



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 Botanica e tassonomia dell'olivo	3
1.2 Biologia dell'olivo	9
2. GLI IMPIANTI SUPERINTENSIVI IN OLIVICOLTURA.....	13
2.1 Le tecniche colturali.....	16
3. RELAZIONI IDRICHE NELL'OLIVO	22
3.1 Morfologia e funzionalità dei tessuti di trasporto	24
3.2 Variazioni nel potenziale idrico fogliare	24
3.3 Regolazione stomatica	26
3.4 Aggiustamento osmotico	28
3.5 Metodo di stima dei consumi idrici	29
4. DISPONIBILITÀ IDRICHE E SVILUPPO DEL FRUTTO	32
5. IL DEFICIT IDRICO CONTROLLATO NELL'OLIVO	37
5.1 Metodo di irrigazione.....	42
6. SCOPO DELLA TESI.....	44
7. MATERIALI E METODI	46
RISULTATI.....	51
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	64
BIBLIOGRAFIA	67

1. INTRODUZIONE

1.1 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. Presenta uno sviluppo medio (4-8m di altezza) potendo raggiungere in certi casi (in dipendenza dalla cultivar, ambiente e condizioni culturali) 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 ed è importante ricordare come l'oliva sia l'unico frutto dal quale si estrae un olio commestibile (gli altri oli si estraggono con procedimenti chimici o fisici da semi) (Bertrad, 2002).

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 dettennero il primato nella olivicoltura e nella produzione di olio: Grecia, Turchia, Siria e Palestina che 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 dall'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 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.

In ambito comunitario tra i paesi più importanti, per la produzione olivicola, si segnala la Spagna che detiene il 36,6% del totale con una produzione di circa 41.400.000 quintali di olive, l'Italia con una quota del 24,1% del totale con una produzione di circa 28.800.000 quintali di olive e la Grecia con una quota del 16,4%, infine la Siria con il 7,2%, il Marocco con il 6,3% e la Tunisia con il 4,4%.

Pertanto, questi sei paesi del Mediterraneo producono il 95% della produzione mondiale di olio di oliva. (Pubblicazioni 2003/2006 (Coreras))

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, include anche specie di interesse agronomico o ornamentale quali: *Ligustrum* (ligustro), *Syringa* (lillà), il *Fraxinus* (frassino), *Jasminum* (gelsomino) e *Phillyrea* (fillirea). La specie è suddivisa in due sottospecie, l'olivo coltivato (*Olea europaea sativa*) e l'oleastro (*Olea europaea oleaster*).

Presenta un habitus vegetativo basitono: sono le gemme a legno più prossime a quelle che schiudono con più facilità, ed emette germogli avventizi dalla ceppaia o pedale, grazie all'abbondanza di iperplasie (ovuli), che favorisce la tendenza della specie ad assumere, se libera di vegetare, un aspetto anche cespuglioso.

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 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 acidi grassi ed alle proprietà antiossidanti dei composti fenolici, importanti inibitori della sintesi dei radicali liberi (Owen et al., 2000; 2000b, Visioli et al., 2004), ma anche ai componenti fenolici (tirosole e idrossitirosole, alcol fenolici e l'Oleuropina) che contribuiscono a ridurre il rischio cardiovascolare e di altre malattie (Owen et al., 2004;

Tripoli et al., 2005; Dominguez e Barbagallo, 2007; Fitò et al., 2007; Flemming et al., 1973). Inoltre, da non dimenticare, l'immagine positiva dei prodotti alimentari italiani nel mondo da essere definiti come *italian food style*.

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 tra le 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 maggiore 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 maggiore 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.

Certo, come in 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, sembra improbabile che l'Italia difficilmente potrà competere nel panorama dell'olivicultura 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 ha, infatti, da sempre 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.

E' proprio tale tradizione che impone di sviluppare un modello italiano di olivicultura 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'olivicultura 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.

Con la finalità di migliorare l'efficienza complessiva dell'irrigazione, da circa una decina di anni si guarda con crescente interesse alla possibilità di adottare tecniche di Deficit Idrico Controllato (RDI) che si basano sulla sospensione dell'irrigazione in concomitanza di specifiche fasi fenologiche.

1.2 Biologia dell'olivo

Fenologia

Con il termine fenologia si intende lo studio dei fenomeni 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:

- **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;
- **Caduta delle foglie:** comparsa graduale del colore giallastro fino al completo ingiallimento della foglia e successiva filloptosi;
- **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 bocci 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;
- **Allegazione**: ingrossamento dell'ovario nella porzione calicina ancora persistente, presenza dello stimma imbrunito;
- **Accrescimento 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 (di raccolta)**: acquisizione completa della colorazione tipica della cultivar, o della colorazione corrispondente all'utilizzo commerciale del prodotto; inizio della comparsa di sintomi di senescenza.

Biologia florale

La produzione dell'olivo deriva dai fiori portati dalla infiorescenze che si formano all'ascella della foglie del ramo sviluppatosi nell'anno precedente a quello della fioritura. La differenziazione delle gemme a fiore contenente i primordi fiorali da cui si svilupperà l'infiorescenza. La differenziazione delle gemme a fiore avviene all'inizio della primavera. La gemma inizialmente vegetativa si trasforma in gemma a fiore contenente i primordi fiorali 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, cioè gli organi riproduttivi maschili (due stami) e femminili (pistillo). È formato da una 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 e 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. 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 ad uva da vino.

Gli oliveti superintensivi sono stati studiati ed elaborati dai Vivai Agromillora Catalana in collaborazione con “l’Institut de Recerca Tecnològica Agroalimentares” della Catalogna.

Gi impianti superintensivi sono nati in Spagna nel 1993 e negli ultimi anni ha trovato diffusione nel mondo con una superficie complessiva di circa 30.000 ettari, metà dei quali in Spagna, 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 e capillarmente diffuse sul territorio.

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 a 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 a 3-4 volte rispetto a quello richiesto dal metodo tradizionale, ma le cultivar adatte all’olivicoltura superintensiva sono già produttive al terzo anno e il quinto sono in piena produzione. La meccanizzazione, poi, abbatte notevolmente i costi di raccolta, che è rapida e consente 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 densità di impianto: la spagnola “Arbequina” e “Arbosana” e una 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 dalla sola cv Arbequina (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 e ad alta densità d’impianto (1200-1800 piante/ettaro), 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, ampiezza della fascia riproduttiva) tali da ottimizzare la meccanizzazione della raccolta con tali macchine. 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, inoltre, 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 e 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°, massimo 3° anno, 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 di raccolta con le macchine scavallatrici (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 in due diverse aree olivicole della Spagna (Andalusia e Catalogna) sugli impianti superintensivi 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 (i rami basali crescono più intensamente di quelli apicali) 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).

2.1 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'olivo 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 per 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, nell'oliveto, della potatura meccanica, 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 che può essere effettuato senza particolari difficoltà.

E' da prevedere quindi, che, col tempo, la potatura meccanica negli oliveti superintensivi troverà sempre maggior diffusione, come unica valida soluzione per l'esecuzione di questa costosa pratica colturale.

Una pratica fondamentale per lo sviluppo rapido delle piante è la *concimazione* che in questi impianti viene effettuata (5-6 interventi/anno) tramite fertirrigazione. 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. Essa può svolgere un'azione di controllo della crescita e dello sviluppo della pianta perseguendo l'ottimale rapporto tra attività vegetativa e produttiva, presupposto di produzioni di alta qualità e quantitativamente soddisfacenti; riduce il costo delle applicazioni dei fertilizzanti e il numero delle operazioni colturali; 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, nonché 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 alimentazione idrica e nutrizionale della 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. Inoltre 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 al 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 ai frutti e alle foglie. 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).

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. In generale, considerata la densità d'impianto e la taglia delle piante, il fabbisogno idrico annuale è stimato intorno ai 2000 - 2300 m³ per ettaro (Rallo L. et al. 2006). In generale, è possibile calcolare il fabbisogno idrico della coltura nei diversi ambienti di coltivazione facendo riferimento all'equazione di Penman-Montheith:

$$ET_c = ET_0 K_c K_r$$

dove ET_c è il fabbisogno idrico colturale, ET_0 è la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera rappresentando l'evapotraspirazione potenziale della zona di coltivazione e può essere stimata con diverse formule a partire dai dati climatici; K_c rappresenta il coefficiente colturale tipica della specie e K_r è l'indice di copertura del suolo (Gucci, 2004). E' da rilevare, che negli impianti superintensivi è quest'ultimo coefficiente a determinare i maggiori consumi idrici dell'olivo rispetto agli impianti tradizionali, dal momento che negli impianti superintensivi il complesso della superficie fogliare è decisamente superiore. 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. Per quanto riguarda la qualità della produzione, vi è un generale accordo che l'acqua non influisce sulla composizione in acidi grassi, sull'acidità libera e sul numero di perossidi dell'olio. In climi molto caldi e aridi, l'irrigazione sembra avere un effetto climatizzante che si può tradurre in un lieve aumento del contenuto in acido oleico dell'olio rispetto ad alberi non irrigati. L'irrigazione tende a diminuire il contenuto in composti fenolici dell'olio, che sono in gran parte i responsabili delle proprietà antiossidanti dell'olio nonché del gusto amaro e piccante. I turni irrigui sono più frequenti rispetto agli impianti tradizionali, data la minore unità di suolo esplorata da ciascuna pianta, e diventano via via più brevi al procedere della stagione secca, quando è maggiore la domanda evapo-traspirativa dell'atmosfera. Ciò comporta che si può arrivare ad effettuare anche un elevato numero di interventi irrigui annui.

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 nutrienti del terreno. Quindi la combinazione di essenze con caratteristiche qualitative differenti può stabilire un compromesso tra le diverse funzioni di un inerbimento, cioè apportare nutrienti 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 in seguito alla raccolta.

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 per unità di traspirazione, è più elevata nell'olivo che in altre specie coltivate. Ciò dipende da vari fattori, sia anatomici che fisiologici (Gucci, 2004).

Gli aspetti più significativi riguardano: la tomentosità della pagina inferiore delle foglie e l'elevata capacità dei tessuti; lo spessore della cuticola fogliare, più spessa nella pagina superiore che in quella inferiore; 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); il ridotto diametro dei vasi xilematici; la capacità di sintetizzare particolari osmoliti (per es. mannitolo), per cui la pianta è in grado di utilizzare l'acqua del terreno a potenziali inferiori al valore comunemente riportato come punto di appassimento (-2,5 MPa); l'elevata funzionalità delle foglie che mostrano una certa attività fotosintetica e traspirativa a potenziali idrici fogliari di -8 MPa.

Ne risulta un quadro complesso che mostra come l'insieme di questi fattori rendono questa specie particolare dal punto di vista sia biologico che agronomico.

Le relazioni idriche nell'olivo, studiate per determinare la risposta delle piante alle condizioni idriche del suolo e dell'atmosfera circostante, danno informazioni importanti per ottimizzare la gestione irrigua nell'oliveto.

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. 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'aria 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 sia nel periodo autunno-invernale, produce assimilati destinati alla crescita diametrica delle strutture ed allo sviluppo dell'apparato radicale. Un parametro importante dell'efficienza radicale all'assorbimento dell'acqua e degli elementi nutritivi, nel volume di suolo esplorato dalle radici, 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, rispetto ai microspruzzatori.

