K_r) è stato utilizzato il valore di 0,65, stimato empiricamente sulla base delle dimensioni delle piante. In appendice si riporta il dettaglio del calcolo della richiesta irrigua (IR) della coltura nel 2008 e nel 2009. Per quanto riguarda la tesi non irrigata, a causa dell'eccessiva disidratazione delle piante, registrata durante la stagione calda, si è reso necessario intervenire con delle irrigazioni di soccorso in entrambi gli anni di osservazione.

Nel complesso sono stati posti a confronto 5 diversi trattamenti rappresentati da un controllo asciutto e 4 diversi trattamenti irrigui schematizzati in tabella 1. È stato adottato lo schema sperimentale a blocchi randomizzati, complessivamente 5, costituiti ciascuno da 50 piante. All'interno di ogni blocco un albero per ciascuna tesi irrigua è stato oggetto dei rilevamenti in programma.

Tabella 1 - Volume di acqua (mm) distribuito per le diverse tesi, richiesta irrigua calcolata (Allen et al, 1998) e percentuale di acqua somministrata rispetto alla richiesta irrigua (IR).

<i>Anno</i>	<i>Volume irriguo effettivo (mm)</i>	<i>Richiesta Irrigua (IR) calcolata (mm)</i>	<i>Acqua somministrata rispetto al IR (%)</i>
2008	271,4	270	100
	221,4		82
	190,4		70
	160		59
	6		2
2009	175,5	234	75
	132,0		56
	87,3		37
	43,6		19
	34,0		14

Accrescimento dei frutti

Con cadenza settimanale a partire dal mese di agosto per l'anno 2008 e dal mese di luglio per il 2009 e fino alla raccolta, è stato monitorato l'accrescimento dei frutti e precisamente diametro equatoriale, longitudinale e trasversale della drupa.

Accrescimento della vegetazione

Su 2 rami per pianta precedentemente etichettati, a partire dal mese di aprile e fino alla fine di luglio, è stato monitorato con cadenza settimanale, l'accrescimento della nuova vegetazione.

Produzione e caratteristiche qualitative dei frutti

Alla raccolta è stata pesata la produzione a pianta; il dato è stato messo in relazione all'area della sezione del tronco (AST) per ottenere una misura dell'efficienza produttiva.

Partite di frutti provenienti da ciascuno dei trattamenti a confronto, sono stati moliti subito dopo la raccolta, presso il frantoio aziendale. È stata calcolata la resa in olio e, sugli oli estratti, sono state eseguite le analisi qualitative chimico-fisiche adottando le procedure indicate negli specifici protocolli previsti.

Potenziale idrico xilematico

Per la misurazione è stata utilizzata una camera a pressione (PMS Instrument Co., Corvallis – Oregon). I rilievi di potenziale idrico (Ψ_{SWP}) sono stati effettuati durante tutta la giornata a partire dall'alba (predawn) ad intervalli di 3 ore su foglie non traspiranti che erano state precedentemente insacchettate con un film plastico e ulteriormente ricoperte da un foglio di alluminio, seguendo la metodologia descritta da Begg e Turner (1970). Sono state eseguite due sessioni di misura per ciascun anno, precisamente: il 4 settembre ed il 9 ottobre nel 2008; l'11 agosto e il 1 settembre nel 2010.

Scambi gassosi della foglia

In occasione di ciascun rilievo di potenziale idrico sono stati misurati i principali parametri ecofisiologici quali: fotosintesi netta (A_{max} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e conduttanza stomatica alla H_2O (g_s , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Inoltre, è stata calcolata l'efficienza dell'uso dell'acqua intrinseca (iW.U.E., $\mu\text{mol mol}^{-1}$) come rapporto tra fotosintesi netta e conduttanza stomatica (g_s).

Per tutti i rilievi di scambi gassosi fra pianta e atmosfera, è stato utilizzato un sistema portatile IRGA (analizzatore di gas all'infrarosso) a ciclo aperto CIRAS-2 (PP-System) in grado di misurare i flussi e le concentrazioni di H_2O e CO_2 in entrata e uscita

da una *cuvette* contenente una porzione di foglia da analizzare. Per il calcolo sono state utilizzate le equazioni proposte da Von Caemerer and Farquhar (1981).

I rilievi sono stati effettuati in diversi momenti della giornata e precisamente: nel 2008 alle 11.30 (ora 1) e alle 15,30 (ora 2); nel 2009 alle 9,30 (ora 1), 12,00 (ora 2), 14,30 (ora 3) e 17,30 (ora 4).

Analisi dei dati

I dati sono stati analizzati statisticamente con il pacchetto Systat 10. L'approccio utilizzato ha riguardato sia l'analisi della varianza (ANOVA) e, quando possibile, l'analisi della regressione. La separazione delle medie, per un valore di $p < 0,05$, è stata effettuata applicando il test *post-hoc* di Tukey HSD.

8. RISULTATI

I parametri climatici hanno mostrato in entrambi gli anni, un deficit idrico severo durante i mesi estivi (fig.1 e 2). Nessuna pioggia sopra la soglia di 4 mm, infatti, è stata osservata dalla prima settimana di maggio fino alla prima di settembre nell'anno 2008.

Parzialmente differente è stato l'andamento pluviometrico nel 2009; in questo anno sono stati registrati più di 20 mm di pioggia poco prima dell'inizio della stagione secca che è durata da giugno fino alla fine di agosto. Le prime precipitazioni autunnali si sono verificate dalla prima decade di settembre fino a tutto il mese di ottobre rispettivamente con 99 mm e 136 mm nel 2009, 40 mm e 80 mm nel 2008. Tali differenze hanno comportato *Richieste irrigue* (IR), calcolate secondo la metodologia FAO quaderno 56, di 270 mm nel 2008 e 234 mm nel 2009 (tabella 1).

In entrambi gli anni la richiesta evapotraspirativa dell'ambiente (ET_0) è stata mediamente superiore a 5 mm al giorno per tutto il mese di agosto per poi diminuire, con il manifestarsi dei primi eventi piovosi, in modo graduale sino a 2 mm circa alla fine di ottobre (fig.1).

Nei mesi primaverili ed autunnali le temperature giornaliere hanno mostrato un'elevata escursione termica, con massime di circa 25°C e minime di 10 °C (Fig. 1). Nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) le temperature minime sono risultate di circa 15°C, mentre le massime hanno mantenuto mediamente valori di 32°C con picchi anche di 37 °C.

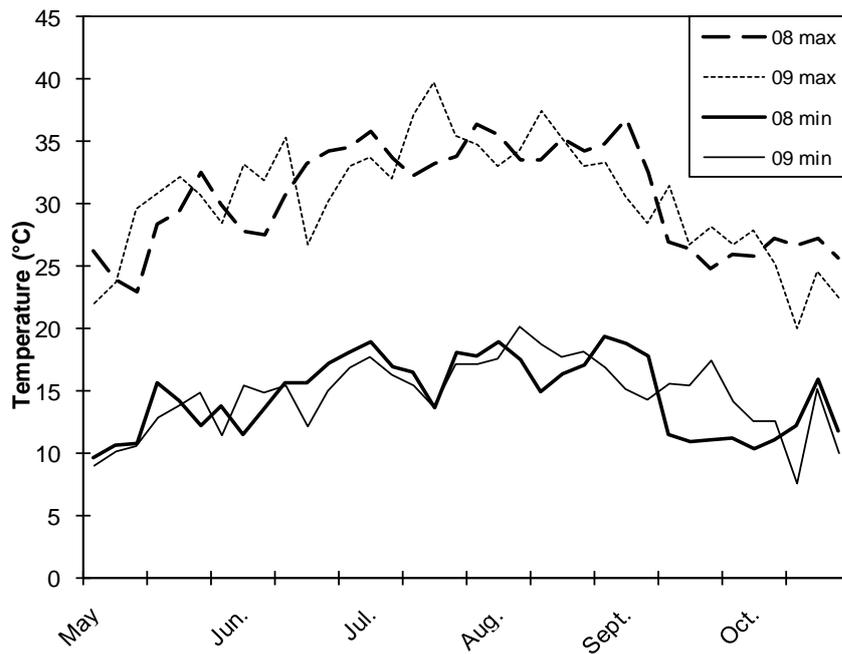


Figura 1 – Andamento stagionale delle temperature massime e minime registrate nel corso del 2008 e del 2009 nella stazione di Marsala (TP).

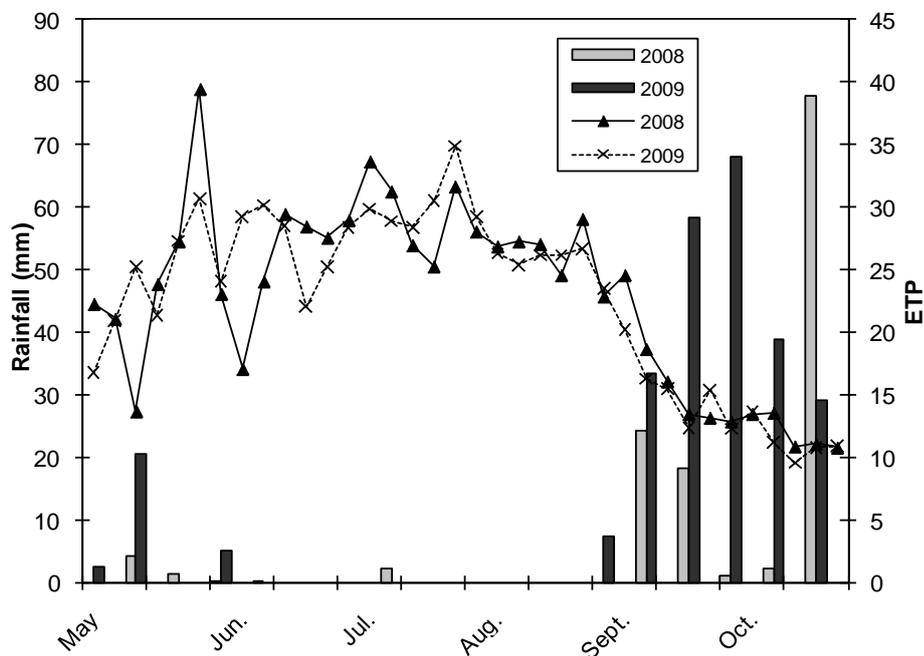


Figura 2 – Andamento stagionale dell'ET₀ (mm) e delle precipitazioni (mm) negli anni 2008 e 2009 nella stazione di Marsala (TP). (ET_p espressa come la sommatoria di 5 giorni)

La produzione è stata influenzata positivamente dal regime idrico adottato (fig. 3). In entrambi gli anni, infatti, è stata osservata una correlazione positiva tra quantità di acqua somministrata con l'irrigazione e produttività delle piante. In particolare, nella stagione 2008, le piante a cui è stato restituito il 70% dell'IR hanno fatto registrare un incremento di produzione di circa il 37% rispetto alle piante non irrigate, l'impiego di volumi di acqua superiori non ha determinato alcun incremento significativo della produzione media per pianta (figg. 3 e 7a). Sebbene nel 2009, alla luce anche dei risultati ottenuti l'anno precedente, non è stata prevista la restituzione del 100% dell'IR, la produttività è risultata complessivamente maggiore rispetto al 2008 con un incrementi percentuali di circa il 35%. Le produzioni medie per ettaro si sono attestate su valori di circa 80-100 q.li/ha nelle tesi 14%; 19%; e 37%, mentre sensibilmente superiore circa 140 q.li/ha, nelle piante sottoposte ai trattamenti irrigui più elevati (56% e 75% dell'IR) (fig. 3).

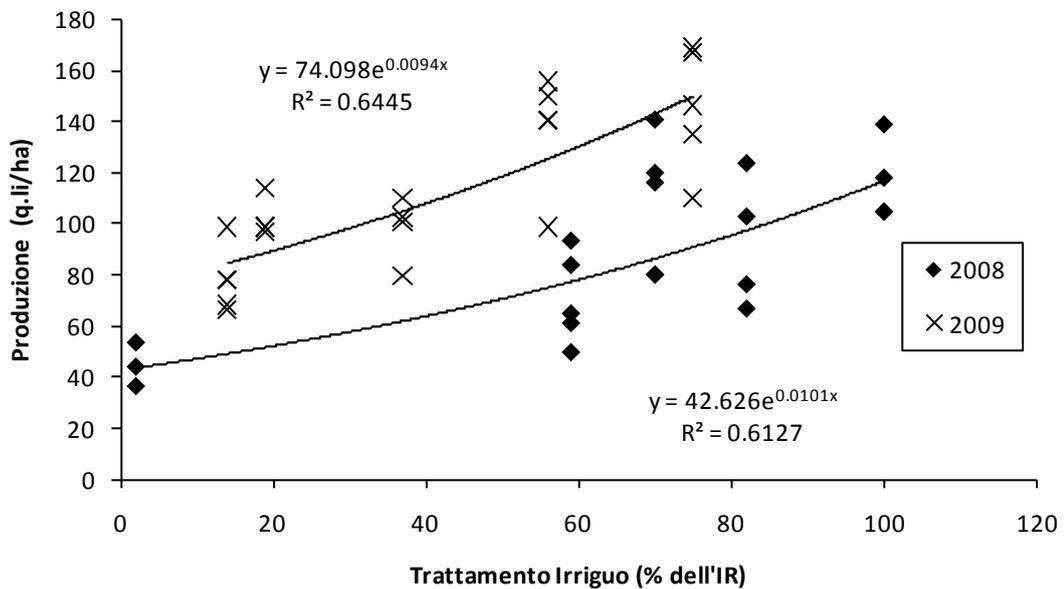


Figura 3 – Relazione tra produzione per ettaro (q.li/ha) e quantità di acqua restituita con l’irrigazione (% rispetto alla Richiesta Irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina.

In termini di efficienza produttiva (fig. 4) le differenze tra i due anni di osservazioni sono apparse meno marcate rispetto a quelle evidenziate dalle produzioni. In ogni caso, anche per quanto concerne l’efficienza produttiva è stata registrata una relazione positiva con il trattamento irriguo. In entrambi gli anni, i valori massimi (circa 0,22 kg/cm²) sono stati osservati nelle piante a cui è stata restituita più del 60% della richiesta irrigua (fig. 4).

