



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

**Dottorato di ricerca in Scienze Agrarie e Forestali
Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
Settore Scientifico Disciplinare AGR/03**

**VERSO LA NUOVA OLIVICOLTURA:
MODELLI D'IMPIANTO, CULTIVAR E TECNICHE CULTURALI**

**IL DOTTORE
PLACIDO VOLO**

**IL COORDINATORE
CHIAR.MO PROF. STEFANO COLAZZA**

**IL TUTOR
CHIAR.MO PROF. TIZIANO CARUSO**

Sommario

1 Premessa.....	4
2 Punti di forza e criticità dell'olivicoltura italiana.....	4
3 Modelli d'impianto, scelte varietale e tecniche colturali per il rilancio dell'olivicoltura italiana	6
3.1 Modelli d'impianto.....	6
3.2 Scelta varietale e mercato di riferimento.....	8
3.3 Le tecniche colturali	9
3.3.1 Potatura.....	9
3.3.2 Irrigazione	12
4 Comportamento agronomico di cultivar di olivo siciliane in impianti superintensivi.....	17
4.1 Scopo delle ricerche	18
4.2 Materiali e metodi	18
4.3 Analisi statistica	19
4.4 Risultati	20
4.5 Discussione dei risultati	26
5 Studio del comportamento agronomico di tre cultivar contraddistinte da diverso habitus vegetativo e della fruttificazione in relazione a diversi criteri di potatura.....	29
5.1 Scopo delle ricerche	30
5.2 Materiali e metodi	31
5.4 Risultati	34
5.5 Discussione dei risultati	53
6 Monitoraggio <i>in continuo</i> dello stato idrico della pianta ai fini dell'irrigazione: effetto del genotipo e del sistema d'impianto	55
6.1 Scopo del lavoro.....	56
6.2 Materiali e metodi	56
6.3 Risultati	61
6.4 Discussione dei risultati	73

7 Considerazioni conclusive.....	76
8 Riferimenti bibliografici.....	79

1 Premessa

Secondo il Consiglio Oleicolo Internazionale (COI) la produzione mondiale di olio d'oliva è aumentata di pari passo con i consumi attestandosi, nel 2013, su circa 3,2 milioni di tonnellate. Il principale Paese produttore è la Spagna, con 1,77 milioni di tonnellate di olio prodotto, seguito dall'Italia con circa 403.000 t (COI 2013). E' però importante evidenziare che nella campagna 2014/2015, la produzione mondiale è stata invece di circa 2,3 milioni di tonnellate, con una contrazione del 27% rispetto alla campagna precedente. Tale risultato è stato determinato dalla flessione produttiva della Spagna e dell'Italia i due principali Paesi produttori. Il 64% della produzione mondiale proviene infatti dall'Unione Europea che nella suddetta campagna ha prodotto circa 1,5 milioni di tonnellate di olio, con una flessione del 38% rispetto alla campagna precedente. La Spagna, ha contribuito per una con una produzione che si è aggirata intorno alle 826 mila tonnellate, pari al 54% della produzione comunitaria, ; si appena il 20% è stato il contributo dell'Italia. È importante considerare che i valori del nostro Paese sono la risultante di situazioni differenziate lungo lo stivale e, molto spesso, anche all'interno delle stesse regioni, con peculiarità ed esiti produttivi diversi nei vari comprensori olivicoli.

Il terzo Paese produttore dell'UE, la Grecia, nell'annata olivicola 2014-2015 ha invece fatto registrare un considerevole incremento di produzione, pari al 127% rispetto alla campagna precedente, essendosi attestata su un livello di 300 mila tonnellate.