3.1 Morfologia e funzionalità dei tessuti di trasporto

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, sono stretti (di solito inferiore a 20 μm) e piuttosto brevi (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). 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). Inoltre, in piante irrigate i valori più elevati di flusso idrico si misurano nella zona esterna del cilindro conduttore della radice, mentre in piante non irrigate in quella più interna (Fernandez e Moreno, 1999). 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 Variazioni nel potenziale idrico fogliare

Lo stato idrico della pianta può essere misurato con metodi che prendono in considerazione la foglia o l'intera pianta. Un parametro utile per definire lo stato idrico

di una pianta è dato dal potenziale idrico fogliare, questo presenta notevoli variazioni sia su base giornaliera sia stagionale. La stima del potenziale idrico fogliare (ψ), mediante la camera a pressione di Scholander (Scholander et al., 1965) è il metodo più utilizzato per la determinazione dello stress idrico ai fini irrigui. Per la misurazione del potenziale idrico fogliare la foglia viene recisa con una lama affilata, inserita nella camera 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. Si distinguono tre misure di potenziale idrico: potenziale idrico "fogliare di base" (ψ_b); potenziale idrico "fogliare" (ψ_f); potenziale idrico "stem" (ψ_{stem}).

Il potenziale idrico "fogliare di base" (ψ_b) misura lo stato idrico della pianta prima dell'alba, quando i flussi linfatici sono nulli; questa misura dà un'indicazione anche del contenuto idrico della porzione di suolo esplorato dalle radici (Begg e Turner 1970), e dello stato idrico della pianta, dal momento che si ritiene che prima dell'alba questa sia un equilibrio con il contenuto idrico del suolo. Se invece il contenuto idrico dei tessuti non viene recuperato all'alba, il potenziale fogliare (ψ_f) raggiungeà, nel corso della giornata, dei valori molto bassi con conseguente condizione di stress che, se elevato, può alterare tutti i processi fisiologici e biochimici della pianta.

Il potenziale idrico "fogliare" (ψ_f), misurato nel corso della giornata su foglie all'ombra adulte che hanno terminato la crescita, 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). Il potenziale idrico dell'asse (ψ_{stem}) è misurato su foglie che non traspirano, in quando precedentemente insacchettate con film di plastica e alluminio (Begg e Turner, 1970). Il potenziale "Stem" 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 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_f) 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).

3.3 Regolazione stomatica

La conduttanza stomatica (g_s), una misura del grado di permeabilità della foglia allo scambio gassoso (vapore d'acqua dall'interno della foglia verso l'atmosfera; anidride carbonica dall'atmosfera verso i tessuti della foglia ove avviene la fotosintesi clorofilliana), presenta valori simili rispetto 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, tra la foglia e l'atmosfera (Gucci, 2001). Inoltre 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 (g_s) successivamente ad una reidratazione dopo un lungo periodo di carenza idrica. Contrariamente a quanto avviene per lo stato idrico fogliare (Ψ_1), 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 (VPD) (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), ormone che 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 deficit di pressione di vapore (VPD) esercita sulla conduttanza stomatica è stato dimostrato per molte specie (Aphato e Jarvis, 1991) ed in particolare, per piante adatte al secco. 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 di g_s in risposta a variazioni dell’evapotraspirazione) (E) o indirette

(variazioni di g_s in risposta a variazioni dello stato idrico fogliare e del suolo correlate alle variazioni dell'evapotraspirazione).

Il VPD elevato aumenta il tasso di evapotraspirazione che nel breve periodo abbassa il potenziale idrico fogliare (Ψ_1) 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 E e g_s) oppure migliorare lo stato idrico fogliare inducendo un aumento di g_s (relazione di forward indiretta tra E e g_s) (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 ($\Psi_1 = -2,5 -3,0$ MPa) limitano la fotosintesi attraverso una forte riduzione della conduttanza stomatica, mentre stress idrici più severi ($\Psi_1 = -3,5 -4,5$ MPa) alterano la biochimica della fotosintesi attraverso una riduzione della massima capacità fotosintetica (J_{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 max 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 quindi, un incremento di quella che viene definita "efficienza all'uso dell'acqua".

3.4 Aggiustamento osmotico

L'olivo è caratterizzato da un elevato grado di aggiustamento osmotico, al diminuire dell'acqua nel suolo, che 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).

Per aggiustamento osmotico, si intende la capacità di sintesi ed accumulo di soluti osmoticamente attivi e metabolicamente compatibili che consente alla pianta di abbassare il potenziale osmotico, in modo da ridurre gli effetti di uno stress di natura ambientale (Gucci, 2001). Al diminuire dell'acqua nel suolo, il potenziale osmotico dell'olivo diminuisce anche di oltre 1,5 MPa; tale aggiustamento sembra esser dovuto all'accumulo di mannitolo, glucosio ed acidi organici (Gucci, 1998 et al.). Sia l'aggiustamento osmotico che la diminuzione di potenziale idrico fogliare, dovuta anche alla rigidità delle pareti cellulari della foglia di olivo, aumentano il gradiente di potenziale tra chioma e apparato radicale, rendendo possibile l'estrazione di acqua dal suolo a potenziali idrici molto bassi, fino a -2,5 Mpa (Gucci, 2003).

3.5 Metodo di stima dei consumi idrici

La disponibilità di dati sullo stato e la quantità della risorsa idrica, nonché sul contesto fisico-morfologico del territorio, è requisito fondamentale per poter effettuare un razionale uso 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 decisamente importante. La vegetazione e le caratteristiche topografiche, inoltre, influenzano in maniera decisiva sui suddetti fenomeni.

A loro volta le dinamiche di immagazzinamento e rilascio dell'acqua nel suolo governano diversi aspetti del funzionamento degli ecosistemi.

Importante è conoscere la quantità di acqua che le piante hanno a disposizione in modo da somministrare, nel caso dell'irrigazione, la quantità di acqua per riportare il suolo alla capacità idrica di campo.

Per la stima del contenuto idrico nel suolo i metodi maggiormente utilizzati per effettuare queste misure sono il metodo della riflettometria nel dominio del tempo TDR

(Time Domain Reflectometry) e della frequenza FDR (Frequency Domain Reflectometry) che forniscono il valore di contenuto idrico in unità di volume. La differenza consiste nel fatto che il TDR misura il tempo di transito di un impulso lungo una sonda immersa nel suolo, mentre FDR esegue una misura di capacità o di impedenza di una sonda immersa nel terreno. I sensori che usano questi metodi, se calibrati per bene, secondo il tipo di terreno in cui sono inseriti, eseguono misure accurate anche in terreni con problemi di salinità;

L'uso del Tensiometro che indica lo sforzo richiesto alla pianta per estrarre acqua dal suolo, ed è quindi un indice indiretto del contenuto di umidità del suolo.

Lo scopo dei metodi di stima è quello di fornire un utile strumento per la programmazione irrigua.

A fini pratici applicativi, i metodi più utilizzati per la stima dei consumi idrici delle colture sono quelli empirici che permettono di stimare l'evapotraspirazione della coltura (ETp) attraverso la conoscenza dell'evapotraspirazione della coltura di riferimento (ET0), stimata seguendo l'approccio FAO (Allen et al., 1998), ed i coefficienti colturali:

$$ETp = ET0 * Kc * Kr$$

in cui ETp è l'evapotraspirazione massima della coltura, ET0 è la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera, Kc il coefficiente colturale tipico della specie (Allen et al., 1998) e Kr è l'indice di copertura del suolo.

Altro metodo empirico utilizzato per il calcolo della evapotraspirazione potenziale (Etp), 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 Etp, 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. DISPONIBILITÀ IDRICHE E SVILUPPO DEL FRUTTO

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 di trarre diversi vantaggi, tra i quali i più importanti riguardano l'aumento della produzione di olive e di olio per albero, della pezzatura dei frutti, del rapporto polpa/nocciolo; inoltre, contribuisce a mitigare l'alternanza di produzione, con le positive ricadute sulla qualità dell'olio, diminuendo la variabilità dovuta ad annate particolarmente siccitose o alla stessa alternanza di produzione (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).

Il volume di suolo a disposizione di ogni singolo albero nell'oliveto e la tessitura del terreno giocano un ruolo fondamentale nel determinare i risultati produttivi indotti dall'irrigazione. In suoli poco profondi e con scarso tenore in argilla, la capacità di immagazzinamento di acqua è molto limitata e l'irrigazione diventa quasi indispensabile. In tali casi, la gestione dell'irrigazione rappresenta uno dei punti critici per il successo dell'oliveto. Analogamente, in oliveti con alte densità d'impianto è necessaria l'irrigazione per conseguire i benefici della coltivazione intensiva.

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, 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. Pertanto, tale rallentamento è più evidente in curve espresse su base di volume o peso fresco del frutto che da curve in peso secco (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, importante è 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).

Negli oli alimentari sono stati rilevati quantitativi di acqua che vanno da 300 a 3000 ppm (mg/kg), quantitativi spesso al di sopra dei contenuti di saturazione (valutabili in 250-300 ppm, in assenza di componenti minori). La spiegazione di queste quantità è data dalle microgocce di acqua dispersa nell'olio, stabilizzata dall'aggregazione-dissoluzione di un gruppo di sostanze polari, idrosolubili e idrocompatibili che vanno da sali minerali, acidi liberi, dicliceridi, fosfolipidi, fino a sostanze alcoliche e fenoliche. Si tratta di dispersione e non di sospensione, data l'impossibilità di separare con mezzi fisici l'acqua, insieme ai suoi componenti, dall'olio. La quantità di acqua che si trova dispersa negli oli vergini di oliva è relativamente variabile in base alla tecnologia di estrazione e alla disposizione di componenti minori che agiscono da surfattanti. Tale dispersione rende la struttura micellare stabile. Calore e freddo intensi destabilizzano la dispersione, confermando che si tratta di una dispersione metastabile, cioè le micelle sono quantitativamente al di sopra del contenuto d'acqua corrispondente alla saturazione.

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.

Rispetto ai parametri analitici che permettono di classificare l'olio d'oliva nelle differenti categorie commerciali, quali grado di acidità, assorbanza nell'ultravioletto (K270) e numero di perossidi, solo per quest'ultimo parametro diversi autori sono d'accordo nel segnalare che non vi è nessuna influenza 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.

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.

Risultati altrettanto 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 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.

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 la dose di irrigazione (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. Come osservato in altre specie, su tale

processo un ruolo chiave è esercitato dall'enzima fenilalanina ammonio-liasi (PAL, E.C. 4.3.1.5) la cui attività, a seguito della deaminazione della fenilalanina, porta alla formazione dell'acido trans-cinammico precursore delle sostanze polifenoliche, (Camm e Neil Towers, 1973; Guerra et al., 1985; Hrazdina e Jensen, 1992).

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.

Le caratteristiche sensoriali degli oli in relazione alla irrigazione sono state studiate da diversi autori (Salas et col., 1997; Patumi et col., 1999). L'attributo sensoriale maggiormente influenzato dall'irrigazione è l'amaro, che è determinato dalla presenza dei polifenoli, mostrando intensità minori negli oli provenienti da piante irrigate; gli oli provenienti da regime di asciutto hanno ottenuto un maggiore punteggio nella valutazione organolettica. L'analisi sensoriale degli oli ottenuti da piante irrigate e da piante non irrigate ha rilevato, in ogni caso, l'assenza di difetti; gli oli sono stati classificati nella categoria extra vergine indipendentemente dalla loro provenienza (irriguo o asciutto).