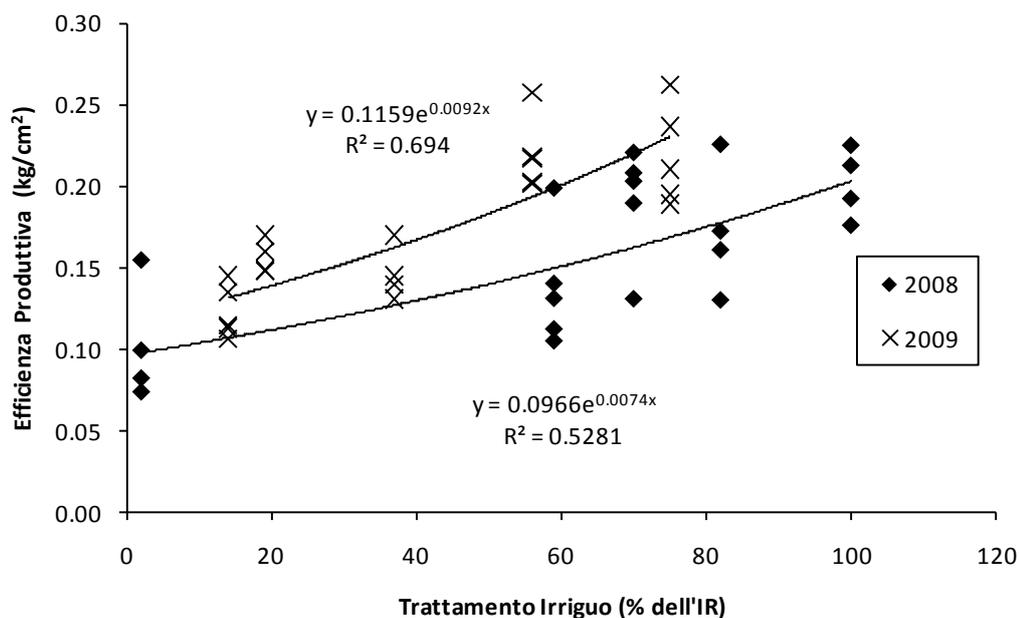


Figura 4 - Relazione tra efficienza produttiva (kg/cm²) e quantità di acqua restituita con l'irrigazione (% rispetto alla Richiesta Irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina.

Il trattamento irriguo, nel 2008, ha avuto una influenza positiva anche sulla crescita in termini diametrali delle drupe. In questo anno, infatti, è stato osservato un aumento costante nel corso della stagione del diametro sia longitudinale che equatoriale delle drupe che hanno raggiunto i valori massimi nelle tesi 100% e 82%. (fig. 5a e 5b). Differenze significative sono state registrate tra le drupe delle piante sottoposte ai regimi irrigui opposti (100% e 2%). Al contrario, nel 2009 la dimensione dei frutti non è apparsa positivamente correlata al trattamento irriguo (fig. 5c e 5d); infatti, sia sul diametro longitudinale che su quello equatoriale non sono state riscontrate differenze significative tra le dimensioni dei frutti.

Per quanto concerne l'andamento stagionale della crescita, i frutti dalle piante meno irrigate in coincidenza del periodo di più elevata richiesta evapotraspirativa (mese di agosto), hanno subito un arresto dell'accrescimento che non è stato osservato nelle

piante con maggiori disponibilità idriche (fig.4 a-b). Nel 2009 ha fatto eccezione la tesi 75% che ha fatto rilevare un arresto della crescita nel mese di agosto, nonostante la buona disponibilità idrica.

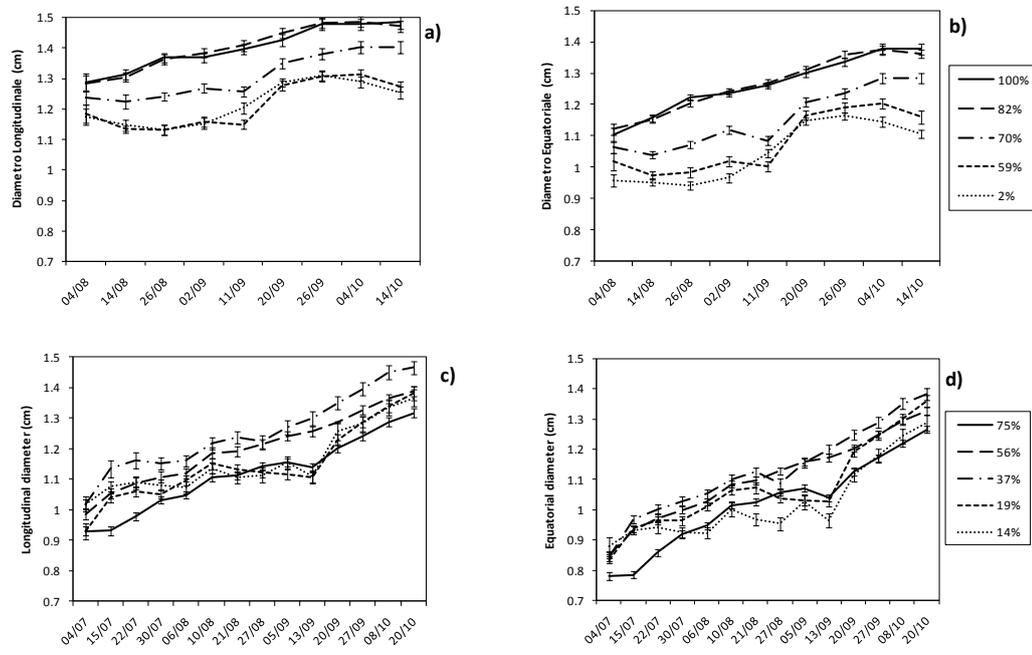


Figura 5 – Andamento stagionale delle dimensioni dei frutti (diametro equatoriale e longitudinale) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina sottoposto a diversi regimi irrigui (% dell'IR)

Dall'analisi della figura 6 risulta che nel 2009 la dimensione dei frutti è stata parzialmente influenzata dal carico produttivo.

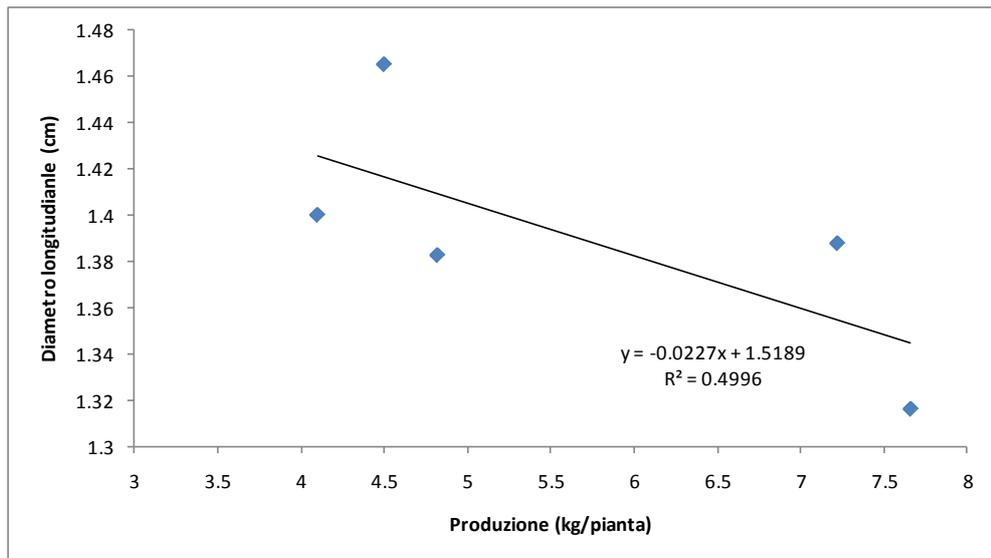


Figura 6 – Relazione tra diametro longitudinale dei frutti (cm) e Produzione (kg/pianta) per l'anno 2009 in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina.

Nel secondo anno con molta probabilità, il maggior numero di frutti nelle piante sottoposte ai trattamenti irrigui 56% e 75% ha comportato una maggiore competizione tra le drupe e, conseguentemente, una riduzione complessiva delle dimensioni finali. La relazione tra acqua somministrata, produzione ad ettaro e dimensioni finali delle drupe, infatti, evidenzia un comportamento diverso delle piante nei due anni di osservazione; nel 2008 all'aumentare del quantitativo di acqua somministrata è corrisposto un incremento della produzione per pianta analogamente ad un incremento delle dimensioni delle drupe (fig. 7a); nel 2009, invece, restituzioni di acqua fino al 37% dell'IR, sebbene non abbiano provocato un aumento della produzione, sembrano avere avuto un significativo effetto sulle dimensioni finali dei frutti. Al contrario, per volumi di acqua superiori la produzione è aumentata significativamente, mentre si è osservato un forte abbattimento delle dimensioni delle drupe (fig. 7b).

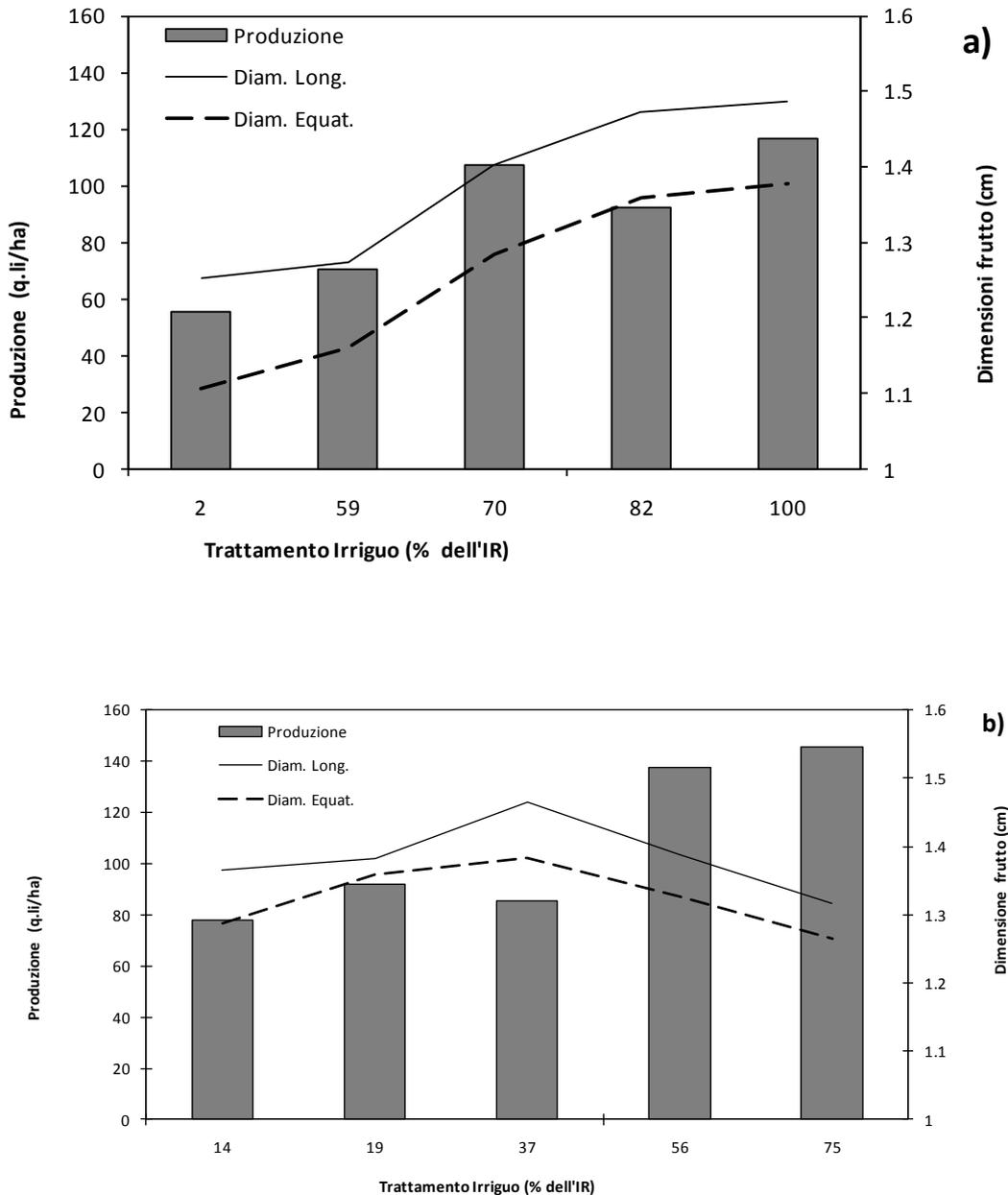


Figura 7 – Produzione (q.li/ha) e dimensione dei frutti (cm) in rapporto al trattamento irriguo (% della Richiesta Irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina nel 2008 (a) e nel 2009 (b).

La figura 8 mostra la relazione tra trattamento irriguo e livello di idratazione dei tessuti misurato durante le ore più calde della giornata (*midday* Stem Water Potential; Ψ_{MSWP}). La riduzione dei quantitativi di acqua restituita con l'irrigazione ha comportato

significative variazioni del potenziale idrico xilematico (Ψ_{MSWP}), mettendo in evidenza un forte incremento nel livello di stress idrico delle piante al diminuire dei volumi di acqua somministrati nel corso della stagione irrigua, sia nel 2008 che nel 2009.

Solo nel secondo anno di osservazioni, la restituzione di quantità di acqua di irrigazione superiori al 60% del fabbisogno irriguo ha consentito di mantenere le piante su livelli di stress moderati e precisamente sempre superiori a -2 MPa. Nel 2008, invece, nonostante la maggiore quantità di acqua di irrigazione somministrata, il midday-SWP, rilevato prima delle piogge autunnali, si è sempre mantenuto su valori più negativi anche quando è stato restituito il 100% del fabbisogno irriguo.