Per quanto riguarda gli altri Paesi del Mediterraneo, si segnala la Tunisia, che ha fatto registrare un incremento di produzione considerevole rispetto alla campagna precedente. E' inoltre emerso il ruolo della Turchia, con una situazione di stabilità produttiva rispetto alla precedente annata. Per la Siria, sempre rispetto alla precedente campagna, la contrazione dei livelli produttivi ha raggiunto valori del 70%. Tra gli altri Paesi del Mediterraneo è stata rilevata la riduzione del Marocco (-8%), mentre per l'Algeria è stata registrata una situazione di stabilità. Le produzioni di questi ultimi due Paesi si sono attestate rispettivamente su 110 e 44 mila tonnellate.

La produzione ottenuta nel complesso dei rimanenti Paesi è stata di circa 35mila tonnellate, con un aumento del 4% circa rispetto alla campagna oleicola precedente.

2 Punti di forza e criticità dell'olivicultura italiana.

Nel panorama olivicolo internazionale l'Italia occupa una posizione di tutto rilievo, in quanto oltre al essere il secondo Paese produttore, è il primo Paese importatore e il secondo Paese esportatore. L'Italia importa olio sfuso ed esporta olio confezionato, data la particolare attitudine dell'industria italiana a creare blend apprezzati.

La filiera olivicolo-olearia italiana appare caratterizzata da una estrema frammentarietà nella fase agricola, determinata dalla ridotta dimensione media aziendale, pari a circa 1,2 ettari (che raggiunge 1,78 ettari per le aziende olivicole specializzate). Le aziende agricole sono pari a circa 900.000, mentre la superficie investita è di circa 1.000.000 di ettari.

La produzione italiana sta strutturalmente diminuendo, anche in seguito ad un fenomeno di razionalizzazione che porta da una parte all'abbandono e alla non raccolta dei frutti e, dall'altra, al permanere sul mercato di realtà in grado di fronteggiare nei modi più appropriati le sfide competitive.

Passando ad analizzare la domanda nazionale si osserva come questa sia superiore alla produzione interna e come le preferenze di consumo siano sempre più orientate verso gli oli di oliva extravergini. Tale orientamento è, in gran parte, attribuibile alle crescenti esigenze dei consumatori in termini di qualità e garanzie che riguardano la sicurezza e l'origine dei prodotti. I nuovi modelli di consumo stanno determinando altresì reazioni più strutturate da parte delle piccole e medie imprese, che le sta portando ad attuare processi di differenziazione produttiva, per ottenere un miglior posizionamento e la conquista di nuovi segmenti di mercato (oli a denominazione, monovarietali, ecc). Il consumo pro capite si attesta su un livello di 10,8 chili.

Le criticità maggiori della filiera sono da osservarsi soprattutto a livello di mercato, poiché il livello dei costi di produzione, già strutturalmente alto, in alcune aree particolarmente difficili, è ancora più elevato (per esempio in presenza di oliveti collinari, dove le operazioni di raccolta sono più complicate, rispetto ad oliveti in pianura.). Il prezzo di mercato, soprattutto all'origine, non riesce a remunerare in maniera adeguata i costi di produzione e, inoltre, nella Grande Distribuzione Organizzata, molto spesso, si genera confusione nell'ambito della categoria commerciale, aspetto che non facilita la scelta consapevole da parte del consumatore. Un'attenta analisi porta quindi a focalizzare l'attenzione su punti di debolezza e criticità di un settore che in Italia, nonostante molteplici difficoltà, continua ad avere ruolo di primaria importanza, ma che comincia a mostrare segni di debolezza. La frammentarietà della struttura produttiva, ritardi nell'introduzione dell'innovazione, oscillazioni delle produzioni negli anni in termini quantitativi e qualitativi, zone del paese con un livello qualitativo molto basso, gli alti costi di gestione stanno determinando l'abbandono di ampie aree di coltivazione.