5. IL DEFICIT IDRICO CONTROLLATO NELL'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 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 letteratura, fra le modalità di somministrazione dell'acqua più utilizzate vi è il deficit idrico controllato o regolato, con cui l'apporto idrico è 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_0}) durante il periodo di accrescimento del frutto (da tre settimane dopo l'allegagione a prima dell'inizio dell'invaatura) 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 allegagione. 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).

La fase prima dell'invasatura e maturazione è un momento critico nel quale 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). E' importante che in questa epoca 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 ha un 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 RDI 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). Allegri et al. (2002) 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_o, 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).

Rispetto alle indagini sull'impatto della pratica irrigua sulla produttività di un oliveto, gli studi che si sono occupati di valutare l'influsso del deficit idrico sulla qualità dell'olio sono abbastanza recenti e, di conseguenza, molti aspetti in materia sono ancora poco chiari.

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.

I primi studi sull'argomento, hanno focalizzato la loro attenzione sull'effetto del deficit idrico sul contenuto complessivo di polifenoli e sulla composizione acidica, mostrando un effetto negativo dell'irrigazione sul tenore di sostanze fenoliche (Patumi et al. 2002) nell'olio di oliva e un effetto nullo sui rapporti tra gli acidi grassi (Inglese et al. 1996, Patumi et al. 1999).

Berenger et al (2006) hanno riscontrato un aumento del livello di acidi grassi polinsaturi in oli ottenuti da piante irrigate, a discapito della formazione di acidi

monoinsaturi e in particolare di acido oleico. Tuttavia questa relazione non è stata confermata dai dati rilevati nel secondo anno della suddetta indagine, tanto che, il rapporto tra acidi monoinsaturi e polinsaturi non ha mostrato differenze significative tra le tesi “asciutto” e “irrigato”.

Tovar et al. (2002) hanno mostrato, in un esperimento condotto su giovani piante di Arbequina, una negativa correlazione tra i volumi di acqua somministrati e la concentrazione di secoroidoidi negli oli extravergini di oliva. Gli stessi autori trovarono che la maggiore concentrazione di lignani si riscontrava nelle piante allevate con i minimi regimi irrigui.

Le piante che sono soggette a certi livelli di stress idrico producono quindi oli con più elevate concentrazioni di polifenoli totali, che presumibilmente sono già più abbondanti nelle drupe.

Lo stato idrico della pianta, oltre che sul contenuto totale di composti fenolici nelle drupe e negli oli, incide anche sulla composizione del quadro fenolico complessivo. Sono state infatti rilevate profonde differenze nella concentrazione dei derivati dell'oleuropeina tra piante irrigate e piante in asciutto, mentre il contenuto di lignani sembra non dipendere dalla disponibilità di acqua (Servili et al. 2007).

Infatti, gli oli da piante soggette a stress idrico hanno una maggiore concentrazione di secoroidoidi mentre contengono meno tirosolo e idrossitirosolo.

Tale minore concentrazione di alcoli fenoli potrebbe essere la conseguenza di un inibizione, in situazioni di stress idrico, delle esterasi endogene dei frutti che idrolizzano il legame tra l'acido elenolico dei secoroidoidi agliconi e il residuo fenolico (Servili et al. 2007). 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).

I bouquet degli oli ottenuti da piante stressate risultano quindi essere molto poveri sia per la minore quantità di sostanze volatili sia per la minore varietà di queste ultime.

5.1 Metodo di irrigazione

Le modalità di restituzione idrica riguardano anche la tipologia di metodo irriguo adottato. Già da tempo si è manifestato un interesse crescente verso le tecniche di microirrigazione, dettato dal fatto di utilizzare nella maniera più razionale possibile le sempre più scarse risorse idriche (Poni, 2005).

Con l'adozione dell'irrigazione a goccia, si riesce a contenere le perdite per evaporazione e ad annullare quelle per ruscellamento, per percolazione e quelle che si verificano durante la distribuzione.

In presenza di metodi irrigui localizzati che bagnano solo una parte del volume di suolo interessato dall'apparato radicale, da studi effettuati, è consigliabile 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 ad opera delle piogge, 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 in 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 (accademia nazionale dell'olivo, Basilicata).

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'olivicoltura 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 di fabbisogno di acqua.

Poste tali premesse, l'obiettivo della presente attività di ricerca è 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 iniziate nell'anno 2008 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 e costituiti 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.

Le piante oggetto di studio, piante autoradicate della cultivar Arbequina, sono state 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 1.9000 piante ad ettaro.

L'oliveto è dotato di un sistema di irrigazione con ali gocciolanti con irrigatori in line di tipo autocompensante da 1,6 l/ora; gli irrigatori sono disposti alla distanza di 50 cm l'uno dall'altro, quindi una 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.

Nel complesso sono stati posti a confronto 5 diversi trattamenti rappresentati da un controllo asciutto (**T0**) e 4 diversi quantitativi di acqua erogati (**T1, T2, T3 e T4**). E' stato adottato lo schema sperimentale a blocchi randomizzati, complessivamente 5, costituiti da 25 piante ciascuno, all'interno dei quali 5 alberi, selezionati a random, nel corso delle prove, sono stati oggetto dei rilevamenti in programma.

Il fabbisogno irriguo è stato calcolato attraverso la procedura suggerita nel quaderno FAO num. 56 (Allen et al., 1998). A tal fine i valori di ET_0 (evapotraspirazione potenziale) sono stati desunti dal Servizio Informativo Agrometeorologico della Sicilia (SIAS), stazione di Marsala (TP). Per quanto concerne il valore del K_c , è stato scelto 0.65. Il coefficiente di copertura del suolo K_r è stato stimato empiricamente sulla base delle dimensioni delle piante (0,70).

I volumi irrigui stagionali, effettivamente somministrati nelle diverse tesi durante la stagione irrigua sono stati:

- anno 2008 (luglio – ottobre) rispettivamente nelle tesi T4: 2714 m³/ha, T3: 2214 m³/ha, T2: 1904 m³/ha, T1: 1600 m³/ha e T0: 60 m³/ha;
- anno 2009 (luglio – ottobre) rispettivamente nelle tesi T4: 1755 m³/ha, T3: 1320 m³/ha, T2: 873 m³/ha, T1: 436 m³/ha e T0: 340 m³/ha;

Tab.1 Volume di acqua (m³/ha) distribuito per le diverse tesi.

<i>Year</i>	<i>% of Etc</i>	<i>Water volume (mm/ha)</i>
2008	100	2714
	81	2214
	70	1904
	58	1600
	2	60
2009	63	1755
	47	1320
	31	873
	15,5	436
	12	340

Potenziale idrico fogliare

Per la misurazione è stata utilizzata la camera a pressione di Scholander, con la quale è possibile misurare il potenziale base, il potenziale fogliare e il potenziale dell'asse.

I rilievi di potenziale idrico sono stati effettuati durante tutta la giornata a partire dall'alba (predawn) fino al pomeriggio (stem).

Il potenziale xilematico (stem) è stato misurato durante la giornata ad intervalli di 3 ore su foglie non traspiranti, perché precedentemente insacchettate con film di

plastica e di alluminio (Begg e Turner, 1970). Il potenziale stem è il risultato della traspirazione dell'intera pianta, della disponibilità d'acqua nel suolo e della conduttività idraulica radici-suolo (Chonè et al., 2001).

Scambio gassoso

In occasione di ciascun rilievo di potenziale idrico sono stati misurati i principali parametri ecofisiologici quali: la fotosintesi netta, chiamata anche velocità di assimilazione della CO₂, (A_{max} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la traspirazione (E , mm s^{-1} o $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e la conduttanza stomatica dell'H₂O (g_s , mm s^{-1} o $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A partire da questi parametri sono state messe in evidenza la relazione fra fotosintesi netta e traspirazione e la relazione fra fotosintesi netta e la conduttanza stomatica. Inoltre, è stata calcolata l'efficienza dell'uso dell'acqua (W.U.E., $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) come rapporto tra fotosintesi netta e traspirazione.

Le misure sono state effettuate con un analizzatore di gas a infrarosso (IRGAs) collegato con una camera (*cuvette*) entro la quale viene posta la foglia. La concentrazione di CO₂ nella camera diminuisce in seguito alla attività fotosintetica dei tessuti fogliari, ed il contenuto idrico nell'aria aumenta per la traspirazione. La velocità con cui diminuisce la CO₂ è il tasso di fotosintesi, invece il tasso di aumento di vapore d'acqua è la velocità di traspirazione.

La percentuale di fotosintesi è stata calcolata attraverso la seguente formula:

$$R = \frac{F \times \Delta c}{g_{fw}}$$

Dove:

R = percentuale di fotosintesi ($\mu \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$);

F = flusso di aria ($\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$);

Δc = [CO₂] differenza di CO₂ in entrata e in uscita (ppm).

In particolare, in flusso di aria è ottenuto dalla conversione del flusso volumetrico (F_v) come descritto nell'equazione seguente:

$$F = \left(\frac{F_v}{1000} \cdot \frac{1}{22,4} \cdot \frac{273,15}{(273,15 + T^\circ\text{C})} \cdot \frac{p}{101,3} \cdot \frac{1}{60} \right)$$

Dove:

F = flusso di aria ($\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$);

F_v = flusso volumetrico di aria ($\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$);

22.4 = volume in dm^3 di una mole di aria a S.T.P.;

T = la temperatura registrata durante la misurazione ($^{\circ}\text{C}$);

p = pressione atmosferica durante misurazione (Mpa).

I rilievi sono stati effettuati in due diversi momenti della giornata: mattino e pomeriggio.

Accrescimento dei frutti

Con cadenza settimanale a partire dal mese di agosto e fino alla raccolta, è stato monitorato l'accrescimento dei frutti su un campione attraverso l'impiego di un calibro meccanico con cui sono state rilevate le misure del diametro equatoriale, longitudinale e trasversale della drupa.

Accrescimento vegetativo

Con cadenza settimanale, è stato monitorato l'allungamento vegetativo dei rami precedentemente etichettati.

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.

Ai fini delle analisi di tipo qualitativo, su un campione di 30 frutti per pianta sono state effettuate, con calibro meccanico, le misure del diametro equatoriale, longitudinale e trasversale della drupa e del nocciolo. Inoltre, con una bilancia elettronica di precisione, è stato rilevato il peso di ciascuna drupa e quello del corrispondente nocciolo per poter calcolare il rapporto polpa/nocciolo.

Partite di frutti provenienti da ciascuno dei trattamenti a confronto, sono stati moliti subito dopo la raccolta, presso il frantoio aziendale. E' 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.

RISULTATI

I parametri climatici, ottenuti dal SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano) stazione meteorologica di Marsala, hanno mostrato in due anni di osservazioni, un deficit di acqua severo durante la stagione irrigua. Infatti, nessuna pioggia sopra della soglia di 4 mm è stata osservata dalla prima settimana di Maggio fino alla prima settimana di Settembre dell'anno 2008. Precipitazioni più alte sono state registrate nel corso della prima settimana di settembre (40 mm) e nel corso della prima settimana di ottobre (70 mm).

Nell'anno 2009, sono stati registrati più di 20 mm di pioggia poco prima dell'inizio della stagione calda che è durata da Giugno fino alla fine di Agosto. Le precipitazioni registrate da Settembre ad Ottobre sono state notevolmente più alte nel 2009 che nel 2008.

La richiesta evapotraspirativa dell'aria (ETP), nel 2008 così come nel 2009, è stata mediamente superiore a 50 mm fino a tutto il mese di Agosto, per poi diminuire, con il manifestarsi dei primi eventi piovosi, in modo graduale sino a 25 mm circa alla fine di Ottobre .