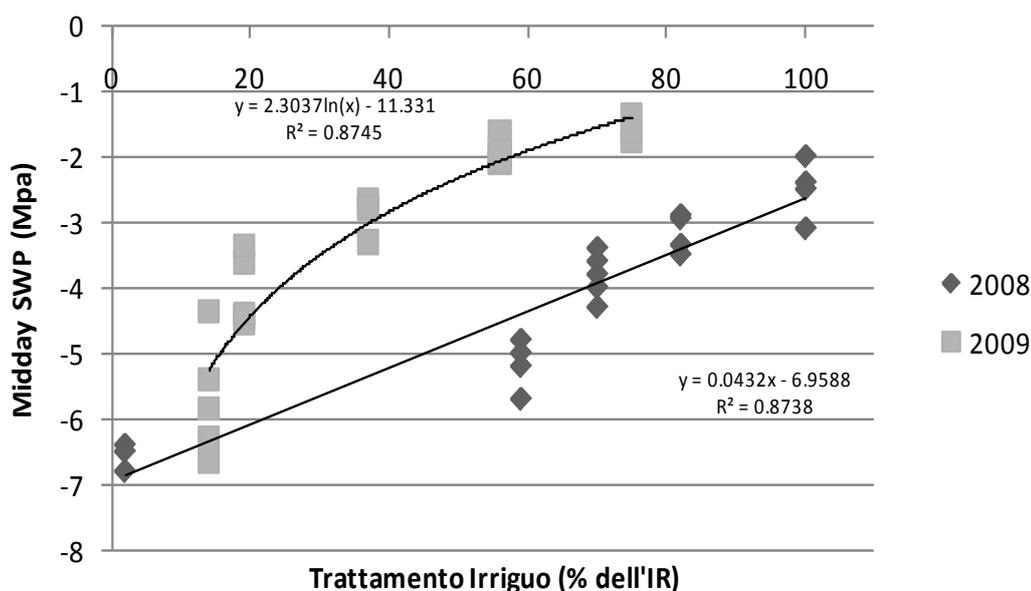


Figura 8 – Relazione tra Midday stem water potential (Ψ_{MSWP}) e quantità di acqua restituita con l'irrigazione (% rispetto alla Richiesta Irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina.

Passando ad analizzare l'andamento giornaliero dei potenziali xilematici, nel settembre 2008, prima del verificarsi dei primi eventi piovosi (fig. 9a), è stato rilevato che i valori sono stati costantemente più bassi (fino a -6,5 MPa) nelle tesi in asciutto,

mentre si sono mantenuti intorno a -2,5 MPa nelle piante maggiormente irrigate. Un comportamento intermedio è stato invece registrato nelle restanti tesi, in ragione dei rispettivi livelli di restituzione. Ad ottobre, durante la seconda giornata di osservazioni (fig. 9b), in seguito al verificarsi delle prime precipitazioni, il potenziale idrico è risalito sensibilmente nelle tesi 100%, 82% e 70%, attestandosi su potenziali sempre superiori a -1,9 MPa per tutto l'arco della giornata. Al contrario, le tesi 2% (-4,4 MPa) e 59% (-2,8 MPa) non sono riuscite a ristabilire adeguati livelli di idratazione dei tessuti nonostante le piogge autunnali.

Nel 2009, durante la prima giornata di rilievi effettuata l'undici di agosto, le tesi 75%, 56% e 37% non sono risultate tra loro statisticamente differenti (fig.7c), con valori di Ψ_{swp} che si sono mantenuti attorno a -0,5 MPa in predawn e -1,9 MPa (Midday-SWP). Soltanto le piante delle tesi 19% e 14% hanno mostrato livelli di stress elevati con valori minimi di Ψ_{MSWP} che hanno raggiunto i -4,8 e -5,2 MPa rispettivamente. Durante la seconda giornata di misurazioni, avvenuta all'inizio di settembre (fig. 9d), in un momento precedente ai primi eventi piovosi, le piante irrigate con il 14%, 19% e 37% del fabbisogno irriguo, hanno raggiunto rispettivamente valori di circa -6 MPa, -5 MPa e -4 MPa, le restanti tesi hanno mantenuto buoni livelli di idratazione non scendendo mai al di sotto dei -2,5 MPa. Va osservato, inoltre, che sebbene le tesi 75% e 56% hanno mantenuto livelli di stress moderati anche nella seconda giornata di misure, la tesi 37% ha mostrato un consistente abbassamento dei potenziali, passando da valori di -0,5 MPa per il predawn e -1,8 MPa per il Midday nella prima sessione di misura, a -1,7 MPa e -3,6 MPa rispettivamente in predawn e midday nella seconda giornata.

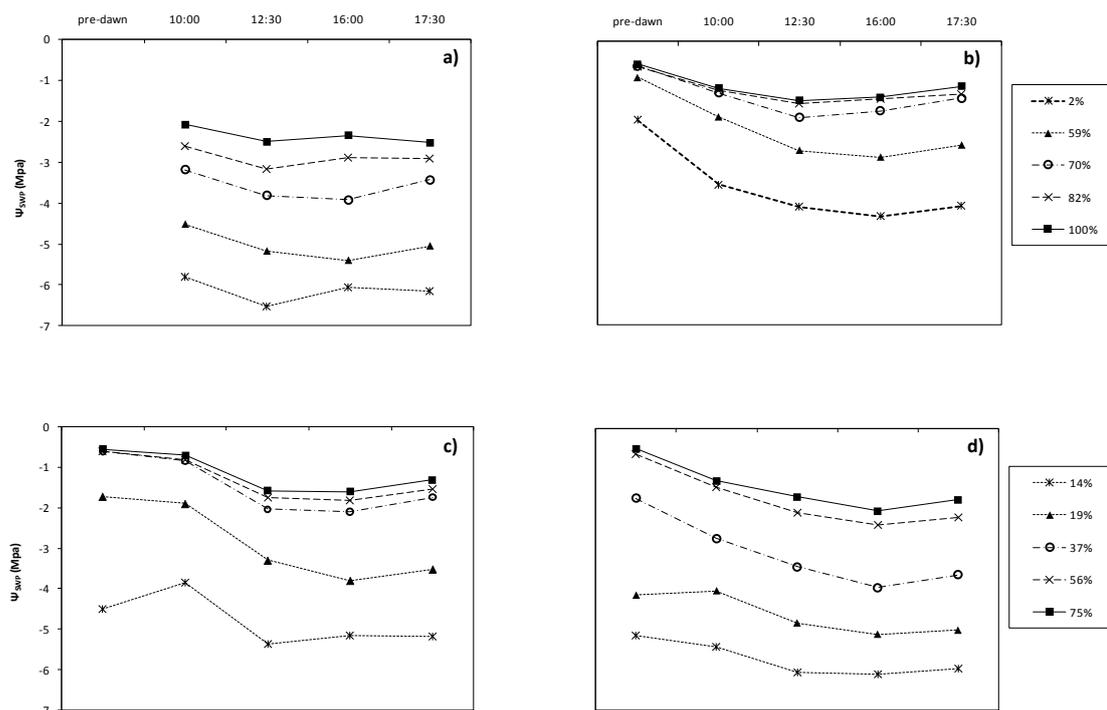


Figura 9 – Andamento giornaliero dello Stem Water Potential (Ψ_{SWP}) nel 2008 (**a**; **b**) e nel 2009 (**c**; **d**) misurato in un impianto superintensivo di olivo della cv “Arbequina”. (**a** = 4 settembre 2008; **b** = 9 ottobre 2008; **c** = 11 agosto 2009; **d** = 1 settembre 2009)

In entrambi gli anni è stata riscontrata una significativa relazione tra potenziali idrici e produttività (figg. 10a e 10b). Nel 2008, a causa delle piogge, il comportamento delle piante non è stato univoco. La relazione ottenuta utilizzando i dati del rilievo effettuato il 10 ottobre, infatti, ha mostrato soltanto uno slittamento verso valori meno negativi di potenziale xilematico mentre non sono state osservate differenze sia nella forma che tra i coefficienti della due funzioni. Nel 2009 è stato possibile interpolare i dati con un unico modello non lineare. Sebbene in entrambi gli anni i potenziali abbiano mantenuto lo stesso range di variazione (da -1,1 MPa a -6,8 MPa), nel 2009, all'aumentare dei valori di Ψ_{MSWP} è corrisposto un maggiore incremento produttivo

rispetto al 2008, come confermato anche dalle differenze significative tra i coefficienti delle funzioni utilizzate (figg. 10a e 10b).

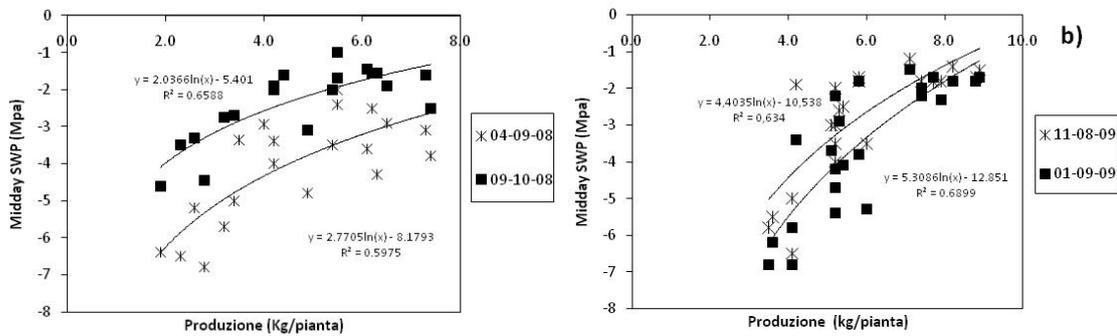


Figura 10 - Relazione tra Midday Stem Water Potential (Ψ_{MSWP}) e produzione (kg/pianta) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina.

Positiva è stata la relazione fra l'assimilazione netta (A_{max}) e conduttanza stomatica (g_s), sia nel 2008 che nel 2009 (figg. 11a 11b).

In particolare, nel 2008 (fig.11a) A_{max} è risultato linearmente correlato con g_s . Le misure eseguite in due momenti della giornata (11:30 e 15:30) hanno mostrato due distinte relazioni e precisamente, a parità di conduttanza stomatica (g_s) il tasso di Assimilazione netta alle ore 11:30 (ora 1) è apparso superiore al valore registrato nella seconda ora di misura (15:30).

Nel 2009 (figg.11b e 11c) le diverse ore della giornata in cui sono state effettuate le misurazioni non sembrano avere influenzato in alcun modo l'andamento del rapporto tra fotosintesi netta e conduttanza stomatica, contrariamente al 2008, inoltre, i valori di Assimilazione netta sono stati bene interpolati da una funzione non lineare di tipo esponenziale ($R^2=0,81$ e $0,91$), in entrambe le sessioni di misura.

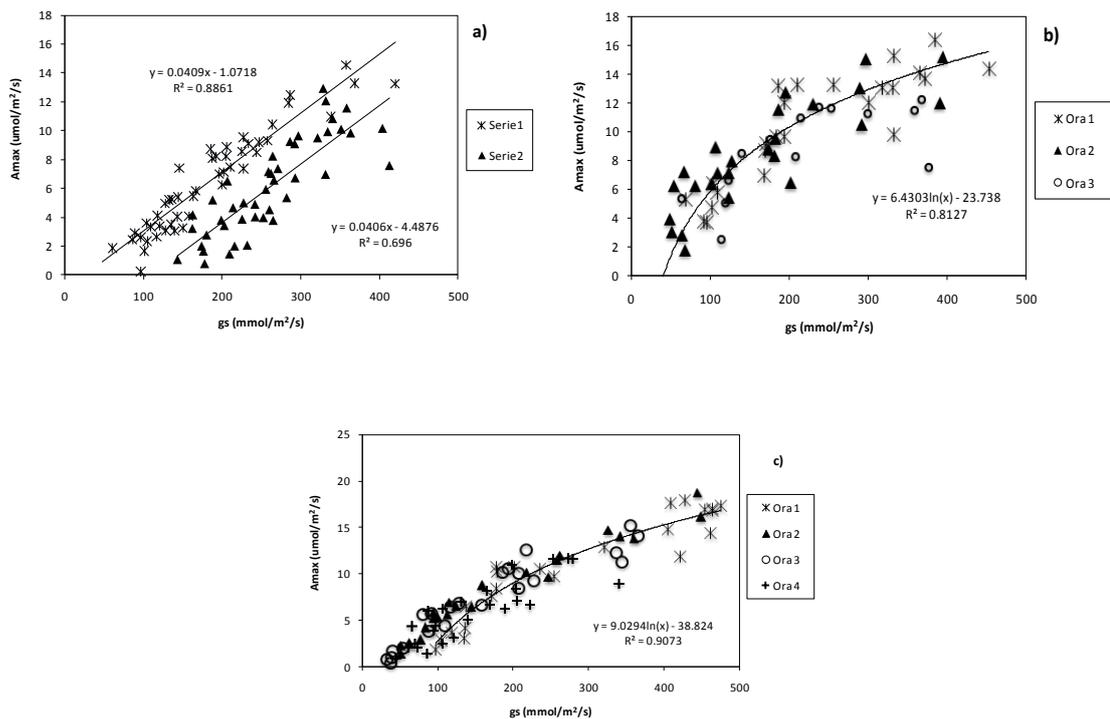


Figura 11- Relazione tra Assimilazione netta (A_{max}) e Conduttanza stomatica (g_s) misurata in foglie di olivo di un impianto superintensivo della cv Arbequina. (**a** = 4 settembre 2008; **b** = 11 agosto 2009; **c** = 1 settembre 2009)

L'efficienza intrinseca nell'uso dell'acqua (iWUE) nel 2009, ovvero il rapporto tra assimilazione e conduttanza stomatica (A/g_s), è risultata tendenzialmente più alta per la tesi 37%, con un valore medio giornaliero di circa $50 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Valori più bassi sono stati ottenuti sia nelle piante in asciutto che in quelle in cui è stato restituito il 75% del fabbisogno irriguo (fig. 12).