Paesi al di fuori del Bacino del Mediterraneo (America, Argentina, Australia) non tradizionalmente consumatori e produttori di olio stanno destinando estese superfici alla coltivazione dell'olivo puntando su nuovi sistemi d'impianto, altamente meccanizzati, in cui i costi di gestione, soprattutto di raccolta e potatura, sono decisamente inferiori rispetto a sistemi di coltivazioni tradizionali tipici delle aree olivicole del Bacino del Mediterraneo. Nel prossimo

futuro si assisterà ad un aumento della domanda di olio sostenuta dall'immissione nel mercato di ingenti quantità di prodotto ottenuto a bassi costi. In tal senso Paesi come l'Italia, dove le produzioni olearie derivano da impianti per lo più tradizionali, sono destinati a perdere competitività nel mercato globale.

La maggiore criticità della nostra filiera è certamente rappresentata dagli alti costi di gestione per cui emerge l'esigenza di puntare sull'ammodernamento degli impianti e sull'aggiornamento delle tecniche colturali; sarebbe inoltre necessario un maggiore coordinamento tra i diversi attori della filiera il cui compito è anche quello di garantire la tracciabilità del prodotto.

3 Modelli d'impianto, scelte varietale e tecniche colturali per il rilancio dell'olivicoltura italiana

3.1 Modelli d'impianto

Ai fini del contenimento dei costi di gestione, soprattutto di quelli di raccolta e di potatura, attualmente i modelli di impianto di riferimento per la sostenibilità economica sono essenzialmente due: *Intensivo e Superintensivo*.

Il modello *Intensivo*, affermato sia nei Paesi produttori tradizionali sia in quelli emergenti, è caratterizzato da densità di impianto di 200-400 piante/ha, ottenute distanziando le piante 5-7×5-7m, in rapporto al vigore della cultivar e alle condizioni agronomiche più o meno favorevoli alla crescita vegetativa. Ai fini della raccolta, per gli interventi integralmente meccanizzati sono impiegati vibrator da tronco muniti di ombrello intercettatore; la forma di allevamento consigliata è il "Vaso policonico" costituito da un tronco singolo sul quale si articolano tre-quattro branche principali, impalcate a 100-120 cm di altezza, ben distribuite nello spazio e che, per ottimizzare l'efficienza dei vibrator da tronco devono formare un angolo di 30-35° rispetto all'asse verticale, in rapporto al portamento assurgente/procombente delle piante. Per favorire la regolare illuminazione anche delle branchette fruttifere inserite nelle parti inferiori e più interne della chioma, la vegetazione inserita sulle branche principali deve essere meno densa nella parte distale, che deve terminare con una cima svettante; leggermente più densa nel tratto prossimale. L'altezza totale della pianta non deve superare i 4,5 m e il volume complessivo della chioma dovrebbe oscillare tra 40 e 60 m³ in rapporto al vigore e portamento della cultivar e alle condizioni ambientali. In dette condizioni le produzioni possono mediamente oscillare tra 50-70 qli/ha che vengono in genere raccolte, in rapporto all'orografia dell'azienda in circa un giorno e mezzo. Per quanto concerne invece la potatura, se effettuate con cadenza

annuale, i tempi di intervento si aggirano su 10 minuti/pianta, ovvero 50-60 ore/ha in impianti con densità di circa 330 piante/ha (sesto 6 x 6 m).