Nei mesi primaverili ed autunnali le temperature diurne hanno mostrato un'elevata escursione termica con temperature massime di circa 33°C e minime di 22 °C (Figura 1). Nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) le temperature minime sono risultate più elevate 27°C, mentre le massime hanno mantenuto pressappoco i valori registrati nei mesi precedenti con picchi fino ai 37 °C (Figura 1).

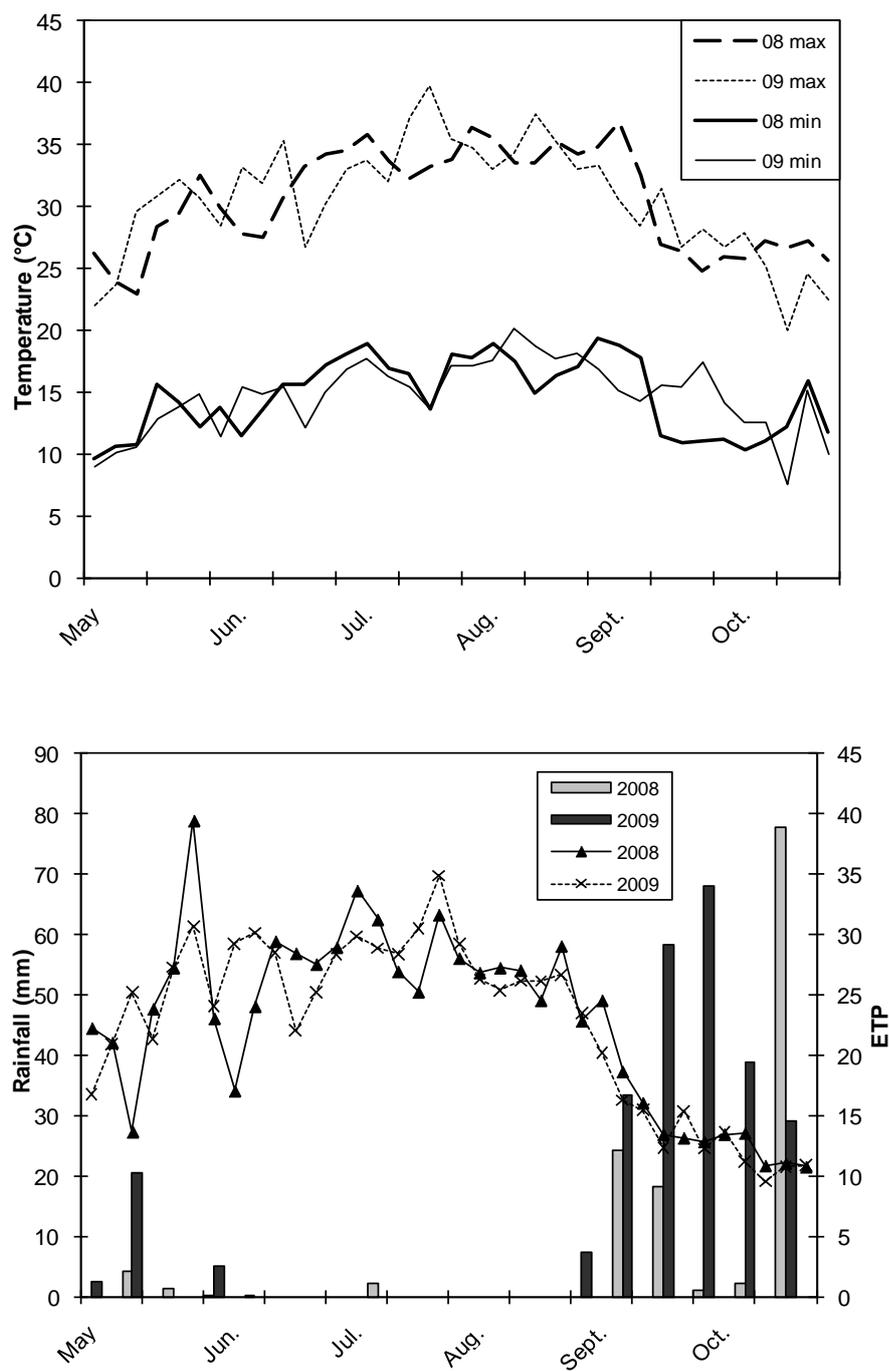


Fig 1. Andamento stagionale (maggio-ottobre) dei parametri climatici (precipitazioni, evapotraspirazione potenziale e temperature minima e massima) della zona sperimentale nell'anno 2008 e 2009

La produzione è cambiata positivamente in relazione al regime idrico adottato con l'irrigazione. In particolare, nella stagione 2008, le differenze tra piante non irrigate T0 e quelle irrigate, con 1900 m³/ha T2, ha messo in evidenza l'incremento di

produzione pari al 37%, mentre, con l'impiego di volumi di acqua stagionali, che eccedono 1900 m³/ha, non ha fatto registrare alcun incremento significativo della produzione media per pianta (figura 2). Sulla base dei volumi irrigui effettivamente somministrati alle piante, come misurato dai contatori, è possibile affermare che è stato sufficiente un apporto irriguo del 70% del fabbisogno irriguo della coltura per aumentare significativamente la produzione rispetto al controllo non irrigato e che volumi maggiori non hanno determinato variazioni di produzione significative.

Nel 2009 la risposta delle piante in termini di produzione è risultato più rappresentativo che nel 2008, infatti come mostrato in fig.2, causata del diverso trattamento irriguo, la produzione è risultata significativamente più alta e, inoltre, alla stessa quantità di acqua ha corrisposto una produzione più alta nell'anno 2009 rispetto all'anno 2008.

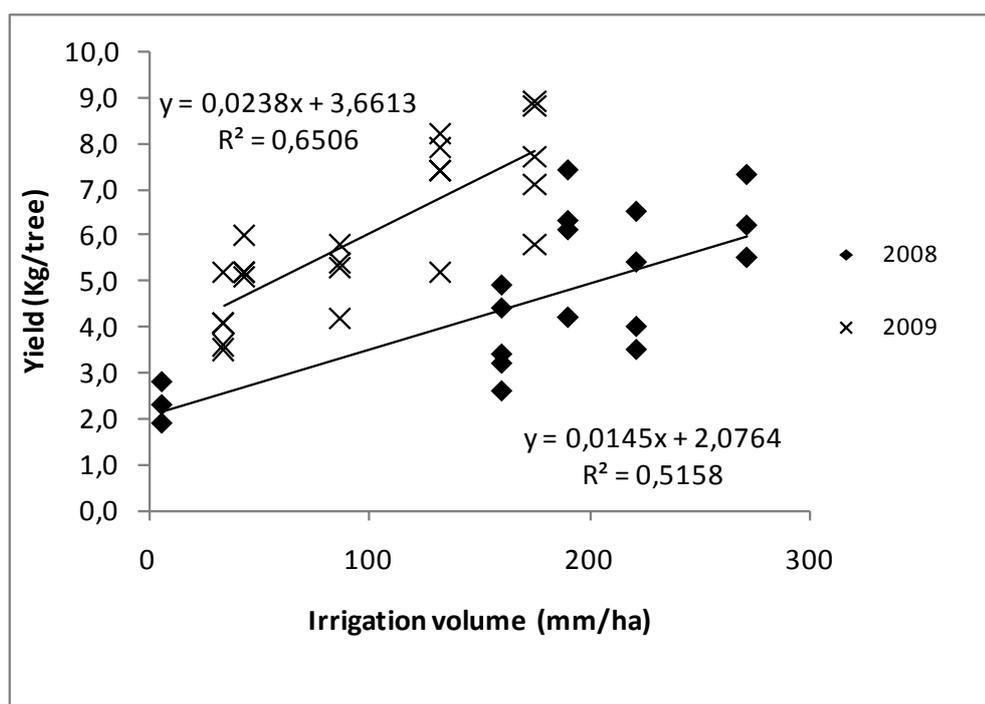
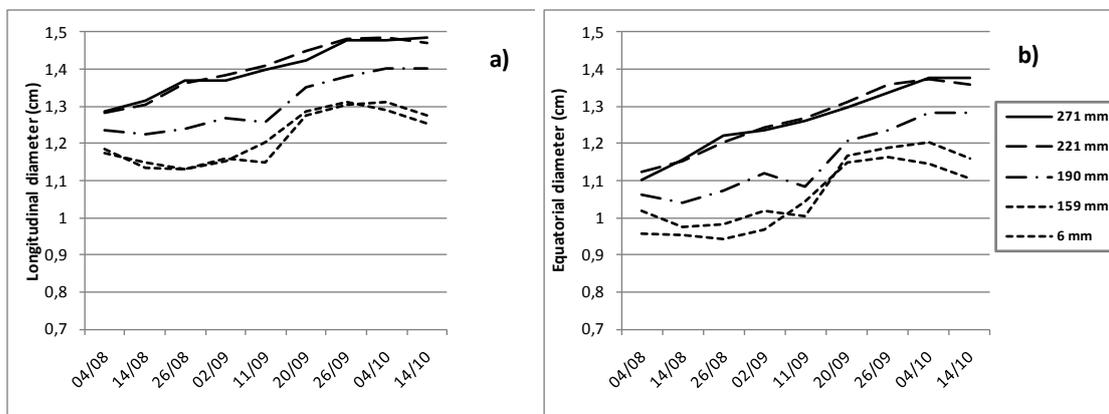


figura 2. Produzione (kg/pianta) in relazione con i diversi regimi idrici.

L'andamento della crescita dei diametri longitudinali ed equatoriali delle drupe, nel 2008, ha mostrato una risposta positiva al trattamento irriguo (figura 3a e 3b). La differenza più rappresentativa fu evidenziata tra il regime irriguo più alto (T4 = 2714 m³/ha) ed il regime irriguo più basso (T0 = 60 m³/ha) rilevando come l'irrigazione

abbia determinato un accrescimento continuo delle drupe; la buona disponibilità di acqua irrigua durante i mesi più caldi ha permesso che il processo di distensione cellulare avvenisse in modo normale. I frutti delle piante delle tesi T0 (T0 = 60 m³/ha) e T1 (T1 = 1595 m³/ha) non hanno mostrato differenze, così come per le piante completamente irrigate T4 (T4 = 2714 m³/ha) e quelle irrigate all' 81% T3 (T3 = 2214 m³/ha). I frutti dalle piante della tesi T0 e T1, durante il mese di Agosto, hanno subito un arresto dell'accrescimento in coincidenza della richiesta evapotraspirativa più elevata. Nella prima decade di Settembre, dopo il primo evento piovoso, è stato registrato un lento recupero della crescita delle drupe, ma, nonostante la ripresa della crescita, i frutti delle tesi T0 e T1 non hanno fatto registrare i medesimi valori rilevati per la tesi T4; ad un livello intermedio l'andamento della crescita dei frutti delle piante T3. Tali differenze nei parametri biometrici del frutto pur non avendo avuto alcuna influenza sul peso medio finale dei frutti delle diverse tesi, risultano importanti ai fini del mantenimento di un migliore stato idrico delle piante in quanto espressione di un maggior contenuto di acqua utilizzabile dalla pianta in casi di forte stress idrico (Cacioppo et al., 2008). Al contrario, nel 2009 la dimensione dei frutti non è apparsa positivamente correlata col trattamento irriguo (il fig. 3); infatti, diametro longitudinale (fig.3c) ed diametro equatoriale (figo 3d) nel 2009 sono di dimensioni maggiori nelle piante delle tesi T2 (873 m³/ha) e T3 (1318 m³/ha); le drupe dalle piante irrigate con 1755 m³/ha (T4) 436 m³/ha (T0) e 340 m³/ha (T1) è caratterizzato dal più piccolo diametro; anche in questo caso si registra un arresto della percentuale di crescita dei frutti durante i mesi più caldi e asciutti.