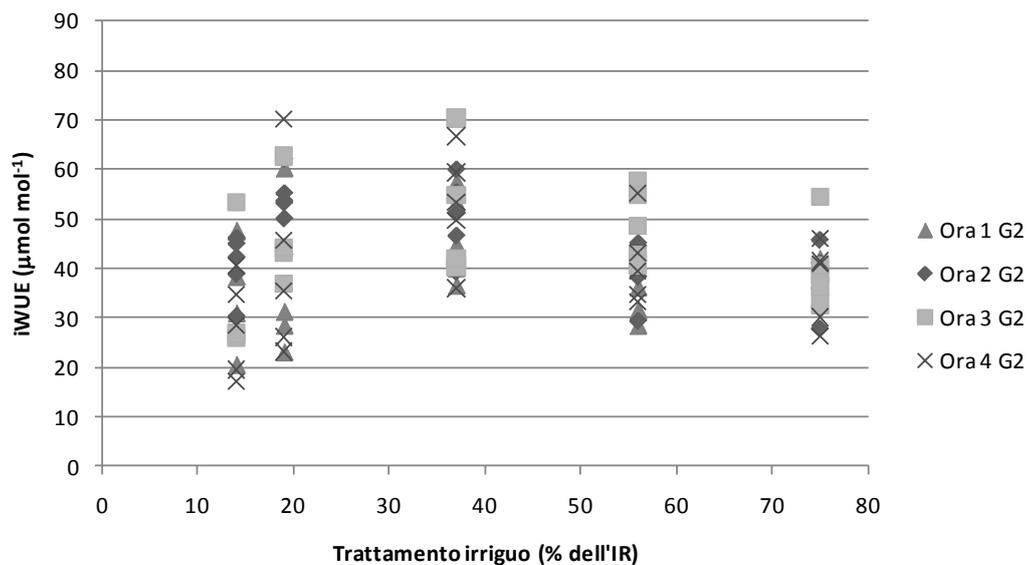


Figura 12 – Efficienza intrinseca nell’uso dell’acqua misurata (iWUE) in diverse ore della giornata su foglie di olivo cv “Arbequina” in rapporto al trattamento irriguo (% dell’IR)

Nella figura 13 è rappresentata la relazione tra quantità di acqua restituita con l’irrigazione e gli scambi gassosi delle piante (A_{max} e g_s). Sebbene anche i valori di fotosintesi netta e di g_s siano stati positivamente influenzati dalla quantità di acqua restituita sia nel 2008 (figg.13a e 13b) che nel 2009 (figg. 13c e 13d), la funzione matematica che ha permesso di interpolare tali dati è risultata, nel primo anno, esponenziale, mentre nel secondo, logaritmica.

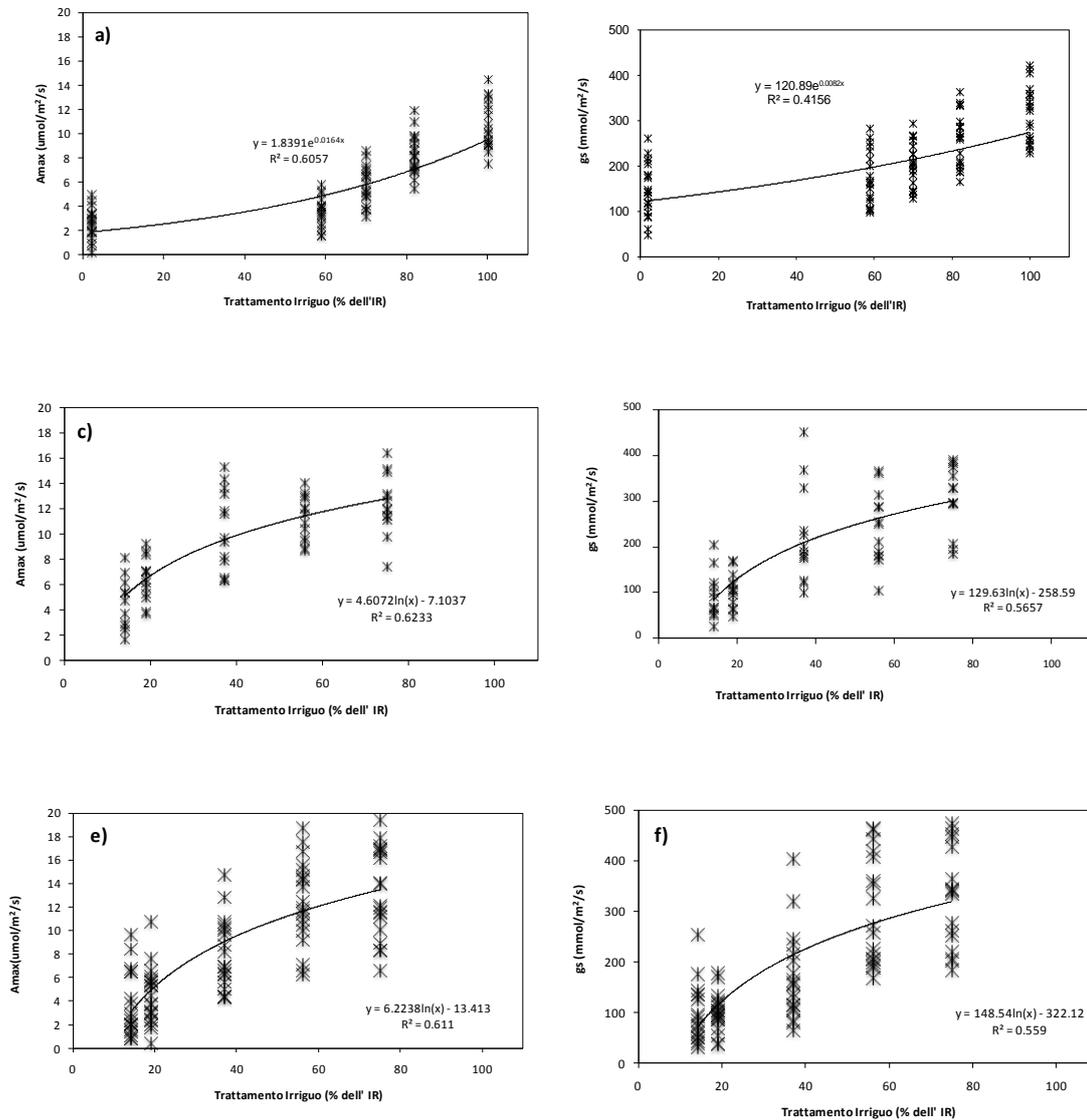


Figura 13 – Relazione tra gli scambi gassosi (A_{max} e g_s) e quantità di acqua restituita con l'irrigazione (% rispetto alla Richiesta Irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv Arbequina. (a; b = 4 settembre 2008; c; d = 11 agosto 2009; e; f = 1 settembre 2009)

In entrambi gli anni e durante le diverse sessioni di misura è stata rilevata una correlazione positiva tra i livelli di potenziale idrico misurato nelle ore più calde della giornata (Ψ_{MSWP}) e gli scambi gassosi nella foglia (A_{max} e g_s) (fig. 14). È evidente come alla riduzione dei potenziali, si assista ad una marcata diminuzione sia

dell'assimilazione netta che della conduttanza stomatica. Ad alti livelli di stress (Ψ_{MSWP} compreso tra -7 MPa e -4 MPa) si osserva una drastica riduzione degli scambi gassosi nella foglia, in termini sia di conduttanza stomatica sia, conseguentemente, di assimilazione netta. Passando a livelli di stress compresi tra -4 e -2 MPa si assiste ad una parziale ripresa dell'attività fotosintetica compresa tra 5 e 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; infine, valori di Ψ_{MSWP} compresi tra -2 e -0,5 MPa comportano una piena ripresa degli scambi gassosi nella foglia con valori di conduttanza stomatica e quindi di assimilazione anche molto elevati.

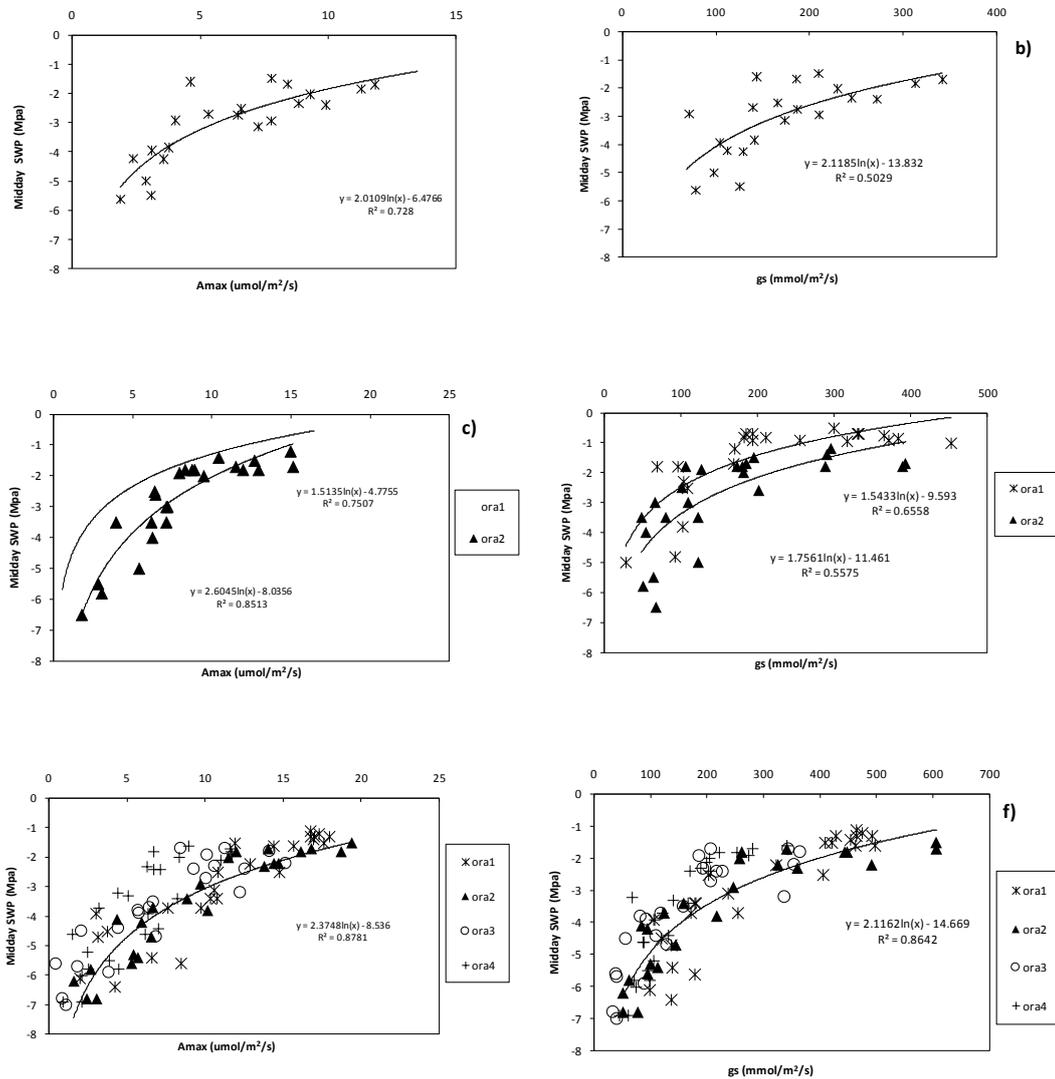


Figura 14 - Relazione tra Midday Stem Water Potential (Ψ_{MSWP}) e scambi gassosi (A_{max} e g_s) in foglie di olivo di un impianto superintensivo della cv Arbequina. (a; b = 4 settembre 2008; c; d = 11 agosto 2009; e; f = 1 settembre 2009)

Per quanto riguarda il numero di mignole per ramo, il numero di fiori per infiorescenza ed infine la percentuale di allegagione rilevato nella primavera 2009 e 2010, non sono state riscontrate differenze statisticamente significative in relazione ai volumi di adacquamento distribuiti nel corso delle stagioni produttive precedenti (2008 e 2009) (tab. 2).

Tabella 2 – Numero di mignole per ramo, numero di fiori per mignola e percentuale di allegagione in un impianto superintensivo di olivo della cv “Arbequina” sottoposto a diversi regimi irrigui.

Trattamento (% dell’IR)		N. mignole/ramo		N. fiori/mignola		% allegagione	
2008	2009	Fioritura 2009	Fioritura 2010	Fioritura 2009	Fioritura 2010	Fioritura 2009	Fioritura 2010
2	14	4,5 ab	6,7 n.s.	6,1 n.s.	10,2 n.s.	34 n.s.	14 n.s.
59	19	6,0 a	5,5	7,1	9,1	29	14
70	37	3,3 ab	6,5	7,0	9,1	26	11
82	56	3,0 b	4,9	6,5	9,8	28	14
100	75	4,7 ab	5,2	6,3	9,2	37	14

Anche per quanto riguarda l’accrescimento vegetativo, dalla ripresa vegetativa alla stasi estiva del 2009, non sono state riscontrate differenze significative rispetto ai trattamenti irrigui (dati non mostrati). Al contrario, la lunghezza finale della vegetazione è risultata correlata negativamente con la produzione per pianta come mostrato dalla figura 15.

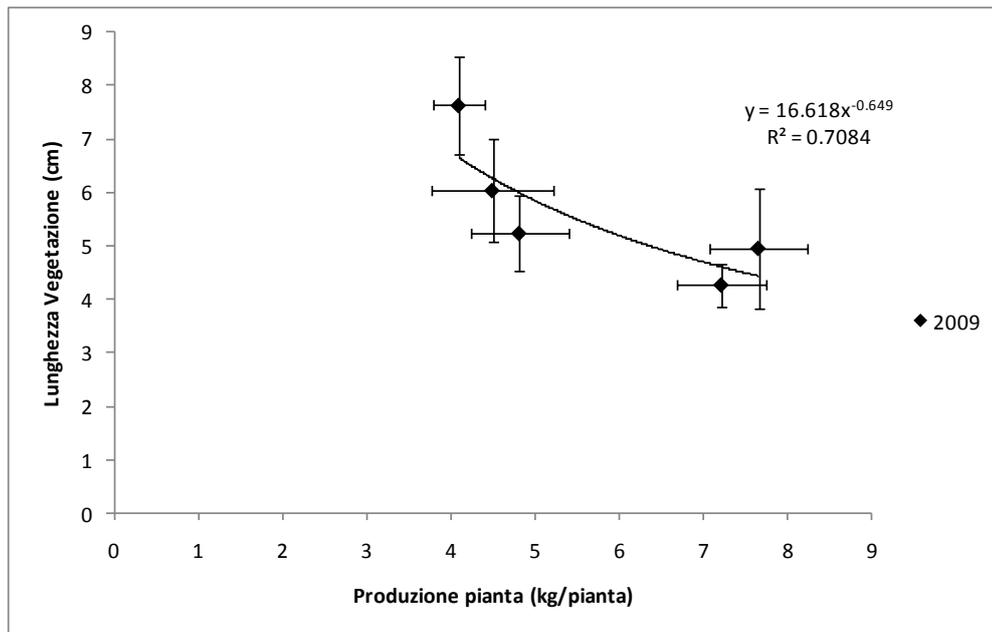


Figura 15 – Relazione tra lunghezza della vegetazione (cm) e produttività (kg/pianta) in un impianto superintensivo di olivo (cv “Arbequina”).