Il modello *Superintensivo*, che da qualche anno ha trovato una certa diffusione in Spagna e in altri Paesi dove l'interesse per l'olivicoltura è più recente (Argentina, Australia) prevede un investimento di 1.600-2000 piante/ha. Le piante sono disposte secondo un sesto rettangolare, con distanze di 3,5-4 x 1,3-1,5 m, e allevate ad asse verticale. Lungo il filare si viene a formare una parete di vegetazione che favorisce raccolta e potatura *in continuo* con macchine scavallatrici, che impiegano per la raccolta circa 3 ore/ha con due soli operatori. La possibilità di raccogliere grandi quantità di olive in un breve lasso di tempo consente di concentrare tale operazione colturale nel periodo ottimale di maturazione della cultivar e quindi di standardizzare la qualità dell'olio. Condizione fondamentale è che il volume dell'albero rimanga entro le dimensioni della camera di raccolta della macchina scavallatrice che, di solito, misura m 1,5 di larghezza e m 3,0 di altezza. Il contenimento dell'altezza della pianta viene in genere effettuato attraverso interventi meccanici di *topping* (taglio orizzontale attuato per riportare l'altezza dell'albero a quella voluta), integrati da interventi manuali di rifinitura; lo spessore della chioma viene invece ridotto con leggeri tagli di ritorno, in genere effettuati manualmente con agevolatori. L'impiego di manodopera per entrambi gli interventi di potatura non supera le 40 ore/ha. Purtroppo il panorama varietale che si adatta al sistema Superintensivo è piuttosto modesto, attualmente limitato a non più di tre cultivar, più specificatamente Arbequina, Arbosana e Koroneiki. Dal punto di vista bio-agronomico dette cultivar sono caratterizzate da basso vigore, autofertilità, fruttificazione precoce (III anno), elevata efficienza produttiva, resistenza all'occhio di pavone e ottima plasticità di adattamento ai diversi ambienti olivicoli del globo.

Sotto l'aspetto qualitativo è invece emersa una certa sensibilità agli stress idrici e a valori termici elevati. Ricerche collegiali condotte in Sicilia, Puglia e Umbria per valutare il comportamento agronomico della cultivar Arbequina in impianti Superintensivi, hanno evidenziato, relativamente agli aspetti qualitativi, un maggior contenuto di acido oleico negli oli ottenuti negli ambienti colturali più settentrionali, dove le temperature estive e la disponibilità di acqua nel suolo non costituiscono fattori di stress. Nelle aree più calde i valori degli acidi saturi e polinsaturi, sono invece risultati più elevati (Caruso et al 2012). In Puglia, ad esempio, l'acido palmitico ha raggiunto valori prossimi al 20% che rappresenta il limite massimo previsto dal Reg. CEE 61/2011. Per quanto riguarda i polifenoli, le ricerche condotte hanno evidenziato una spiccata variabilità. Dal punto di vista delle caratteristiche sensoriali gli oli prodotti in tutti e tre i siti sono risultati equilibrati e mediamente fruttati con leggere differenze nel piccante e

nell'amaro a favore del sito in Umbria. Nel complesso, sulla base delle caratteristiche chimiche e sensoriali rilevate, gli oli sono risultati di buona qualità.

3.2 Scelta varietale e mercato di riferimento

La scelta della cultivar non può però prescindere dalla individuazione del segmento di mercato cui destinare il prodotto che può competere sulla base del prezzo (“olio commodity”) o della tipicità (“esclusività”).

Da un punto di vista commerciale, l'olio commodity, essendo rivolto ad un'ampia fascia di consumatori più attenti al prezzo di vendita che alle peculiari caratteristiche chimiche e sensoriali, deve rispondere alle aspettative e al gusto medio dell'acquirente che poco gradisce oli con fruttato, amaro e piccante marcati. Presupposto indispensabile per la produzione di un olio extra vergine per consumo di massa è il basso costo di produzione, che può essere raggiunto adottando modelli d'impianto che consentano alta produttività e costi di raccolta modesti. Attualmente il modello d'impianto che potrebbe soddisfare tali esigenze è quello Superintensivo che però, imponendo l'impiego delle poche cultivar idonee, non consente di sfruttare la biodiversità della specie. Nell'olivicoltura italiana, con l'affermazione di tale modello, se non dovessero essere individuate cultivar alternative a quelle oggi affermate per detti sistemi d'impianto si verrebbe quindi a perdere la tipicità degli oli, gran parte dei quali tutelati da marchi collettivi di qualità riconosciuti in ambito U.E. (DOP, IGP).