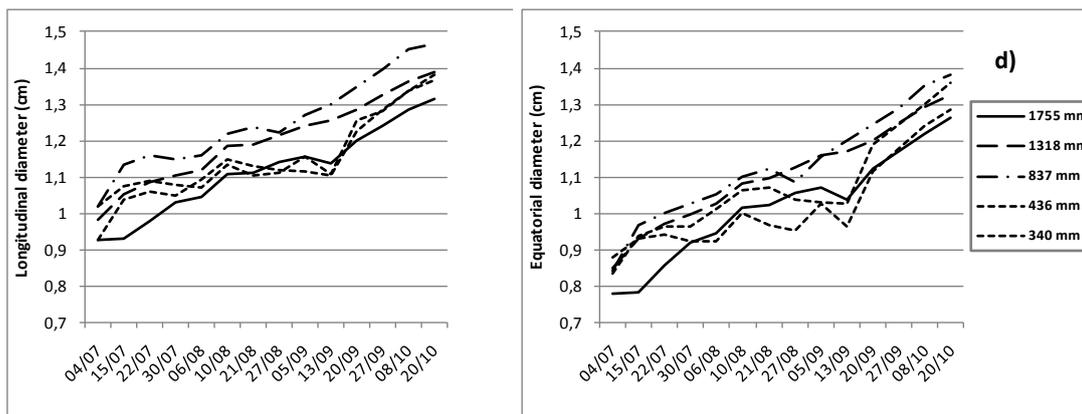


Figura 3. Diametro longitudinale ed equatoriale di drupe su alberi trattati durante la stagione di crescita 2008 (a, b) e 2009 (c, d) in relazione ai diversi regimi di acqua.

La produzione e il rapporto polpa/nocciolo dei frutti sono stati positivamente influenzati dalla quantità di acqua somministrata con l'irrigazione. In dettaglio, si rileva come passando dal trattamento T0 alla tesi T2 vi sia stato un incremento della produzione pari al 37,5%. I trattamenti irrigui T3 e T4 non hanno, invece, fatto registrare alcun incremento significativo della produzione media a pianta rispetto alla tesi T2, attestandosi su un range di valori compreso tra 4,3 e 5,6 kg/pianta per l'anno 2008 (fig. 4a). Nel 2009, i valori di diametro longitudinale ed equatoriale aumentarono in coincidenza alla tesi T2, per poi decrescere gradatamente. La produzione a partire dalla tesi T2, registra incrementi significativi (fig. 4b).

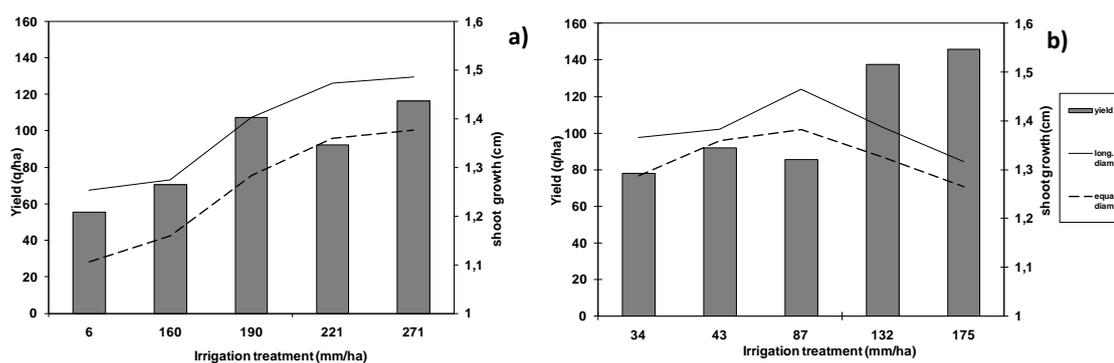


Figura 4. Diametro longitudinale ed equatoriale dei frutti, resa per ettaro stimato per ogni trattamento di irrigazione nel 2008 (a) e 2009 (b).

Il peso della vegetazione asportata con la potatura è aumentata in relazione al quantitativo di acqua somministrata.

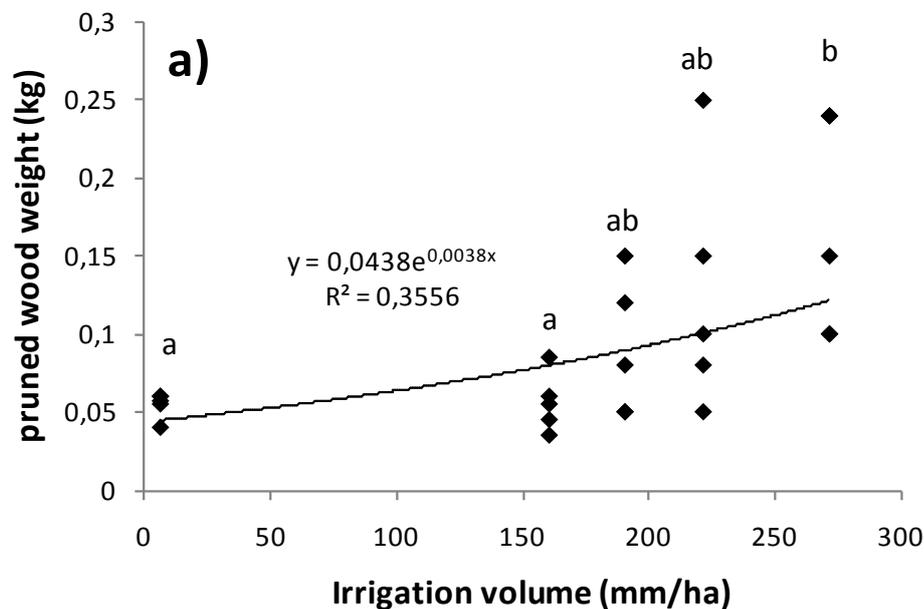


Fig 5 . Peso legno di potatura misurata su 02-03-09 (a),

Percentuale di olio d'oliva estratto dal campione di olive è stata influenzata negativamente dall' irrigazione, quindi la produzione di olio non riflette il produzione di olive (figura 6).

Il contenuto totale di fenoli degli oli di diversi trattamenti generalmente diminuiscono con l'aumento del contenuto di acqua, raggiungendo i valori più alti in T1 (che, contrariamente alla tendenza, era superiore a T0) e il valore più basso in T4.

Quindi la resa in olio è risultata più elevata nelle tesi meno irrigate T0 e T1, con valori prossimi al 20%; le altre tesi non si sono differenziate tra di loro, avendo fatto registrare una resa compresa fra 8,2 e 13,8%. Per effetto combinato della produzione e dei valori di resa in olio i quantitativi di olio prodotti per ettaro non hanno mostrato valori significativamente differenti tra i diversi trattamenti irrigui

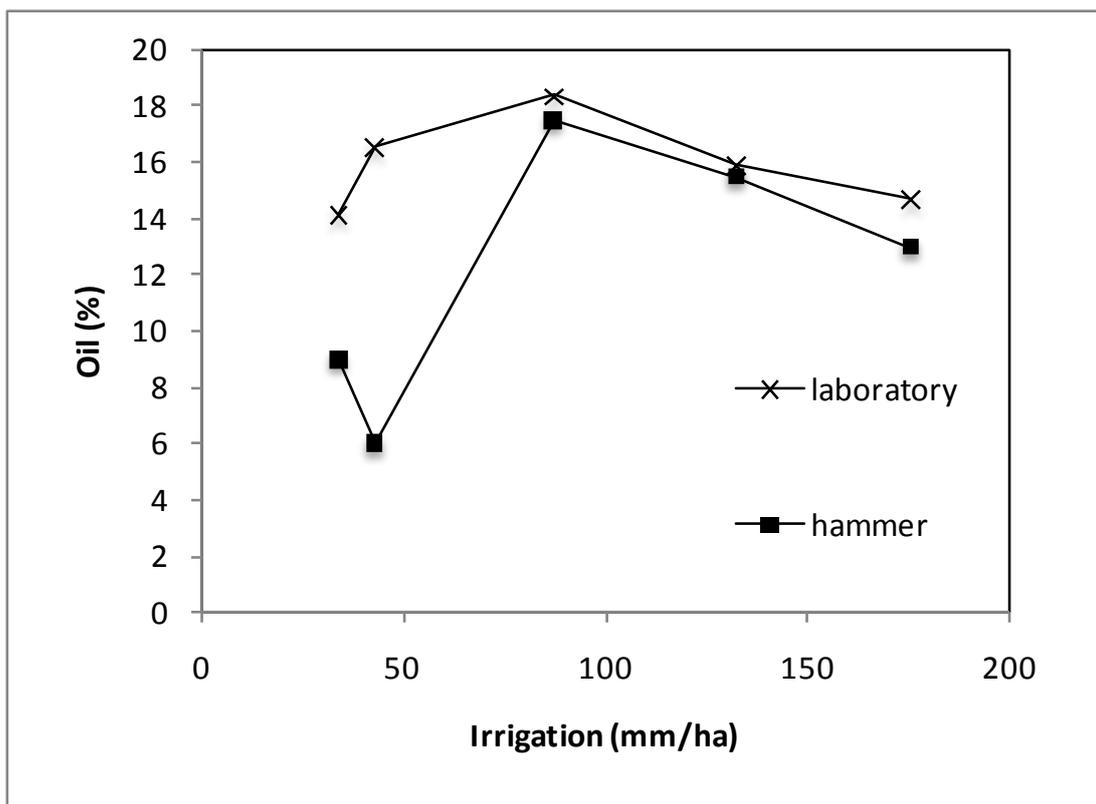


Figura 6. Percentuale di olio estratto dal campione di olive calcolato in laboratorio ed in frantoio (2008)

I diversi apporti irrigui somministrati alle piante hanno determinato differenze di potenziale xilematico (Stem Water Potential; SWP), misurato nel mese di ottobre, già a partire dall'alba. In particolare, è stata la tesi T0 a far registrare il valore di potenziale xilematico più negativo (- 4,4 Mpa); per le restanti tesi non si sono evidenziate differenze sullo stato idrico iniziale, che mediamente ha fatto registrare valori prossimi a -2,2 Mpa. Durante il corso della giornata i potenziali si sono abbassati per tutte le tesi, fino a raggiungere a mezzogiorno (Midday; MSWP) i valori più negativi. E' da rilevare che il massimo stress è stato raggiunto dalle piante meno irrigate (T0 e T25), con valori rispettivamente pari a - 4,8 e -3,8 Mpa. Le altre tesi hanno subito una minore diminuzione del potenziale xilematico, in maniera concorde alla quantità di acqua somministrata; tali valori, comunque, non sembrano denunciare uno stato severo di stress delle piante. Le piante di tutte le tesi irrigue hanno mostrato una buona capacità di ripristino dello stato idrico a fine giornata (ore 17), riportandosi a valori di potenziale compresi tra -0,6 e -0,2 Mpa; nella tesi T0 l'accumulo del deficit idrico è stato tale da

non consentire una normale reidratazione dei tessuti, restando su valori di potenziale di 1,9 Mpa.