La quantità di legno asportato con la potatura nella stagione invernale 2009 è risultata positivamente correlata con la quantità di acqua restituita con l’irrigazione (fig.16). Le piante della tesi 100% hanno fatto registrare le maggiori quantità di legno di potatura, con valori più che doppi rispetto a quelli delle piante in cui è stato restituito soltanto il 2% dell’IR.

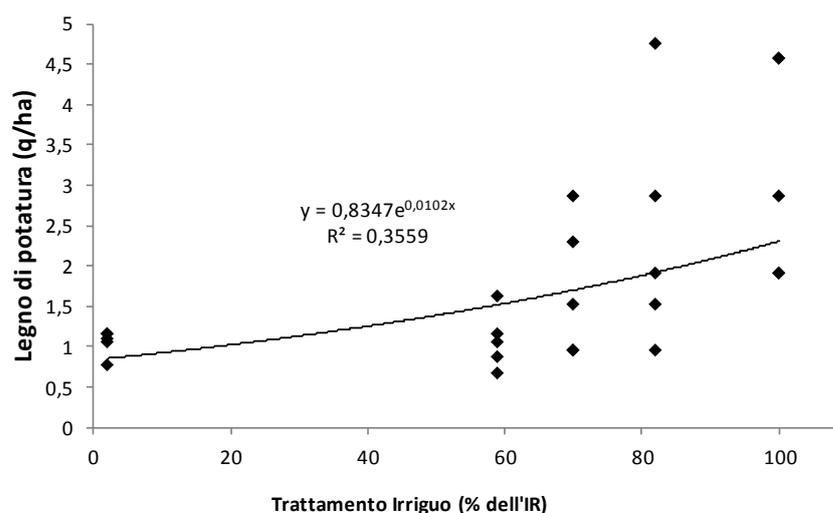


Figura 16 – Quantità di legno asportato con la potatura invernale (2009) in rapporto al trattamento irriguo (percentuale di acqua restituita rispetto alla richiesta irrigua) in un impianto superintensivo di olivo della cv “Arbequina”

In figura 17 è rappresentato l’andamento della concentrazione di polifenoli nell’olio rispetto ai trattamenti irrigui. Sebbene sia stato osservato un generale decremento della concentrazione di polifenoli totali all’aumentare della quantità di acqua somministrata, l’andamento complessivo di tale parametro non è stato confrontabile nei due anni. In particolare, nel primo anno, passando dalla tesi 2% alla tesi 56% non si assiste a nessun decremento significativo dei livelli di polifenoli totali nell’olio (circa 250 mg/kg). Viceversa, nel secondo anno di osservazioni, la riduzione è stata consistente e continua, con riduzioni già a partire dalla tesi 19%. Nel 2009, inoltre, i valori medi rilevati sono risultati sensibilmente inferiori, di circa il 50%, rispetto alla concentrazione di polifenoli del 2008.

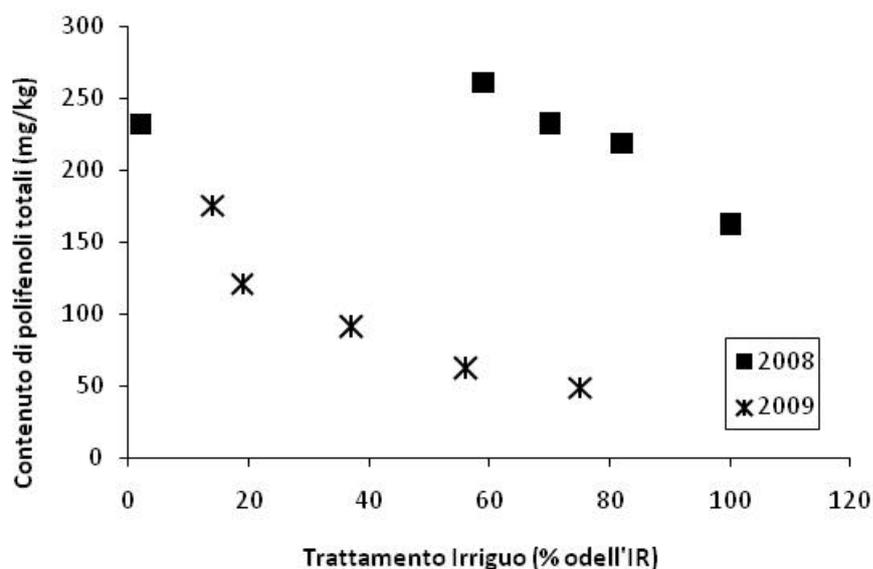


Figura 17 – Concentrazione di polifenoli totali (mg/kg) in oli ottenuti da un impianto superintensivo della cv di olivo Arbequina in rapporto al trattamento irriguo (% di acqua restituita rispetto alla richiesta irrigua) nei due anni di osservazione (2008 e 2009)

La resa in olio, infine, non ha avuto un comportamento univoco nei due anni (fig. 18), sia in termini di resa percentuale che in termini di produttività per ettaro (fig. 19). Mentre nel primo anno la resa in olio è stata più elevata nelle tesi 2% e 56%, nel 2009 la risposta è stata opposta, con rese più alte nelle partite di olive provenienti dalle tesi più irrigate.

Anche ricalcolando le rese in olio in termini di produzione per ettaro (fig. 19) la risposta non è stata univoca nei due anni di osservazione. Mentre nel 2008, infatti, la minore produttività registrata per le tesi meno irrigate è stata compensata dalla maggiore resa in olio, nel 2009 sono state proprio le tesi più irrigate a fare registrare la maggiore produttività di olio ad ettaro con quantità anche di 21 q.li.

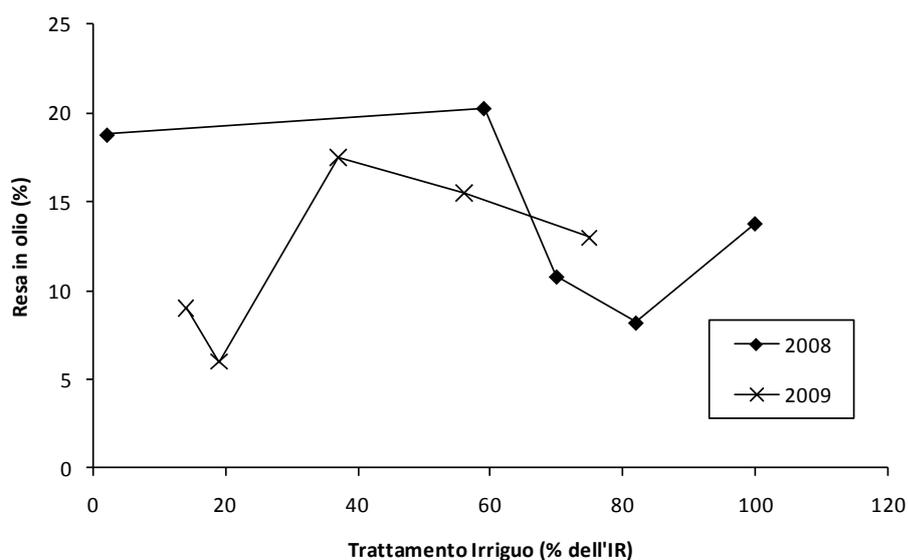


Figura 18 – Resa in olio (%) di olive ottenute da un impianto superintensivo della cv Arbequina in rapporto al trattamento irriguo (% di acqua restituita rispetto alla richiesta irrigua) nei due anni di osservazione (2008 e 2009)

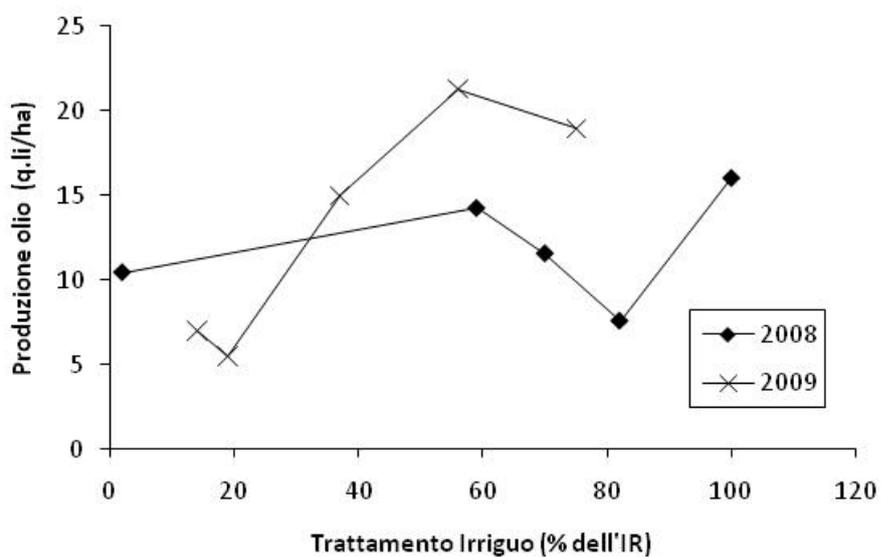


Figura 19 – Produzione di olio (q.li/ha) ottenuto da un impianto superintensivo della cv Arbequina in rapporto al trattamento irriguo (% di acqua restituita rispetto alla richiesta irrigua) nei due anni di osservazione (2008 e 2009)

9. DISCUSSIONI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo sviluppo di modelli di gestione dell'irrigazione negli oliveti superintensivi, in rapporto anche ad altre tecniche di gestione quali potatura e concimazione, rappresenta un obiettivo importante per la diffusione futura di tali sistemi d'impianto nei nostri ambienti di coltivazione. Infatti, a differenza degli oliveti tradizionali, negli impianti superintensivi l'irrigazione appare indispensabile al fine di ottenere una costante e abbondante fruttificazione.

Le prove oggetto della presente tesi hanno messo in evidenza che l'irrigazione può essere praticata in "deficit" anche negli impianti superintensivi. La restituzione del 70% del fabbisogno irriguo stagionale della coltura nel 2008 ha garantito una abbondante produzione di frutti per ettaro. Nel 2009 quantitativi anche minori, corrispondenti ad appena il 56% del fabbisogno irriguo stagionale (132 mm), sono stati sufficienti per ottenere le massime produzioni.

Tali risultati appaiono interessanti, considerato che il risparmio d'acqua irrigua stagionale potrebbe raggiungere i 700-1000 m³/ha, senza contare inoltre gli effetti positivi ottenuti in termini di riduzione della crescita vegetativa delle piante, confermata dalla significativa diminuzione dei quantitativi di legno asportato con la potatura invernale (fig.16).

Tuttavia, l'influenza della riduzione dei quantitativi di acqua somministrata deve essere valutata da diversi punti di vista, poiché lo stato idrico della pianta influenza non solo la produzione e l'accrescimento dei germogli dell'anno ma anche la fioritura dell'anno successivo (Samisch, Spiegel 1961).

Così come avviene in altre specie (Shackel et al. 1997), anche in olivo l'utilizzo del Ψ_{MSWP} è risultato un indicatore affidabile dello stato idrico delle piante. Le prove

hanno messo in luce una stretta relazione tra potenziali xilematici e quasi tutti i parametri ecofisiologici ed agronomici rilevati.

L'olivo, in condizioni di totale assenza di stress, mostra valori di potenziale di circa -1 MPa. Hsiao (1973) definisce "stress leggero" i valori di potenziale xilematico che si aggirano intorno ai -1,2/-1,5 MPa mentre, secondo Fernandez et al. (2008), il valore limite per uno stress moderato è di -1,75 MPa. Secondo lo stesso autore quando il Ψ_{SWP} scende al di sotto dei -2,5 MPa la pianta non è più in grado di richiamare acqua dal suolo (Fernandez & Moreno 1999). In olivo, comunque valori di potenziale xilematico di -6,5 MPa (Angelopoulos et al. 1996) o persino di -10 MPa (Guerfel et al. 2009) sono abbastanza comuni.

Nel presente lavoro le piante meno irrigate hanno subito forti stress idrici durante la stagione produttiva (-6 MPa). Nel 2009 la somministrazione di quantitativi di acqua pari al 56% del fabbisogno irriguo stagionale hanno permesso alle piante di mantenere un sufficiente livello di idratazione dei tessuti anche nei mesi di maggiore richiesta evapotraspirativa (valori costantemente al di sopra dei -2,5 MPa). Nel 2008 a parità di IR soddisfatto, lo stress idrico è risultato maggiore che nel 2009; le piante irrigate con il 70% dell'IR hanno, infatti, mostrato valori di potenziale xilematico di circa -3 MPa ma sono comunque state in grado di ripristinare il livello di idratazione dei tessuti a fine stagione in seguito ai primi eventi piovosi.

I trattamenti irrigui del 2008 non sembrano avere influenzato la produttività delle piante nell'anno seguente, al contrario nel 2009 si è riscontrato un aumento della produttività complessiva per tutte le tesi irrigue. Tale incremento è da imputare certamente ad una crescita complessiva dovuta alla maggiore età degli alberi;

affermazione che è confermata anche dall'assenza di differenze significative nell'efficienza produttiva tra i due anni di osservazione (fig. 4).