Presupposto fondamentale per la produzione di oli tipici sono le cultivar autoctone che, assieme alle particolari condizioni ambientali e colturali dei diversi distretti olivicoli, consentono di differenziare il prodotto. Ovviamente, l'olio tipico ha un mercato decisamente diverso rispetto all'olio commodity; esso è infatti destinato a consumatori esigenti, in genere di cultura e reddito medio-alti, che valutano il prodotto in base alla capacità di soddisfare specifiche esigenze edonistiche e/o nutrizionali-salutistiche per le quali sono disposti a pagare un prezzo più elevato.

Nella nuova olivicoltura detti oli oggi sono ottenuti solamente negli impianti tradizionali e in quelli intensivi, adatti a tutte le cultivar. Da quanto appena evidenziato emerge l'importanza che potrebbero assumere, ai fini del rilancio dell'olivicoltura, gli impianti Superintensivi con cultivar diverse da quelle che si sono affermate in tutto il mondo

Il nostro Paese vanta infatti un ampio patrimonio varietale autoctono ed ha, nel tempo, assunto un ruolo da protagonista, a livello internazionale, nella produzione di oli extra vergini di oliva fortemente tipicizzati ed è proprio su questa prerogativa che si sono concretizzati i maggiori successi imprenditoriali e commerciali.

3.3 Le tecniche colturali

La possibilità di costituire impianti Superintensivi con cultivar diverse rispetto a quelle attualmente affermate ma altrettanto produttive e anche di vigore standard è legata alla capacità di controllare la crescita vegetativa degli alberi, obiettivo che deve essere perseguito ovviamente senza deprimerne le potenzialità produttive. Negli ambienti più tipicamente mediterranei, attualmente sono due le pratiche colturali con le quali si riesce a pervenire a tali obiettivi in modo rapido e sostenibile: potatura e irrigazione.

3.3.1 Potatura

Attraverso la rimozione mirata e selettiva di succhioni, rami esauriti, brachette che competono per il medesimo spazio è infatti possibile mantenere o migliorare la funzionalità della chioma (Baldini, 1986) viene infatti favorita la penetrazione di sufficienti quantitativi di energia radiante anche nelle parti più interne della chioma (Tombesi, 2006). Il problema della regolare ed uniforme intercettazione della luce assume infatti particolare rilevanza negli impianti Superintensivi, nei quali la precoce e abbondante fruttificazione e la costanza di produzione negli anni è strettamente legata alla quantità di luce fotosinteticamente attiva che raggiunge le foglie dell'anno e quelle di un anno di età (Tombesi, 1998).

Indagini condotte in Australia per comprendere le cause più frequenti del declino produttivo che può interessare gli impianti Superintensivi di olivo hanno evidenziato l'importanza dell'orientamento del filare e dei rapporti tra spessore, inclinazione della chioma, altezza della pianta, distanze tra i filari. 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).

Pluriennali osservazioni condotte in Spagna (Andalusia e Catalogna) sugli impianti Superintensivi hanno mostrato un calo della produzione una volta superati i 10.000 m³/ha di volume complessivo delle chiome (De La Rosa et al., 2006; Tous et al., 2007). A densità d'impianto elevate, la chioma di ciascun albero continua ad accrescersi innescando fenomeni di ombreggiamento intra-pianta e tra piante contigue. 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 (Proietti et al., 1994). 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, causato dalla crescita "centrifuga" dei giovani germogli (Díaz-Espejo et al., 2008). 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 (gli assi vegetativi che si articolano nel tratto basale dei rami crescono più intensamente di quelli apicali) diviene tendenzialmente acrotono (Baldini, 1986). 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.

Un aspetto altrettanto importante influenzato dalla disponibilità di luce è lo sviluppo e la maturazione dei frutti: essi debbono accrescersi regolarmente, senza subire una forte competizione da parte di altri organi della pianta ed essere raccolti quando abbiano raggiunto un elevato contenuto e un'alta qualità dell'olio e consentano un'elevata resa di raccolta con le macchine scavallatrici (Tombesi, 2006). E' stato inoltre osservato che frutti portati da rami in ombra accumulano minori quantitativi di olio e, la composizione acidica e il contenuto di polifenoli subisce sensibili variazioni in senso negativo (Pastor et al., 2007).