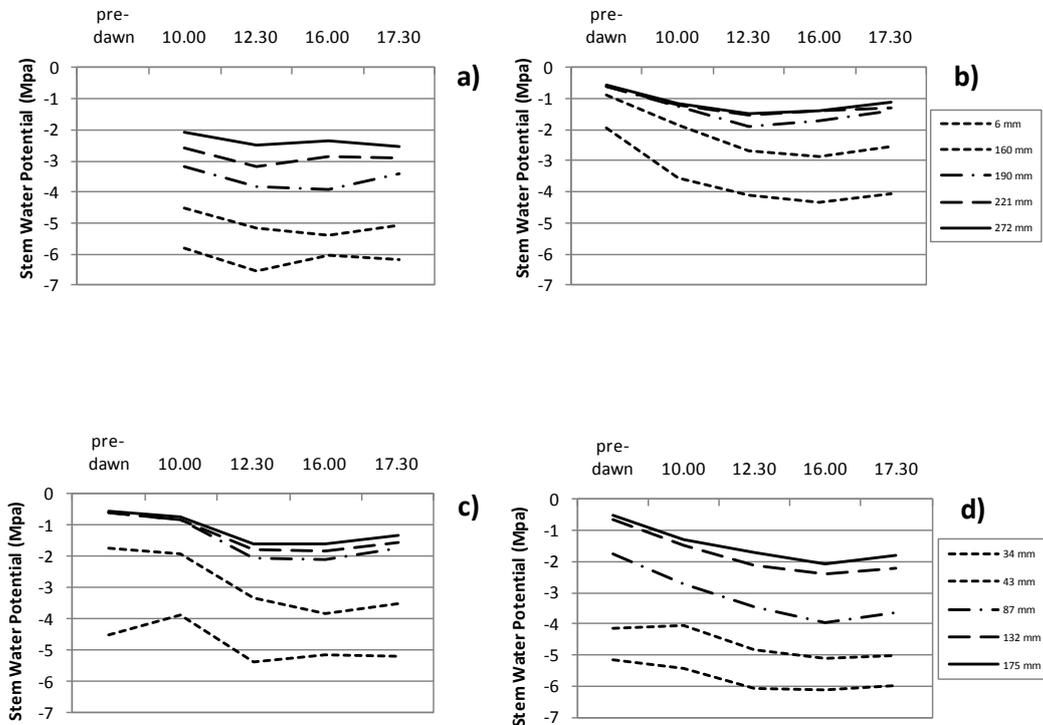


Fig. 7. Andamento giornaliero dei potenziali idrici (SWP) in quattro diverse epoche 04/09/08 (A), 09/10/08 (b), 11/08/09 (c) e 01/09/09 (d).

Nel 2009 le prime misurazioni di potenziale sono state fatte all'inizio della seconda decade di agosto, quando le piante provenivano da un periodo di siccità severa; conseguentemente i valori midday è variava tra $-1,5$ Mpa e -2 Mpa per i meno stressati (T4, T3 e T2), mentre T0 e T1 sembravano essere i più sollecitati ($-5,2$ e $-4,8$ Mpa). Sulla seconda data di misurazioni, all'inizio di settembre, dopo 3 mesi senza pioggia, le piante erano più stressate; **piante** T0 raggiunto i valori di -6 Mpa mentre -5 Mpa è stato il valore più basso ottenuto per le piante T1 piante

Come previsto, il rapporto tra potenziali idrici e la resa per pianta è stato positivo in entrambi gli anni (Fig. 8). In realtà, le piante che hanno ricevuto più acqua era meno stressati (valori più alti SWP) e, di conseguenza, ha prodotto di più. E' importante sottolineare che l'andamento di questo rapporto era fortemente superiore nel 2009 rispetto al 2008, come risulta dalla equazione della grafica (Fig. 8).

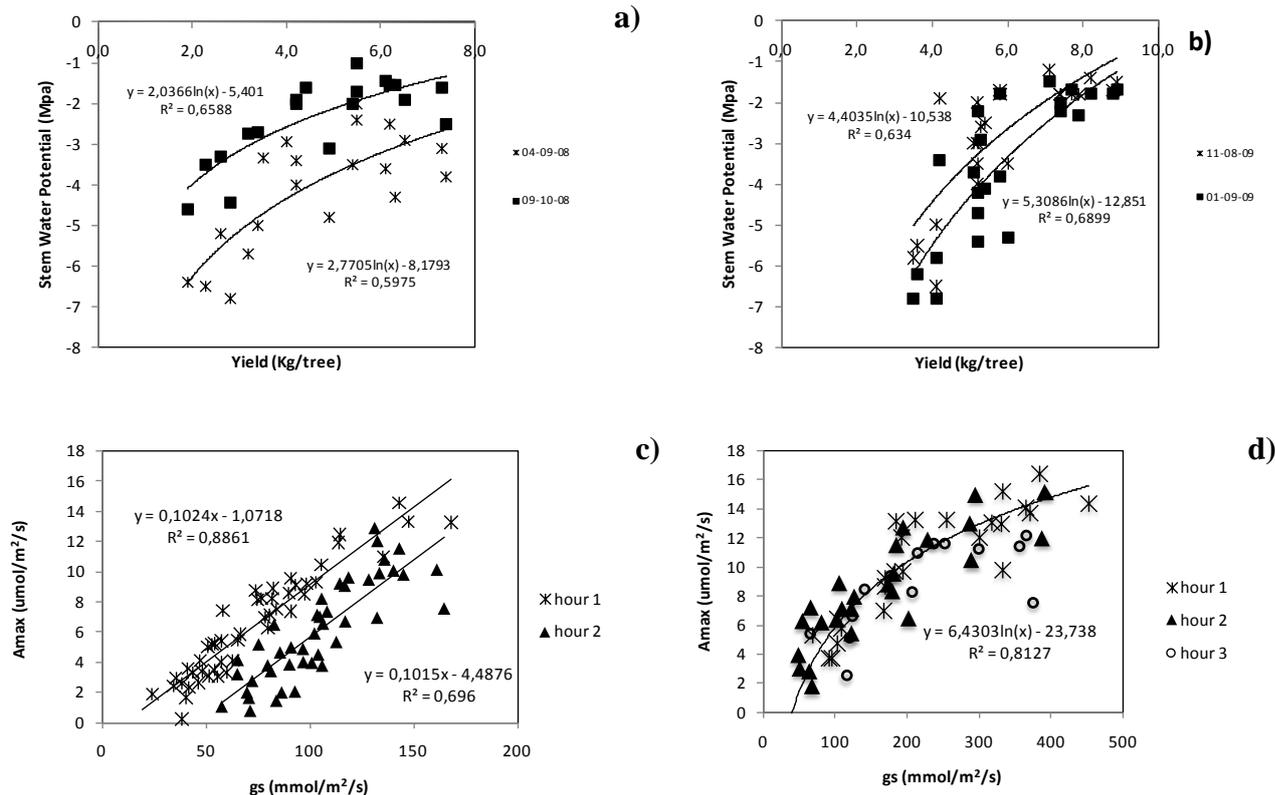
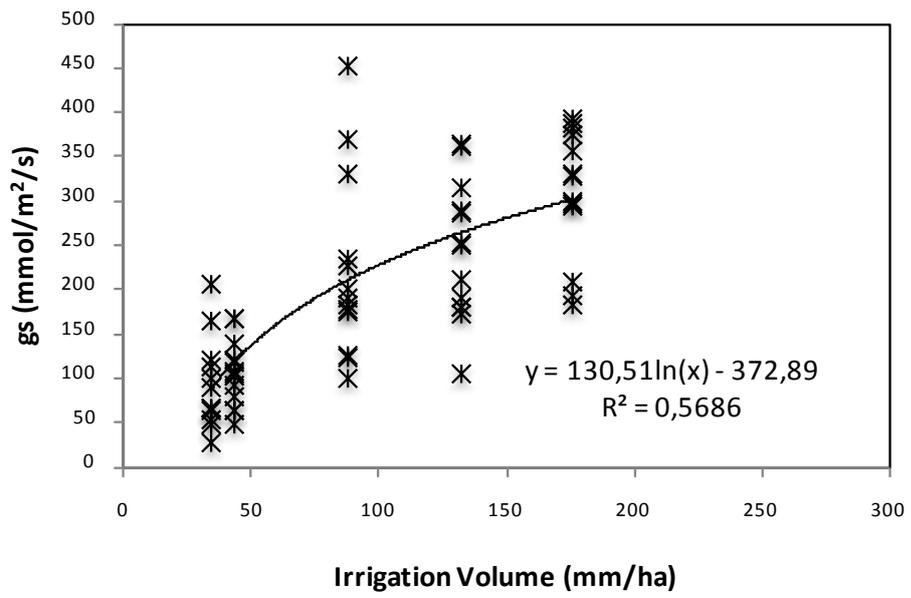
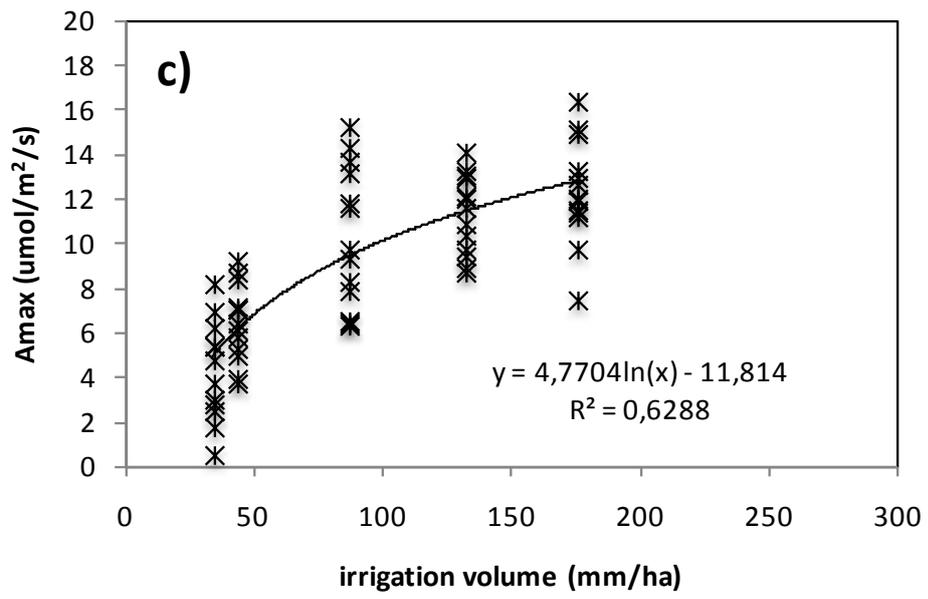


Figura 9 a-b), Relazione tra stato idrico della pianta, quantificato usando i potenziali idrici misurati all'asse, e produzione di olive per pianta, c-d), Relazioni tra fotosintesi netta e conduttanza stomatica in due diverse ore del giorno (1 ora = 11:30; ore 2 = 15,30 del mattino)

L'aumento dei valori Amax e gs è apparso fortemente e positivamente correlato con l'irrigazione e sono stati misurati i potenziali idrici a mezzogiorno (Figura 9).

Fotosintesi netta ($A = \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e la conduttanza stomatica ($gs = \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sono stati positivamente colpiti dalla irrigazione sia nel 2008 (fig.10a e fig.10b) e 2009 (fig. 10 c, 10d) seasons.