La positiva relazione riscontrata tra valori di potenziale xilematico (Ψ_{MSWP}) e irrigazione, ma soprattutto, i valori tendenzialmente più alti di potenziale registrati nel 2009 nonostante la restituzione di soltanto il 75% del fabbisogno irriguo della coltura, ci consentono di ipotizzare meccanismi di regolazione dello stato idrico interno alla pianta, quali ad esempio quelli determinati dagli aggiustamenti del potenziale osmotico dei tessuti (Dichio et al., 1999) o, ancora, quelli dovuti ad un effetto capacitanza (quantità di acqua che i tessuti possono cedere dalle loro riserve al flusso traspirativo) esercitato dal carico produttivo. È noto, infatti, che, quando l'olivo si trova in condizioni di stress idrico severo può richiamare acqua dalle drupe (provocandone il raggrinzimento), per garantire una migliore idratazione dei tessuti fogliari e quindi una funzionalità ottimale (Dichio et al., 1999; Chartzoulakis et al., 1999). Nel 2009, il maggior numero di frutti ha probabilmente consentito alla pianta di modulare lo stato di idratazione dei tessuti in modo da mantenere più alti livelli di Ψ_{MSWP} in tutti i trattamenti irrigui. Tale comportamento viene ulteriormente confermato dalla riduzione diametrale dei frutti che si osserva nelle tesi 56% e 75% (fig. 7).

Comportamenti analoghi sono stati riscontrati in ricerche condotte da Michelakis (1994) secondo cui l'irrigazione incrementa le dimensioni dei frutti nelle piante con bassa e media efficienza produttiva mentre non ha alcuna influenza sul diametro dei frutti di piante con elevato carico produttivo. Sempre Michelakis nel 1998 evidenzia come all'aumentare del livello di acqua somministrata corrisponda un aumento delle produzioni (Kg/pianta) dovuto soprattutto al maggior numero di frutti per albero piuttosto che alle maggiori dimensioni dei singoli frutti.

La capacità di assimilazione ha risentito dello stato idrico delle piante, facendo registrare valori più alti per le piante più irrigate. La maggiore disponibilità di acqua nel suolo ha consentito alle piante di mantenere valori maggiori di conduttanza stomatica e quindi di raggiungere livelli di assimilazione netta più alti (Fernandez & Moreno, 1999; Bonghi and Long, 1987; Angelopoulos et al., 1996). Inoltre, i nostri risultati suggeriscono che, per il mantenimento di adeguati livelli di assimilazione, il Ψ_{MSWP} dovrebbero attestarsi sempre su valori non inferiori -2 MPa, soglia leggermente inferiore rispetto a quella riportata in letteratura da diversi autori (Gimenez et al., 1997).

Non va dimenticato infine, che le differenze di assimilazione fra le tesi irrigue hanno una forte influenza sulla ricostruzione delle riserve depauperate dall'accrescimento dei frutti e dei germogli (Proietti et al. 1995) e, dunque, potrebbero giocare un ruolo importante nell'instaurarsi del fenomeno di alternanza di produzione.

In realtà, in entrambi gli anni di osservazioni, la crescita vegetativa non è apparsa influenzata dal quantitativo di acqua somministrata (dati non mostrati) in contrasto con quanto riscontrato in letteratura (Gomez del Campo et al 2008, Berenguer et al 2006). Viceversa la crescita vegetativa sembra essere stata condizionata dal carico produttivo (fig. 15), piuttosto che dal trattamento irriguo (Ana et al., 2011).

Le piante che nel 2008 hanno ricevuto acqua pari al 70% del fabbisogno irriguo stagionale, hanno sostenuto delle produzioni equivalenti a quelle delle piante più irrigate; a parità di carico produttivo però gli stress idrici subiti da queste piante sono stati maggiori (potenziale idrico xilematico minore di - 3 MPa). Nel 2009 queste piante sono state caratterizzate da una ridotta efficienza produttiva che ha fatto sì che il soddisfacimento del 37% del fabbisogno irriguo stagionale fosse sufficiente a supportare pienamente la crescita delle poche drupe presenti per pianta che sono quindi

risultate di dimensioni maggiori. In accordo con quanto riportato in bibliografia (Di Marco et al., 1988; Caruso et al., 2002; Lavee et al., 2004) il carico dei frutti ha influenzato negativamente la crescita degli stessi.

Particolarmente interessante appare il risultato sulla resa in olio che nel 2008 è apparso maggiore nelle tesi meno irrigate. Molti studi effettuati sull'olivo riportano risultati simili (Lavee and Wodner, 1991; Pastor et al. 1999; Patumi et al. 1999).

Il maggiore contenuto in olio delle piante meno irrigate potrebbe essere determinato dal minore contenuto d'acqua presente nelle drupe (Alegri et al., 2001) delle tesi meno irrigate e dalla conseguente difficoltà di estrazione dell'olio dalle olive delle tesi più irrigate per il formarsi di emulsioni fra acqua e frazione lipidica allontanate con l'acqua di vegetazione (Pastor et al., 2005).

Inoltre (Lavee et al. 2004) il ridotto carico produttivo delle piante meno irrigate ha contribuito a determinare il maggior contenuto in olio delle drupe poiché, come è noto, i fenomeni di inolizione sono più precoci nelle piante con meno frutti (Lavee et al. 2004).

Nel 2009 il maggior quantitativo di olio è stato infatti estratto dalle olive delle piante irrigate con il 37% dell'IR ovvero quelle caratterizzate dal minor carico produttivo. Inoltre la dimensione maggiore dei frutti di queste piante e quindi il più elevato rapporto polpa-nocciolo (dati non mostrati) delle stesse ha contribuito ulteriormente nell'incrementare la percentuale di olio estratto.

Infine, l'epoca tardiva in cui è stata effettuata la raccolta, preceduta da abbondanti precipitazioni, ha diluito sensibilmente il contenuto in olio delle tesi meno irrigate che hanno quindi mostrato una percentuale di olio più bassa di quelle più irrigate; risultati analoghi sono stati riscontrati nelle ricerche condotte da Berenguer et

al. (2006) su piante di olivo sottoposte a diversi trattamenti irrigui nei quali sono state effettuate due raccolte di cui una tardiva ed una precoce.

Sebbene il contenuto in polifenoli è stato maggiore nelle piante meno irrigate così come confermato dalla letteratura (Patumi et al. 2002), le significative differenze riscontrate nella concentrazione di polifenoli totali dell'olio nei due anni di osservazione consentono di affermare che esiste una interazione anche con altri fattori colturali, quali ad esempio il carico produttivo.

La messa a punto dell'irrigazione, in relazione a tutte le altre tecniche di gestione quali potatura e concimazione, rappresenta un obiettivo importante per lo sviluppo dei sistemi di impianto superintensivi nei nostri ambienti di coltivazione. Infatti, a differenza degli impianti tradizionali per la produzione di olive da olio la gestione in irriguo appare indispensabile per un impianto superintensivo. L'esigenza di ridurre il periodo improduttivo delle piante, di ottenere elevate rese unitarie e stabili negli anni, anche in considerazione della più breve durata commerciale di un oliveto superintensivo (15/20 anni) e degli elevati costi d'impianto, rende necessaria l'ottimizzazione dei fattori della produzione. L'irrigazione in deficit, in particolare, riveste grande importanza perché gli ambienti di coltivazione più adatti ai sistemi superintensivi sono soprattutto quelli a clima spiccatamente mediterraneo, dove la disponibilità di radiazione luminosa è più elevata e l'acqua, spesso, rappresenta una risorsa limitata. I risultati ottenuti nel presente lavoro appaiono incoraggianti ai fini della possibilità di razionalizzare l'uso dell'acqua irrigua, senza compromettere l'efficienza produttiva delle piante. D'altronde, i numerosi studi effettuati sull'irrigazione in deficit (Gucci et al. 2007; Moriana et al., 2003) hanno mostrato, in diverse condizioni colturali, che la restituzione dell'intero fabbisogno irriguo non si

traduce mai in un effettivo vantaggio per le piante, ma anzi è spesso causa di rigoglio vegetativo.

I risultati esposti in questa tesi appaiono incoraggianti nel prospettare la possibilità di razionalizzare l'uso dell'acqua irrigua, senza compromettere la produttività delle piante;

I quantitativi di acqua somministrati hanno avuto una forte influenza “diretta” sull'attività biologica e fisiologica della pianta (assenza di stress idrico e idratazione dei tessuti) ma sono risultati altrettanto determinanti “indirettamente”, tramite l'influenza che esercitano sul carico produttivo degli anni successivi e conseguentemente sulla crescita vegetativa e sui fenomeni di inolizione delle drupe.

La valutazione degli aspetti inerenti allo stato idrico della pianta, crescita vegetativa e alternanza di produzione, in relazione anche ad altre importanti pratiche colturali, tra le quali si sottolinea la potatura e la gestione del suolo (inerbimento, lavorazione meccanica), costituiranno elementi di approfondimento utili per mettere a punto il miglior sistema di gestione dell'irrigazione degli impianti superintensivi nei vari contesti colturali. Inoltre, altro aspetto importante sarà la valutazione della qualità sensoriale e nutraceutica dell'olio prodotto in rapporto ai diversi regimi irrigui, in quanto requisito fondamentale per poter competere in un mercato globale dove ai bassi costi del prodotto deve essere, comunque, affiancata una qualità elevata.

ALLEGATO 1

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: Marsala2008

Crop: olivo

Rain station: marsala2008

Planting date: 01/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0.20	0.90	9.0	4.6	4.5
May	2	Init	0.20	0.99	9.9	0.6	9.3
May	3	Deve	0.20	1.05	11.6	0.5	11.1
Jun	1	Deve	0.25	1.37	13.7	0.4	13.3
Jun	2	Deve	0.32	1.87	18.7	0.0	18.7
Jun	3	Mid	0.39	2.41	24.1	0.2	23.9
Jul	1	Mid	0.42	2.72	27.2	0.7	26.5
Jul	2	Mid	0.42	2.86	28.6	0.9	27.7
Jul	3	Mid	0.42	2.80	30.8	0.6	30.1
Aug	1	Mid	0.42	2.75	27.5	0.0	27.4
Aug	2	Mid	0.42	2.71	27.1	0.0	27.1
Aug	3	Mid	0.42	2.51	27.6	0.1	27.5
Sep	1	Mid	0.42	2.29	22.9	9.0	13.9
Sep	2	Mid	0.42	2.11	21.1	13.5	7.6
Sep	3	Late	0.41	1.85	18.5	16.9	1.6
Oct	1	Late	0.36	1.39	13.9	21.1	0.0
Oct	2	Late	0.28	0.94	9.4	25.0	0.0
Oct	3	Late	0.22	0.66	4.6	15.7	0.0

346.1 109.8 270.2

Cropwat 8.0 Bèta

25/11/10 10:13:24 AM

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: Marsala2009

Crop: olivo

Rain station: marsala2009

Planting date: 01/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0.20	0.92	9.2	9.2	0.0
May	2	Init	0.20	1.02	10.2	7.5	2.7
May	3	Deve	0.20	1.07	11.8	5.6	6.2
Jun	1	Deve	0.25	1.39	13.9	3.3	10.7
Jun	2	Deve	0.32	1.89	18.9	1.2	17.7
Jun	3	Mid	0.39	2.45	24.5	0.8	23.7
Jul	1	Mid	0.42	2.82	28.2	0.1	28.0
Jul	2	Mid	0.42	2.99	29.9	0.0	29.9
Jul	3	Mid	0.42	2.88	31.7	0.0	31.7
Aug	1	Mid	0.42	2.74	27.4	0.0	27.4
Aug	2	Mid	0.42	2.66	26.6	0.0	26.6
Aug	3	Mid	0.42	2.47	27.2	0.1	27.1
Sep	1	Mid	0.42	2.28	22.8	20.4	2.3
Sep	2	Mid	0.42	2.09	20.9	30.7	0.0
Sep	3	Late	0.41	1.81	18.1	32.3	0.0
Oct	1	Late	0.36	1.31	13.1	34.8	0.0
Oct	2	Late	0.28	0.86	8.6	38.3	0.0
Oct	3	Late	0.22	0.61	4.3	21.3	0.0

347.2 205.4 234.2

Cropwat 8.0 Bèta

25/11/10 10:21:09 AM

BIBLIOGRAFIA

- Abd-El-Rahman A.A., El-Sharkawi H.M., (1974). Response of olive and almond orchards to partial irrigation under dry-farming practices in semi-arid regions. II. Plant-soil water relations in olive during the growing season. *Plant Soil* 41, 13-31.
- Alegre, Castellví S. (2001). Efecto de diferentes estrategias de riego deficitario controlado durante la época estival sobre la producción del olivo (*Olea europaea* L.) Cv. Arbequina. Tesis Doctoral, Universitat de Lleida, Lleida, p. 224.
- Allen R. G., Jensen M. E., Wright J.L., Burman R.d., (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. FAO, Roma, 300 pp..
- Ameglio, T., Archer P., Cohen M., Valacogne C., Daudet F., Dayau S, and. Cruiziat P. (1999). Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant Soil* 207:155–167.
- Ana I. Martin-Vertedor, Juan M. Perez Rodriguez, Henar Prieto Losada, Elias Fereres Castiel. 2011. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) I. - Growth and water relations, *Agricultural Water Management*, Volume 98, Issue 6, Pages 941-949
- Angelopoulos K., Dichio B., Xiloyannis C., (1996). Inhibition of photosynthesis in olive tree (*Olea europea* L.) during water stress and rewatering. *J. Exp. Bot.* 47: 1093-1100.
- Angerosa, F., Servili, M., Selvaggini, R., Taticchi, A., Esposto, S., Montedoro (2004). G.F. Volatile. compounds in virgin olive oil: occurrence and their relationship with the qualità, *JChromatogr A*, 1054, 17-31.
- Angiolillo A., Mencuccini M., and Baldoni L., (1999). Olive genetic diversity assessed using amplified fragment length polymorphisms. *Theoretical and Applied Genetics*, 98: 411-421.