In alcuni contesti ambientali favorevoli alla crescita vegetativa, in impianti Superintensivi è stato rilevato un sensibile aumento del vigore per cui le piante tendono ad assumere dimensioni superiori a quelle adatte al sistema d'impianto, con conseguente perdita dell'equilibrio raggiunto tra l'attività vegetativa e quella riproduttiva e danneggiamenti alla pianta durante la raccolta meccanica (Tous et al., 2006; Tous et al., 2003) .

Tra le voci di spesa delle aziende olivicole la potatura occupa il secondo posto, dopo la raccolta e ciò contribuisce a spiegare l'attenzione che in questi ultimi anni, soprattutto per gli impianti Superintensivi, è stata dedicata alla meccanizzazione di tale operazione colturale che non deve però pregiudicare l'efficienza produttiva e la redditività del sistema d'impianto.

Interventi di potatura più o meno severi possono alterare il quadro ormonale della pianta modificando i rapporti sink-source e determinare una maggiore o minore produzione a discapito del rinnovo vegetativo e viceversa. Gli interventi di potatura possono comportare fisicamente l'asportazione dei siti di produzione con un conseguente perdita di produzione nell'anno in corso e/o successivo a quello di potatura. Una corretta gestione della potatura influisce direttamente sul contenimento delle dimensioni della pianta indispensabile a rendere le operazioni di raccolta più efficienti. Ai fini della sostenibilità economica degli impianti Superintensivi è preferibile che oltre alla raccolta anche la potatura possa essere meccanizzata.

Le operazioni di potatura meccanica che generalmente vengono effettuate per gli impianti in parete sono: Topping, Hedging, Trimming (spollonatura). Il topping ha lo scopo di limitare

l'altezza della chioma che in genere non deve superare i 2,5-2,7 m. L'hedging ha l'obiettivo di limitare la chioma in larghezza sino al raggiungimento di 1,5-2,0 m. La spollonatura, invece, prevede l'eliminazione delle branchette che di solito la macchina raccogliitrice non riesce ad intercettare e che sono posizionate 50-70 cm dal colletto. Infine, il diradamento prevede la potatura manuale di branchette con calibro superiore a 3 cm di diametro posizionate trasversalmente alla fila e che causano danni alla raccogliitrice meccanica.

Numerosi studi riportano i vantaggi della potatura meccanizzata rispetto a quella manuale anche se non sono mai da escludere eventuali interventi di rifinitura per l'eliminazione di branchette e legno improduttivo che la macchina potatrice non riesce ad asportare.

Fontanazza e Baldoni (1991) e Fontanazza (1996) hanno proposto in uno studio a breve termine cicli di potatura meccanizzata che conciliano la potatura meccanica e quella manuale da eseguire in anni differenti. Esperienze condotte da Fontanazza (1996) Camerini et al. (1999) per circa 9 anni hanno rivelato che gli alberi sottoposti a cicli di potatura meccanica hanno mostrato un aumento medio del 59% della produzione di olive prodotte rispetto agli alberi potati rigorosamente a mano. Giametta e Zimbalatti (1994) hanno dimostrato un importante incremento produttivo degli impianti intensivi potati meccanicamente.

Osservazioni condotte nell'arco di 8 anni hanno messo in evidenza come cicli di interventi di potatura meccanizzata alternati negli anni non comportano un decremento delle rese nella varietà spagnola Picùal ma determinano incrementi produttivi. (Pastor e Humanes 1998). Cicli di interventi di topping associati ad interventi di potatura manuale non hanno determinato un decremento delle produzioni cumulate in una prova biennale condotta in Spagna (J.O.Peça,A.B.Dias et al 1999).