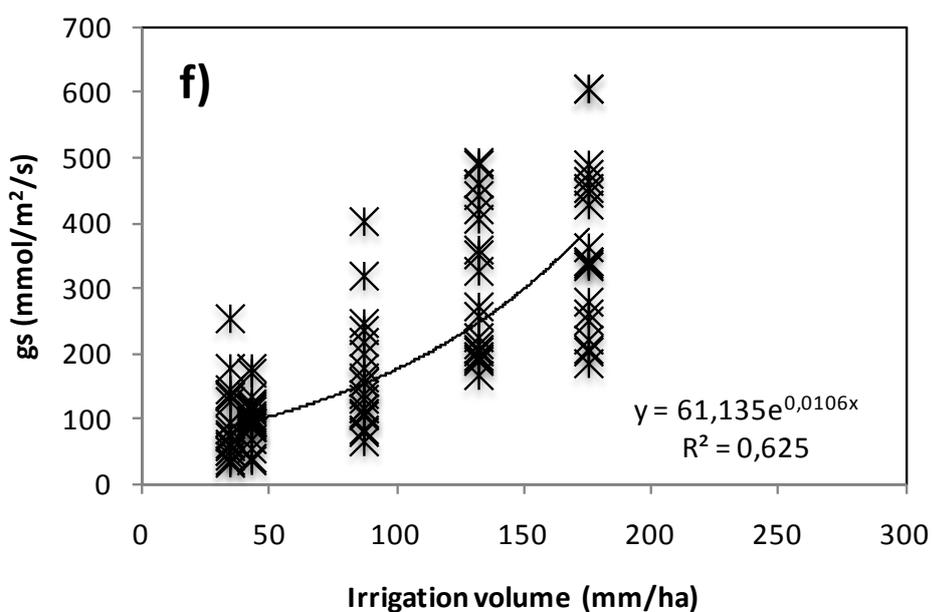
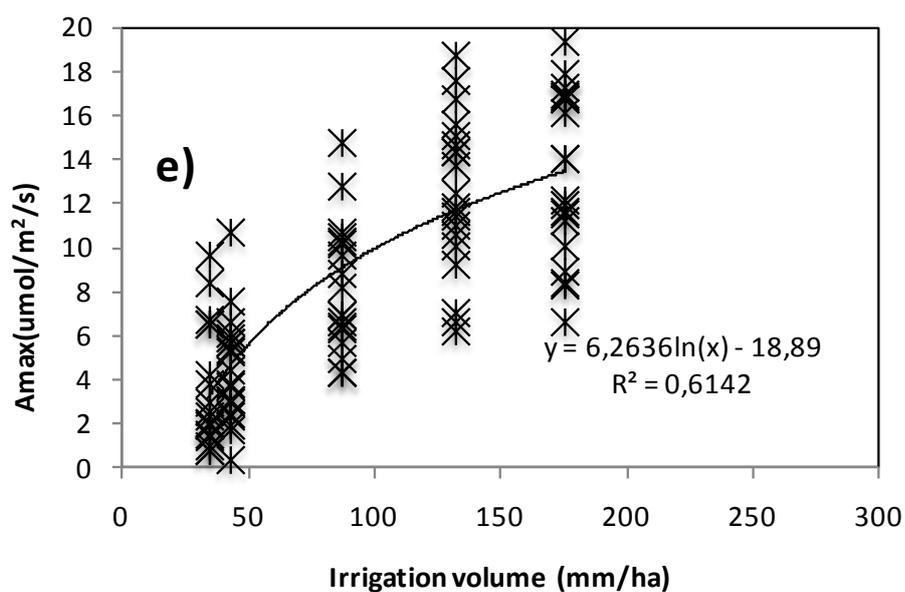


figura 10. Relazioni tra fotosintesi netta e il volume di irrigazione (a), conduttanza stomatica e il volume di irrigazione (b), fotosintesi netta e conduttanza stomatica (c) e fotosintesi netta e interno concentrazione di CO₂ in due diverse ore del giorno (1 ora = 11:30; ore 2 = 15,30 del mattino)

La fotosintesi netta (A_{max}) è stata influenzata positivamente dalla quantità di acqua irrigua, mostrando una risposta quasi lineare all'incremento del volume irriguo stagionale. Come conferma anche il rilievo della traspirazione, la maggiore disponibilità

idrica nelle tesi più irrigate consente alle piante di tenere gli stomi aperti; al contrario, le piante in condizioni idriche deficitarie, o comunque non ottimali, tendono a chiudere gli stomi per limitare le perdite di acqua per traspirazione e tale meccanismo fisiologico limita gli scambi gassosi con l'esterno riducendo di conseguenza anche l'assimilazione di CO₂.

La conduttanza stomatica, che misura il grado di permeabilità della foglia allo scambio gassoso, infatti, ha mostrato valori più alti nella tesi pienamente irrigata e via via minori al diminuire dell'acqua irrigua.

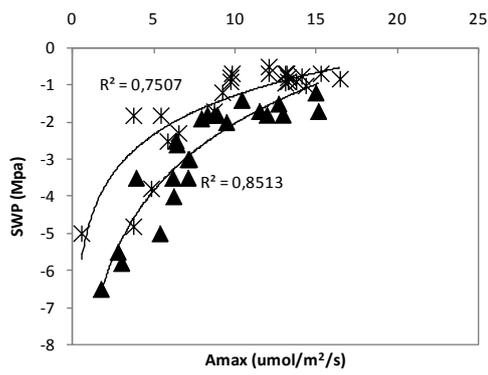
La relazione fra l'assimilazione netta (A_{max}) e la conduttanza stomatica (g_s) ha messo in evidenza che l'attività fotosintetica è aumentata all'aumentare della traspirazione per effetto della maggiore disponibilità idrica delle piante

Infatti, alle 11.30 (ore 1) g_s valore corrispondente al tasso netto di fotosintesi è stata fortemente inferiore al valore di g_s necessario per ottenere lo stesso tasso netto di fotosintesi alle ore 15.30 am (ora 2). D'altro canto C_i / C_a rapporto (C_i = concentrazione di CO₂ interno uno esterno C_a = concentrazione di CO₂ a temperatura ambiente) hanno mostrato una risposta negativa a trattamenti di irrigazione (figura 8 quinquies).????

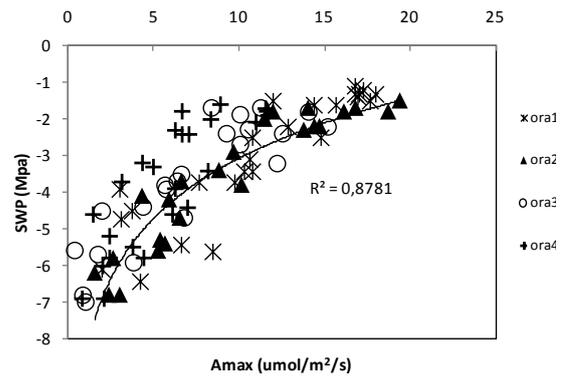
IL numero di mignole per ramo, il numero di fiori per infiorescenza ed infine la percentuale di allegazione nella stagione del 2009, non sono stati condizionati dai volumi di acqua distribuiti nel corso della stagione produttiva 2008, come indicato nella tabella 2.

<i>T (Treatment)</i>	<i>N° inflorescences/branch</i>	<i>N° flowers/inflorescence</i>	<i>% of fruit set</i>
T 4	4.7 ab	6,3	37,06
T 3	3.0 b	6,5	27,85
T 2	3.3 ab	7,0 (n.s.)	26,17 (n.s.)
T 1	6.0 a	7,1	29,54
T 0	4,5 ab	6,1	33,31

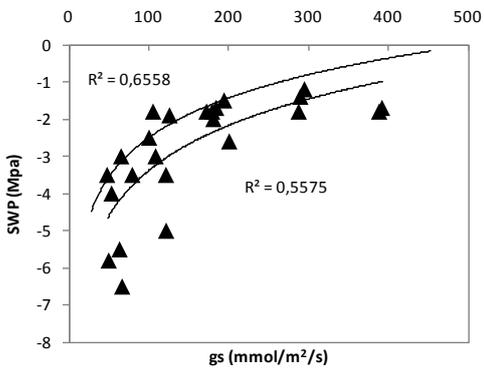
Tabella 2. Infiorescenze per ramo, numero di fiori per infiorescenza e percentuale di allegazione nella stagione del 2009, in relazione con i trattamenti irrigui.



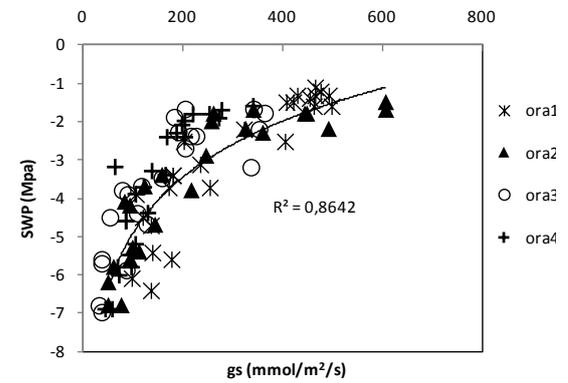
a)



b)



c)



d)

Fig. 11 .Relazioni tra potenziale idrico dell'asse e fotosintesi netta in due date diverse per le stagioni 2008 e 2009.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo sviluppo di modelli di gestione dell'irrigazione negli oliveti superintensivi, in rapporto anche alle tecniche di gestione, quali potatura e concimazione, rappresenta un obiettivo importante per la diffusione che tali sistemi d'impianto avranno nei nostri ambienti di coltivazione. Infatti, a differenza degli oliveti tradizionali, negli impianti superintensivi l'irrigazione appare indispensabile ai fini della costante e abbondante fruttificazione.

La prova ha messo in evidenza che l'irrigazione può essere praticata in deficit anche negli impianti superintensivi. Riduzioni fino al 70% del fabbisogno irriguo stagionale della coltura sono stati comunque sufficienti a permettere la massima produzione a pianta di frutti e di olio. Tale risultato appare interessante, considerato che il risparmio d'acqua irrigua potrebbe arrivare ai 700 m³/ha. Risultati preliminari sull'irrigazione in deficit di un oliveto tradizionale della cv Nocellara del Belice per la produzione di olive da mensa nella zona di Castelvetro (TP), hanno evidenziato che quantitativi d'acqua di 800 m³/ha (pari al 50% del fabbisogno irriguo colturale) potrebbero essere sufficienti per sostenere una produzione media a pianta di 40 kg circa con una buona percentuale (37%) di olive di calibro commerciale di pregio (comunicazione personale prof. Caruso).

Altrettanto interessante appare il risultato sulla resa in olio, maggiore nelle tesi meno irrigate. Tale fatto potrebbe essere spiegato dal minore contenuto d'acqua presente nelle drupe (Alegri et al., 2001) delle tesi meno irrigate o dal fatto che sia stato più difficile estrarre l'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). Per comprendere meglio questo aspetto, potrebbe essere utile osservare la quantità di olio prodotta per singola drupa tramite estrazione con estrattore soxhlet o mediante metodica NIR. In ogni caso, se tale dato di resa al frantoio venisse confermato da successive esperienze potrebbe essere strategico ridurre ulteriormente i volumi di adacquamento, in un ottica di risparmio idrico.

Tuttavia una eccessiva riduzione dei quantitativi di acqua somministrata deve essere valutata in più anni, 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).