- Aphalo P.J., Jarvis P.G., (1991). Do stomata respond to relative humidity Plant Cell Environment 14: 127-132.
- Arrivo A., Bellomo F., D'antonio P. (2006) – raccolta meccanica nell'oliveto superintensivo. L'Informatore Agrario 1: 68-71.
- Barone E. Di Marco L., (2003). Morfologia e ciclo di sviluppo, pp 13-33. In: Fiorino P. (ed.) Olea. Trattato di olivicoltura. Edagricole, Bologna, pp: 461.
- Barone E., Motisi A., Zappia R., Di Marco R., (1995). Utilizzazione del legno di olivo nella Piana di Gioia Tauro. Atti Convegno su Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania 22-23 Giugno 1993, 241-250.
- Bartolini G., (2008). Olive germplasm. www.oleadb.it.
- Bavaresco L. (1999) - Genetica della vite a Montpellier. Informatore Agrario, 2: 34-36.
- Beede R. H., Goldhamer D., (1994). Olive irrigation management. In "Olive Production manual". University of California, Oakland, California, USA, Pub. 3353.
- Begg J.E., Turner N.C (1970);. Water potential gradients in field tobacco. Plant Physiol. 46:343-346.
- Beltràn, G., A. Jimènez, and M.Uceda. (1995). Efecto del regimen hidrico de cultivo sobre la fracciòn fenolica del aceite de oliva de la variedad Arbequina. Actas del primer Simposio del Olivo Arbequina en Catalunya. Borjas Blancas. P.153-155.
- Berenguer M.J., Vossen P.M., Grattan S.R., Connell J.H., Polito V.S. (2006) - *Tree irrigation level for optimum chemical and sensory proprieties of olive oil*. Hort. Science, 41 (2): 427-432.
- Bertolami A., (1989). Cataloghi olivi. Prama Sud, Chiaravalle.
- Bertrad E., (2002). The beneficial cardiovascular effects of the Mediterranean diet.Olivae, 90: 29-31.
- Bisognano G., Tomaino A., Lo Cascio R., Crisafi G., Uccella N., Saija A, (1999). On the in-vitro antimicrobial activity of oleuropein and hydroxytyrosol. J Pharm Pharmacol, 51 (8): 971-4.

- Bongi G., Loreto F., (1989). Gas-Exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves, *Plant Physiol.* 90 -1408.
- Bongi G., Paliotti A., (1994). Olive, *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. Vol. 1: Temperate crops: 165-187.
- Bongi, G., Long, S.P., 1987. Light-dependent damage to photosynthesis in olive leaves during chilling and high temperature stress. *Plant Cell Environ.* 10, 241–249.
- Cacioppo L., Campisi G., Maggio A., Marra F.P., Caruso T., 2008. Influence of crop load on tree water status, fruit development and olive oil chemical and sensory characteristics. VI International symposium on olive growing. Resumes, Evora (Portugal, September 9th to 13th pp 269.
- Camm E.L., Neil Towers G.H., (1973). Review article phenylalanine ammonia-lyase. *Photochemistry.* 12: 961-973
- Camposo S., Ferrara G., Palasciano M., Godini A., (2008). Varietal behaviour according to the superintensive olive culture training system. *Acta Hort* 791: 271-274.
- Camposo S., Godini A., (2007). Sull'autocompatibilità della cultivar di olivo Coratina. *Italus Hortus*, 14(2) pp. 80.
- Caporali F., (1991). *Ecologia per l'agricoltura*. Ed. UTET libreria, Torino, pp. 240.
- Caruso T., Barone E., Campisi G. (2002). Effetto della carica produttiva sulla qualità dei frutti in 8 cultivar di olive da mensa. *Convegno Internazionale di Olivicoltura*, Spoleto 22-23 Aprile. (pp. 493-498).
- Celano G., Palese A. M., Xiloyannis C., (2003). Gestione del suolo. In *Olea. "Trattato di Olivicoltura"*. A cura di P. Fiorino, Ed agricole, Bologna: 349-363.
- Chartzoulakis K., Michelakis M., Tzompanakis I., (1992). Effects of water amount and application date on yield and water utilization efficiency of Koroneiki olives under drip irrigation. *Advances in Horticultural Science* 6:82-84.
- Chartzoulakis, K., A. Patakis and A.M. Bosabalidis. (1999). Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 42: 113–120.

- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdieu D., Gaudillères J.P., (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany Company* 87:477-483.
- Co.Re.R.A.S. (2006): La filiera olivicola-olearea, Rapporto 2006, “Osservatorio sull’Economia del Sistema Agroalimentare della Sicilia, Palermo”.
- Connor D.J., (2006). Towards optimal designis for hedgerow olive orchards. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57: 1067-1072.
- Costagli G., (2001). Crecimiento de la aceituna: desarrollo y proceso celures del mesocarpo bajo diferentes condiciones hidricas. Tesis de Master, Università de Cordoba, p. 115.
- Costagli G., Gucci R., Rapoport M.F., (2003). Growth and development of fruits of olive “Frantoio”under irrigated and rainfed conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78 (1) 119-124.
- D’andria R., Lavini A., Morelli G., Pastumi M., Terenziani S., Calandrelli D., Fragnito F. (2004). Effect of water regimes on five pickling and double aptitude olive cultivars *Olea Europea* L.). *Journal of horticultural Scienze & Biotechnology*, 79: 18-25.
- D’Andria R., Morelli G., Patumi M., Fontanazza G., (2000). Irrigation regime affect yield and oil quality of olive trees. *Acta Horticulturae*.
- De la Rosa R., Leon L., Guerriero N., Barranco D., Rallo L., (2006). Preliminary data on olive Hedgerow planting. *Olea*, 26, 2629.
- Deidda P., Nieddu G. and Chessa I., (2003). la fenologia, pp. 57-73. In: Fiorino P. (ed.) *Olea. Trattato di olivicoltura. – Ed agricole, Bologna*, pp. 461.
- 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.
- Dichio B., Nuzzo V e Xiloyannis C. (1999). Osmoregolazione in foglie di olivo sottoposto a carenza idrica. *Atti Convegno Nazionale “L’agrometeorologia per il monitoraggio dei consumi idrici”*. Sassari, 3-4 novembre: 113-122.

- Di Marco L., Caruso T., Barone E., Inglese P. (1988). Relationship between diameter class of drupes and flesh/pit ratio in some table olive cultivars. 2nd Int. Meeting on Mediterranean Tree Crops, Chania, Crete. 2-4 november. 113-121.
- Domiguez L., and Barbagallo M., (2007). Mediterranean diet and longevity: role of extravirgin olive oil G. *Gerontol*, 55: 231-238.
- Doorembos S., and Pruitt W.O., (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agric Organization of the United Nations, Roma 144-156 pp.
- Fabbri A., Bartolini G., Lombardi M. and Kailis S.G.. (2004). Olive Propagation Manual. Landlinks, Collingwood, Vic.
- 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 (4): 351-8.
- Faci J.M., Berenguer M.J., Gracia S., Espada J.L., (2000). Effect of variable water irrigation supply in olive (*Olea europaea* L.) cv. *Arbequina* in Aragón (Spain). II. Extra virgin oil quality parameters. *Actas del IV International congress on Olive growing*. Bari, Italy. 4-87.
- Faust M., (1989). Physiology of temperate zone fruit trees. *Acta Hort*. 146: 21-27.
- Fernández J.E., Green S.R., Caspari H.W., Diaz-Espejo A., Cuevas M.V., 2008. The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil* 305, 91–104.
- Fernandez J.E., Moreno F., (1999). Water use by the olive tree. In: *Water Use in Crop Production* (A cura di M.B. Kirkham). The Haworth Press, New York pp: 101-162.
- Fernandez J.E., Moreno F., Martin-Aranda J., (1993). Water status of olive trees under dry-farming and drip irrigation. *Acta Horticulturae* 335:157-164.
- 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.

- Fernandez J.E., Palomo M.J., Diaz-Espejo A., Giron I.F., (1997). Calibrating compensation haet-pulsetecnique for measuring sap flow in olive. Proc. 3rd Intern. Symposium on Olive Growing. Acta Hort. 474: 455-458.
- Fitò M., de la Torre R., Albaladejo M. F., Khymenetz O., Marrugat J. And Covas M. I., (2007). Bioavailability and antioxidant effects of olive oil phenolic compounds in humans: a review. 375 Ann Its super sanità, vol. 43 (4): 375-381.
- Fleming H. P., Walter W.M., and Etchells J. L., (1973). Antimicrobial Properties of Oleuropein and Products of Its Hydrolysis from Green Olives. Applied Microomowgy, vol.26 (5): 777-782.
- Fontanazza, G., Bartolozzi, F., Rocchi, P., Vergari, G. and Patumi, M. (1995). Observations on olive cv. Giarraffa grafted on different clonal rootstocks. Proc. Of IX consultation Fao of the inter-regional cooperative research network on olives. Hammamet, Tunisia 20-23 Sestember.
- Fornaciari M., Pieroni L., Orlandi F., Romano B., (2002). A new approach to consider the pollen variable in forecasting yield models. Giornal Economic Botany Vol. 56, N.1 pp.66-72.
- Gimenez, C., Fereres, E., Ruz, C. and Orgaz, F. 1997. Water relations and gas exchange of olive trees: diurnal and seasonal patterns of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance. Acta Hort. (ISHS) 449:411-416
- Giorio P., Sorrentino G., d'Andria R., (1999). Stomal behavior, leaf water status, and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. Env. Experim. Bot. 42: 95-104.
- Girona i Gomis J., (2002). Strategia di deficit irriguo controllato nell'olivo. Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001, pp. 138-147.
- Giulivo C., Xiloiannis C., (1988). Basi biologiche dell'irrigazione delle colture arboree da frutto a foglia caduca. Rivista di frutticoltura , n. 7/8, 1988.
- Godini A., Palasciano M., Ferrara, G., Camposeo S., (2006). Prime osservazioni sul comportamento agronomico di cultivar di olivo allevate con il modello superintensivo. Riv. Frutt 68(3): 40-44.

- Goldhamer D.A., (1999). Regulated Deficit Irrigation for California Cannig Olives. *Acta Horticulturae*, 474: 369-372.
- Goldhamer D.A., Dunai J., Ferguson L.F., (1994). Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae*, 356: 172-175.
- Gomez-del-Campo M., Leal A., and Pezuela C., (2008). Relationship of stem water potential and leaf conductance to vegetative growth of young olive trees in a hedgerow orchard. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2008, 59, 270–279.
- Grattan, S.R., M.J. Berenguer, J.H. Connell, V.S. Polito and P.M. Vossen, (2006). Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural water management*, 85: 133- 140.
- Gucci R., (2001). Relazioni idriche dell'olivo. Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001, pp. 60-64.
- Gucci R., (2003). Ecofisiologia. In: *Olea – Trattato di olivicoltura*. A cura di Fiorino P. Ed. Edagricole, Bologna. pp: 77-89.
- Gucci R., (2004). Irrigazione in olivicoltura. In: *Aggiornamenti sulle tecniche colturali in olivicoltura*. Accademia Nazionale dell'olivo e dell'olio. Castagneto Carducci 24-25 gennaio 2002, Spoleto 3-4 aprile 2003. pp. 3-8.
- Gucci R., (2004). L'irrigazione dell'olivo. *L'informatore Agrario* 40: 37-41.
- 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 della IV giornata scientifica SOI. Sanremo (IM), pp. 383-384.
- Gucci R., Lodolini E., Rapoport H.M., (2007). Productivity of olive trees with different water status and crop load. *International of Horticultural Science and Biotechnology* 82 (4): 648-656.
- Gucci R., Rapoport H.F., Costagli G., (2001). Stato idrico dell'olivo e sviluppo del frutto. Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001, pp. 96-102.

- Guerfel M, Baccouri O, Boujnah D, Chaïbi W, Zarrouk M. 2009. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae* 119 (3), 257-263.
- Guerra D., Anderson A.J., Silisbury F.B., (1985). Reduced phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities and lignin synthesis in wheat grown under low pressure sodium lamps. *Plant Physiol* 78: 126-130.
- Gullo P., (2000). *Il talamo di Ulisse. Trattati di storia dell'olivicoltura nel Mediterraneo Occidentale*. Rubbettino editore.
- Hrazdina G., Jensen R.A., (1992). Spatial organization of enzymes in plant metabolic pathways. *Annual Rev. of plant Physiology and plant Molecular Biology*. 43: 253-259.
- Hsiao T C (1990). Measurements of plant water status. In *Irrigation of Agricultural Crops* (Monograph no. 30). Eds. B A Stewart and D R Nielsen. pp. 243–279. American Society of Agronomy, Madison.
- Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-570.
- INEA, (1999). *Annuario dell'Agricoltura Italiana*. Vol. LIII. Istituto Nazionale di Economia Agraria.
- 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.
- Inglese P., Gullo G., Pace L.S., Ronzello G., (1999). Fruits growth, oil accumulation and ripening of the olive cultivar “carolea” in relation to fruit density. *Acta Hort.* 474: 265-268.
- Ingram, J. and D. Bartels. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47:377–403.
- Jones H.G., (1998). Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Jour. Experim. Botany* Vol. 49 Special Issue, pp.387-398, Marc 1998.

- Jorba J., Tapial L., Sant D. (1985). Photosynthesis, leaf water potential, and stomatal conductance in *Olea Europaea* under wet and drought conditions. *Acta Horticulturae* 171. pp. 237-246.
- Lal, R. and F.J. Pierce. (1991). *Soil Management for Sustainability*. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Soc. in Coop. with World Assoc. of Soil and Water Conservation and Soil Sci. Soc. of Amer.
- Larsen F.E., Higgins S.S., Al Wir A., (1989). Diurnal water relations of apple, apricot, grape, olive and peach in an arid environment (Jordan). *Sci. Hort.* 103 (4), 465-472.
- Lavee S., (1986). Olive. In: *Handbook of Fruit Set and Development*. (a cura di Monselise, S.P.). CRP Press Inc., Boca Raton, Florida, USA, pp: 261-276.
- Lavee S., Wodner M. (2004). The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea*), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae* 99 267–277.
- Lavee S., Wodner M.. (1991). Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive. *J. Hort. Sci.* 66: 583–591.
- Leon L., De la Rosa R., Guerrero N., Rallo L., Tous J., Romero A., Hermoso J.F., (2006). Ensayo de variedades de olivo en plantacion de alta densidad. Comparacion de resultados entre Andalucia y Cataluna. *Fruticultura Profesional (Especial Olivicultura)* IV 160: 21-26.
- Lo Gullo M.A. Salleo S., (1990). Wood anatomy of some trees with diffuse and ring porous wood: some functional and ecological interpretation. *Giornale Botanico Italiano* 124: 601-613.
- Lo Gullo M.A., Salleo S., (1988). Difference strategies of drought resistance in three Mediterranean sclerophyllus trees growing in the same environmental conditions. *New Phytol.* 108: 267-276.
- Lodolini E.M., Neri D., Capogrossi F., Capogrossi C., (2006). Preliminary results on olive (*Olea europaea* L.) mechanical hedging. *Second Int. Seminar OliveBiotech (Biotechnology and quality of olive tree products around the Mediterranean Basin)*, Marsala-Mazara del Vallo (Italy) Vol II: 165-168.