I rilievi di potenziale idrico, infatti, hanno evidenziato uno stress severo delle piante delle tesi meno irrigate, indicando comunque che già quantitativi pari a 1600 m³/ha di acqua irrigua stagionale sono sufficienti alle piante per recuperare, a fine giornata, un adeguato stato d'idratazione e, con l'arrivo delle piogge autunnali, ripristinare condizioni idriche simili a quelle delle piante irrigate con maggiori volumi.

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 gli stomi più aperti e quindi fotosintetizzare di più; come conseguenza, anche la traspirazione è stata maggiore per le piante più irrigate determinando, anche, una maggiore efficienza dell'uso dell'acqua. Tali differenze di assimilazione fra le tesi irrigue hanno 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.

Da quanto sopra evidenziato emerge che gli effetti dell'irrigazione in deficit sulle piante devono essere valutati per più anni poiché lo stato idrico della pianta influenza non solo la produzione e l'accrescimento dei germogli dell'anno in corso ma anche la fioritura e la produzione dell'anno successivo (Samisch, Spiegel 1961).

I risultati ottenuti, pur con le limitazioni sopra sottolineate, appaiono incoraggianti ai fini della possibilità di razionalizzare l'uso dell'acqua irrigua, senza compromettere l'efficienza produttiva delle piante. La valutazione degli aspetti inerenti alle relazioni 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.

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 di tali sistemi 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 di 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. 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 effettivo vantaggio per le piante, ma anzi è spesso causa di rigoglio vegetativo.

I risultati ottenuti esposti in questa tesi, che rappresentano le prime osservazioni di un più ampio lavoro sul comportamento bio-agronomico dell'olivo in impianti superintensivi, appaiono incoraggianti nel prospettare la possibilità di razionalizzare l'uso dell'acqua irrigua, senza compromettere la produttività delle piante. La valutazione degli aspetti inerenti la crescita vegetativa (*habitus* e *vigore*) ed il ritorno di fioritura (alternanza di produzione), in relazione anche alle altre pratiche colturali, costituiranno elementi di approfondimento utili per comprendere la migliore gestione degli impianti superintensivi nei nostri ambienti. 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.

BIBLIOGRAFIA

- 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..
- 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.
- 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.
- Bartolini G., 2008. Olive germplasm. www.oleadb.it.
- 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.
- 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.

- 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. Water potential gradients in field tobacco. *Plant Physiol.* 1970;46:343-346.
- 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.
- Bisignano 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 europea* L.) leaves, *Plant Physiol.* 90 -1408.
- Bongi G., Paliotti A., (1994). *Olive, Handbook of enviromental physiologi of fruit crops* . Vol. 1: Temperate crops: 165-187.
- Camm E.L., Neil Towers G.H., 1973. Review article phenylalanine ammoniolyase. *Phytochemistry.* 12: 961-973
- Camposeo S., Godini A., 2007. Sull'autocompatibilità della cultivar di olivo Coratina. *Italus Hortus*, 14(2) pp. 80.
- Camposeo S., Ferrara G., Palasciano M., Godini A., 2008. Varietal behaviour accoding to the superintensive olivecolture training system. *Acta Hort* 791: 271-274.

- Caporali F., 1991. *Ecologia per l'agricoltura*. Ed. UTET libreria, Torino, pp. 240.
- 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.
- 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.
- 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 celulres 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., Morelli G., Patumi M., Fontanazza G., 2000. Irrigation regime affect yield and oil quality of olive trees. *Acta Horticulturae* in press.
- 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.
- De la Rosa R., Leon L., Guerriero N., Barranco D., Rallo L., 2006. Preliminary data on olive Hedgerow planting. *Olea*, 26, 2629.

- 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.
- Domiguez L., and Barbagallo M., 2007. Mediterranean diet and longevity: role of extravirgin olive oil G. *Gerontol*, 55: 231-238.
- Doorembos S., Pruitt W.O., (1977). Guidelines for predicting crop water requirement. Irrigation and drainage paper 24. FAO, Roma 156 pp..
- Fabbri A., Bartolini G., Lombardi M. and Kailis S.G.. 2004. Olive Propagation Manual. Landlinks, Collingwood, Vic.
- 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.
- Fagiani 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.
- Faust M., 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. *Acta Hort.* 146: 21-27.
- 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-pulsetechnique for measuring sap flow in olive. Proc. 3rd Intern. Symposium on Olive Growing. *Acta Hort.* 474: 455-458.

- 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.
- 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 Microbiology, vol.26 (5): 777-782.
- Fontanazza, G., Bartolozzi, F., Rocchi, P., Vergari, G. and Patumi, M. (1995). Observations on olive cv. Giarrappa grafted on different clonal rootstocks. Proc. Of IX consultation Fao of the inter-regional cooperative research network on olives. Hammamet, Tunisia 20-23 September, (in press).
- 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.
- 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., Dunai J., Ferguson L.F., 1994. Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. Acta Horticulturae, 356: 172-175.
- Goldhamer D.A., 1999. Regulated Deficit Irrigation for California Cannig Olives. Acta Horticulturae, 474: 369-372.
- 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., 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.
- 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. L'irrigazione dell'olivo. L'informatore Agrario 40: 37-41.
- 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., 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.

- Gullo P., 2000. Il talamo di Ulisse. Trattati di storia dell'olivicoltura nel Mediterraneo Occidentale. Rubbettino editore.
- 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.
- Hrazdina G., Jenses R.A., 1992. Spatial organization of enzymes in plant metabolic pathways. *Annual Rev. of plant Physiology and plant Molecular Biology*. 43: 253-259.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Li Causi M.T., 2008. Prime osservazioni sul comportamento agronomico di un oliveto superintensivo in Sicilia. Tesi di laurea – Dipartimento colture arboree – Università degli Studi di Palermo
- Lodolini E.M., Neri D., Capogrossi F., Capogrossi C., 2006. Preliminary results on olive (*Olea europaea* L.) mechanical hedging. Second Int. Seminar OliveBioteq (Biotechnology and quality of olive tree products around the Mediterranean Basin), Marsala-Mazara del Vallo (Italy) Vol II: 165-168.
- 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.
- 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.
- Lombardo N., Iannotta N., Rizzubi B., 1986. Ristrutturazione di oliveti tradizionali calabresi. *Annali Ist. Sperim. Oliv.*, vol. 8.
- 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
- Mersi A., 2007. L'olivicoltura intensiva italiana deve puntare all'alta qualità del prodotto
- 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., Dettori S., 1987. Regimi idrici ottimali e parziali per giovani olivi da mensa. *Rivista di frutticoltura* 8: 65-69.
- Moriana A., Orgaz F., Pastor M., Fereres E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128: 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.
- 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.
- Owen R. W., Giocosa WE, Hull A., Haubner R., Spiegelhaider B. & Bartsch H., 2000a “ The antioxidant/anticancer potential of fenolic compounds isolated from olive oil” *Eur. J. Cancer*,36: 1235-1247.

- Owen R. W., Mier W., et.al. 2000b “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.
- Owen R. W., Haubner R., Wurtele G., Hull W E., Spiegelhalter B. and Bartsch H., 2004 Olive and Olive oil in cancer prevention. *European Journal of Cancer Prevention*, 13: 319-326.
- 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
- Pannelli G., 2003. Manca l’acqua la pianta risponde. *Olivo&Olio* 4: 58-62
- Pannelli G., 2003. Quando conviene intervenire. *Olivo&Olio* 4: 54-57
- Pannelli G., 2006. Varietà e portinnesti “superintensivi”. *Olivo&Olio* 2: 47-49
- Pannelli G., 2007. Come ridurre i costi di raccolta e potatura. *Olivo&Olio*, 3: 49-53
- Pampanini R., Pignataro F., 2008. “Aspetti economici della competitività in olivicoltura. Atti del convegno nazionale C.O.M.S.I.O.L., Spoleto 7 Marzo 2008 in stampa
- Pastor M., 2007. Intensive olive production. *Olea* 26: 17-20.
- Pastor M. (ed.). 2005. Cultivo del olivo con riego localizado. Junta de Andalucía y Ediciones Mundi-Prensa, 783 pp plus CD, ISBN 84-8476-229-7.
- 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.

- Patumi M., d'Andria R., Fontanazza G., Morelli G., Vergari G., 1998. Effetto dell'irrigazione sulla produzione e sullo sviluppo vegetativo di un giovane oliveto. *Olivo&Olio* 1: 36-47
- Pastumi 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.
- Pastor M., 2007. Intensive olive production. *Olea* 26: 17-20
- 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., 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.
- 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.
- 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 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 P., Dorado G., Martin A., 2002. Application of micro satellite markes in olive breeding. *Acta Hort.* 586: 69-72.

- Rallo L. 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., De La Rosa R., Leon L., Guerrero N., Barranco D., 2006. L'olivicultura 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.
- Reale S., Doveri S., Diaz A., Angiolillo A., Lucentini L., Pilla F., Marin A., Donini P., and Lee D., 2006. SNP-based markers for discriminatine olive (*Olea europea* L.) cultivars. *Genome*, 49: 1193-1205.
- Ringer M., (1995). Offsetting effects of reduced root hydraulic conductivity and osmotic adjustment following drought. *Tree Physiol.* 15, 379- 385.
- Ricci A., 2003. Qualità degli oli e irrigazione un nodo irrisolto. *Olivo&Olio* 4: 64-65.
- 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.
- Salleo S., Nardini A., 1999. Ecofisiologia di *Olea europaea* Hoffm. Et Link: verso un modello predittivo dell'adattamento all'aridità. *Olivo&Olio* 2: 70-79.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sorrentino G., 2002. Meccanismi fisiologici di recupero dal deficit idrico in olivo. Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001, pp. 103-119
- 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.
- 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., Catechini A., 1986. L'effetto dell'ombreggiamento della chioma sulla differenziazione delle gemme a fiore nell'olivo. *Rivista della Ortoflorifrutticoltura Italiana*, 70: 277-285
- Tombesi A., 1994. Olive fruit growth and metabolism. *Acta Horticultrae* 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., Romero A., Plana J., Baiges F., 1999. Planting density trial with "Arbequina" olive cultivar in Catalonia (Spain). *Acta Hort.* 474: 177-179.
- 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., Romeo A., Plana J., Hermoso J.J., 2008. Olive oil cultivar suitable for very-high density planting conditions. *Acta Hort.* 791: 403-408
- 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.
- 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.
- Xiloyannis C., Dichio B., Nuzzo V., Celano G., (1999). Defense strategies of olive against water stress. *Acta Hort.*, 474: 423-426.
- Xiloyannis C., Gucci R., Dichio B., 2003. Irrigazione. *Olea trattato di olivicoltura*. pp. 365-389
- Xiloyannis C., Dichio B., Sofo A., Palese A.M., 2004. Capacità di adattamento dell'olivo agli ambienti siccitosi. *L'informatore Agrario* 40: 43-45.

Bibliografia reperita da siti internet:

disponibili all'indirizzo <http://www.irrinet.it/> ultima consultazione 27 gennaio 2009

disponibili all'indirizzo <http://www.irnase.csic.es/> ultima consultazione 27 gennaio 2009

disponibili all'indirizzo <http://www.inta.gov.ar> ultima consultazione 27 gennaio 2009

disponibili all'indirizzo http://www.fertirrigazione.it/ita_20/ ultima consultazione 28 gennaio 2009

disponibili all'indirizzo <http://www.teatronaturale.it/articolo/5043> ultima consultazione 28 gennaio 2009