- Lombardo N., Iannotta N., Rizzubi B., (1986). Ristrutturazione di oliveti tradizionali calabresi. *Annali Ist. Sperim. Oliv.*, vol. 8.
- Loupassaki, M., Perica, S., Androulakis, I., (1993). Seasonal changes in the olive fruit and the effects of Summer-applied nitrogen and potassium. *Adv. Hort. Sci.* 7: 65-68.
- Manrique T., Rapoport H.F., (1999). Crecimiento del mesocarpo en seis variedades de aceituna. VIII Congreso Nacional de Ciencia Hortícolas. Murcia, Abril, 126-131.
- Martin G.C., Ferguson L. And Sibbet G.S., (2005). Flowering, pollination, fruiting, alternate bearing and abscission, pp. 49-54. Sibbett G.S., Ferguson L., Covillello J.L. and Lindstrand M., (eds). *Olive Production Manual*. University of California, Agriculture and Natural resources, Oakland, California.
- Mateu J.C., Garcia R.X., Pena J.M.L., (2008). Evoluzione della superficie piantata a olivi con il sistema superintensivo o a cespuglio nel mondo. *Olint* 15: 1-7
- Michelakis N. et al., (1994) Soil moisture depletion evapotranspiration and crop coefficients for olive trees cv Kalamon, for different levels of soil water potential and methods of irrigation. *Acta Horticulture* 356: 162- 167.
- Michelakis N., (1998). Water Management and irrigation for olive tree. *Proceedings of the international seminar on olive growing, held 1997, Greece.*
- Michelakis N., Vouyoukalou E., Clapaki G., (1995). Plant growth and yield response of olive tree cv. Kalamon, for different levels of soil water potential and methods of irrigation. *Advances in Horticultural Science* 9:136-139
- Milella A. e Dettori S. (1986). Confronto fra tra coefficienti colturali per l'irrigazione dell'olivo da mensa. *Rivista di Ortoflorofrutticoltura Italiana*, 70, 231-40.
- Milella A. e Dettori S. (1987). Regimi idrici ottimali e parziali per giovani olivi da mensa. *Rivista di frutticoltura* 8: 65-69.
- Morgan, J.M. (1984). Osmoregulation and water in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35:299–319

- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., & Fereres, E. (2003). Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 425–431.
- Motilva M.J., Tovar M.J., Romero M.P., Allegre 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. Food Sci. Agric.* 2000, 80.
- Naor A (2000). Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hortic.* 537, 447–454.
- Natali S., (1988). Consumi idrici ed irrigazione dell'olivo. Quaderni regione Umbra, seminari di olivicoltura.
- Natali S., Bignami C., Fusaria. (1991). Water consumption, photosynthesis, transpiration and leaf water potential in *Olea Europea L.*, cv Frantoio at different levels of available water. *Agricoltura Mediterranea* vol. 121 205-212.
- Noguès S, Baker NR (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J Exp Bot* 51:1309–1317. doi:10.1093/jexbot/51.348.1309
- Nunes, M.A., Catarino, F., Pinto, E., (1989). Strategies for acclimation to seasonal drought in *Ceratonia siliqua* leaves. *Physiol. Plant.* 77, 150–156.
- Orgaz, F and E, Fereres. (1997). Riego, p.251-252. In: D. Barranco, R. Fernandez Escobar and L. Rallo (eds). *El cultivo olivo*. Mundi Prensa, Madrid.
- Orgaz, F., Testi L., Villalobos F.J., Fereres. (2006). Water requirements of olive orchards–II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. *Irrigation Sciences* Volume 24, Number 2
- Ortuño MF, García-Orellana Y, Conejero W, Ruiz-Sánchez MC, Mounzer O., Alarcón JJ, Torrecillas A (2006). Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant and Soil* 279:229–242

- Owen R. W., Giocosa WE, Hull A., Haubner R., Spiegelhaider B. & Bartsch H., (2000) “ The antioxidant/anticancer potential of fenolic compounds isolated from olive oil” *Eur. J. Cancer*,36: 1235-1247.
- Owen R. W., Haubner R., Wurtele G., Hull W E., Spiegelhalder B. and Bartsch H., (2004). Olive and Olive oil in cancer prevention. *European Journal of Cancer Prevention*, 13: 319-326.
- Owen R. W., Mier W., et.al. (2000) “Phenolic compounds and squalene in olive oils: the concentration and antioxidant potential of total phenols, simple phenols, secoiridoids, lignans, and squalene” *Food Chem. Toxicol.*, 38: 647-659.
- Pannelli G., Alfei B., (1996). Crescita maturazione di drupe di olivo (*Olea Europea L.*) Cv. Leccino in condizioni di diversa capacità idrica del terreno. *Italus Hortus*, 1: 27-32
- Pastor M. (ed.). 2005. Cultivo del olivo con riego localizado. Junta de Andalucía y Mundi-Prensa Ediciones , 783 pp plus CD, ISBN 84-8476-229-7.
- Pastor M., (2007). Intensive olive production. *Olea* 26: 17-20
- Pastor Munoz-Cobo M., Hidalgo Moya J.C., Vaga Madas V., Fereres Castel E., (2006). Densidades de plantacion en olivar de regado. El caso de las plantaciones superintensivas en Andalucía. *Fruticultura Profesional*, 160: 27-42.
- Pastor, M., Castro, J., Mariscal, M.J., Vega, V., Orgaz, F., Fereres, E., Hidalgo, J., 1999. Respuesta del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. *Invest. Agric.* 14, 393–404.
- Patakas, A., Noitsakis, B., (1997). Cell wall elasticity as a mechanism to maintain favorable water relations during leaf ontogeny in grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 48, 352– 358.
- 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. Science & Biotech.* 74, 729-737.

- Patumi M., d'Andria R., Marsilio V., Fontanazza G., Morelli G., Lanza B., (2002). Olive and oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L. cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chem.*, 77: 27-34.
- Pierini L.(2000). Piove meno in Italia. *L'informatore Agrario* n.45 pp65-68.
- Poni S., (2005). La gestione idrica del vigneto. In: *Manuale di Viticoltura – impianto, gestione, difesa del vigneto*. Marenghi M., Edagricole Ed, Bologna, 115-133.
- Proietti P., Nasini L., Famiani F., (2002). La potatura dell'olivo in relazione alle esigenze dell'albero. *Aggiornamenti sulle tecniche colturali in olivicoltura*. Accademia nazionale dell'olivo e dell'olio. Spoleto, 81-98.
- Proietti P., Tombesi A., Pilli M., 1995. Scambi gassosi in foglie di olivo in relazione all'età e alla presenza di frutti durante la stagione vegetativa. *Italus Hortus* 3: 17-21.
- Rallo L, (2006). The olive industry in Spain. *Atti II seminario internazionale sull'olivo*. Marsala-Mazara del Vallo 5-10 novembre (2006), *Recent Advances in olive industry*. Sezione I:150-152
- Rallo L., Cuevas J., (2001). Fructification y produccion. In "El cultivo del olivo", Ch. 5 (Barranco D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L.). *Coed. Mundi-Prensa, Junta de Andalucía*. Pp: 35-60.
- Rallo L., De La Rosa R., Leon L., Guerrero N., Barranco D., (2006). L'olivicoltura intensiva in Spagna. *Atti del Seminario Internazionale sulla Linea Tematica: Innovazione tecnologica in olivicoltura tra esigenze di qualità e di tutela ambientale*, Cittanova 11 settembre 2006 pp21-25.
- Rallo L., Fernández-Escobar, R., (1985). Influence of cultivar and flower thinnig within the inflorescence on competition among olive fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(2): 303-308.
- Rallo P., Dorado G., Martin A., (2002). Application of micro satellite markers in olive breeding. *Acta Hort.* 586: 69-72.

- Reale S., Doveri S., Diaz A., Angiolillo A., Lucentini L., Pilla F., Marin A., Donini P., and Lee D., (2006). SNP-based markers for discriminative olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Genome*, 49: 1193-1205.
- Remorini D, Massai R (2003). Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrig Sci* 22:39–46
- Rhizopoulou, S., Meletiou-Christou, M.S., Diamandoglou, S., (1991). Water relations for sun and shade leaves of four Mediterranean evergreen sclerophytes. *J. Exp. Bot.* 42, 627–635.
- Ricci A., (2003). Qualità degli oli e irrigazione un nodo irrisolto. *Olio&Olio* 4: 64-65.
- Ringer M., (1995). Offsetting effects of reduced root hydraulic conductivity and osmotic adjustment following drought. *Tree Physiol.* 15, 379- 385.
- Rotundo A., Lombardo N., Marone E., Fiorino P., (2003). La nutrizione minerale e le concimazioni. In: *Olea – Trattato di olivicoltura*. A cura di Fiorino P. Ed. Edagricole, Bologna. pp: 331-363.
- Salas J., Pastor M., Castro J., Vega V., (1997). Influencia del riego sobre la composición y características organolépticas del aceite de oliva. *Grasas y Aceites* 48, 74-82.
- Salleo S., Nardini A., (1999). Ecofisiologia di *Olea europaea* Hoffm. et Link: verso un modello predittivo dell'adattamento all'aridità. *Olio&Olio* 2: 70-79.
- Samish R.H., Spiegel P., (1961). The use of irrigation in growing olives for oil production. *The Israel Journal of Agricultural Research* 11(2): 87-95.
- Santalucia G., Barbagallo M.G., Costanza P., Di.Lorenzo R., Pisciotta . (2007). Vegetative and productive behaviour in *Vitis vinifera* L.(cv. Cabernet sauvignon) under non irrigated vines and moderate water stress level in different irrigation systems. *Acta Horticulturae* n. 754 pp . 323-328. ISSN: 0567-7572; ISBN: 978 90 6605 620 6
- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet F.D., Hemmingsen E.A (1965). Sap flow in vascular plants. *Scienze*, 148, 339-346.

- Servili M., Esposito S., Lodolini E., Selvaggini R., Taticchi A., Urbani S., Montedoro G.F., Serravalle M., Gucci R., (2007). Irrigation effects on quality, phenolic composition and selected volatiles of vergin olive oil cv Leccino. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6609-6618.
- Shackel KA, Ahmadi H, Biasi W. (1997). Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hortechology* 7: 23±29.
- Spiegel P., (1955). The water requirement of the olive tree, critical periods of misture stress and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. XIVth Intrnational Horticultural Congress. Netherlands. H. Veenman & Zonen (Wageningen-Netherlands) Publishers: 1363-1373.
- Swift, M. J. (1985). Tropical soil biology and fertility: Planning for research. *Biology International Special Iusse* 9, pp. 24.
- Testi L., F.J. Villalobos, F. Orgaz, 2004, Evapotranspiration of a young irrigated olive orchard in southern Spain, *Agricultural Water Management*, 121, 1-18.
- Therios I.N., Sakellariasdis S.D., (1988). Effect of nitrogen form on growth and mineral composition of olive palnts (*Olea europea* L.) *Sci. Hort.* 35 p. 167
- Tombesi A., (1994). Olive fruit growth and metabolism. *Acta Horiculturae* 356: 225-232.
- Tombesi A., (1995). Fisiologia dell'olivo, tecniche colturali e loro interazioni. *Frutticoltura*, 12: 15-21.
- Tombesi A., (2003). Biologia fiorale e di fruttificazione, pp. 35-53. In Fiorino P. (ed.), *Olea. Trattato di olivicoltura*, Ed agricole, Bologna, pp. 461.
- Tombesi A., Orsini A., Guelfi P., (2006). Manuale è bello, meccanizzato è meglio. *Olivo&Olio* pp. 11-12.
- Tous J., Romeo A., (1992). Scheda varietale della cultivar Arbequina. *Olivae* 43: 28-29.
- Tous J., Romeo A., Plana J., Hermoso J.J., (2008). Olive oil cultivar suitable for very-high density planting conditions. *Acta Hort.* 791: 403-408

- Tous J., Romero A., Hermoso J.F., (2006). High density planting system, mechanization and crop management in olive. Second International Seminar Olivebiotq 2006, 5-10 Novembre Marsala, invited lectures: 423-430.
- Tous J., Romero A., Plana J., Baiges F., (1999). Planting density trial with "Arbequina" olive cultivar in Catalonia (Spain). *Acta Hort.* 474: 177-179.
- Tovar, M. J., Romero, M. P. Alegre, S., Girona, J., Motilva, M.J., (2002). Composition and organoleptic characteristics of oil from Arbequina olive (*Olea europea* L) trees under deficit irrigation. *Journal of Science and Food Agriculture*, 82, 1755-1763.
- Tripoli E., Giammanco M., Tabacchi G., Di Majo D., Giammanco S. and La Guardia M., (2005). The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutr Res Rev*, 18: 98-112.
- Tyree, M.T. and P.G. Jarvis. (1982). Water in tissues and cells. *In* *Physiological Plant Ecology II: Water Relations and Carbon Assimilation*. Eds. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler. Springer-Verlag, Berlin, pp 35–77.
- Visioli F., Paola Mogani P., Simona grande S. and Claudio Galli C., (2004). Olive oil and oxidative stress. *Grassa y Aceites* 66 Vol.55 Fasc., 1: 66-75.
- Von Caemmerer S., Farquhar G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153: 376-387.
- Xiloyannis C., Dichio B., Nuzzo V., Celano G., (1999). Defense strategies of olive against water stress. *Acta Hort.*, 474: 423-426.
- Xiloyannis C., Dichio B., Sofo A., Palese A.M., (2004). Capacità di adattamento dell'olivo agli ambienti siccitosi. *L'informatore Agrario* 40: 43-45.
- Xiloyannis C., Gucci R., Dichio B., (2003). Irrigazione. *Olea: Trattato di Olivicoltura*. Il Sole 24 ORE Edagricole S.r.l., 365-389.
- Zucconi (2002). Tecniche di concimazione compatibili con il ciclo umificativo – nutrizione epigea -. *Informatore Agrario*, 38: 43-44.