Ad oggi un'ampia scelta di macchine per le pratiche di potatura meccanica di topping ed hedging è offerta dalle aziende costruttrici mentre per le rifiniture manuali vengono proposte individuali attrezzature pneumatiche per velocizzare le pratiche di spollonatura e diradamento (Gucci e Cantini, 2000; Rius e Lacarte, 2010; Dias et al., 2012).

Macchine adottate per i frutteti possono essere facilmente adattate per l'ulivo una volta che le pareti fruttificanti hanno raggiunto il pieno sviluppo già a partire dal terzo o quarto anno d'impianto. A tal fine l'obiettivo della potatura meccanica deve essere quello di mantenere una parete ben equilibrata in termini di crescita vegetativa e riproduttiva, una superficie fogliare ben illuminata e con una buona porosità interna ai fini della circolazione dell'aria e avere quindi tutte le caratteristiche geometriche (altezza e spessore) che non siano di intralcio alla macchina raccogliitrice. L'elevato numero di piante ad ettaro e la loro configurazione in parete e le dimensioni delle piante fa sì che le operazioni di potatura e raccolta possano essere effettuate

meccanicamente e in continuo comportando un notevole risparmio di costi di manodopera e tempi di lavoro (Connor et al.2014).

La risposta vegetativa alla potatura meccanica dipende oltre che da fattori ambientali dalla gestione colturale ed in particolare da irrigazione, concimazione e dal ciclo di alternanza. Per esempio, nelle annate di scarica la potatura meccanica può stimolare maggiormente la crescita vegetativa, soprattutto nelle regioni con clima caldo (Cherbiy- Hoffmann et al., 2012). Potature severe dovrebbero comunque essere evitate per non incorrere in cali produttivi nel corso della vita dell'impianto ed evitare il riscoppio vegetativo. Per migliorare l'efficienza del sistema, entrambi i lati della parete non dovrebbero essere potati simultaneamente ma dovrebbero essere effettuati interventi di potatura dei lati ad intervalli pluriennali (Ferguson et al., 2012). Per poter fare fronte a tale limite diversi ricercatori partendo dallo studio della biodiversità sono alla ricerca di genotipi che meglio possono adattarsi ai sistemi d'impianto in parete. Camposeo (2015) in una prova di durata triennale hanno valutato l'effetto di interventi di potatura meccanica di topping ed hedging e rifinitura manuale (diradamento) su 14 differenti varietà allevate a monocono. I risultati di tali ricerche hanno confermato la maggiore adattabilità, agli impianti Superintensivi delle cultivar Arbequina, Arbosana e Koroneiki mentre in tutte le altre varietà saggiate si sono verificati riduzioni di produzioni tali da non rendere conveniente l'intervento.

3.3.2 Irrigazione

L'olivo è in genere coltivato in aree dove sia le precipitazioni sia la disponibilità di acqua per l'irrigazione è modesta. Tale tendenza, , assieme al sorprendente aumento delle superfici irrigate registrato in questi ultimi venti anni, rende sempre più indispensabile sviluppare sistemi di monitoraggio per seguire l'evoluzione delle esigenze idriche delle piante e determinare l'effettivo fabbisogno irriguo della coltura.

Nei sistemi di impianto tradizionale, caratterizzati da una bassa densità di piantagione, l'influenza dell'irrigazione è stata ampiamente riconosciuta come pratica essenziale per migliorare la qualità e la quantità delle produzioni, in particolare per quanto riguarda il settore delle olive da tavola (Lavee et al 1990; Girona et al.2000; Moriana et al 2003;.). L'irrigazione, rappresenta una tecnica colturale fondamentale per gli impianti Superintensivi poiché gli alberi sono caratterizzati da crescita limitata dell'apparato radicale, da elevato indice di area fogliare (LAI) e, di conseguenza, da una domanda di acqua più elevata rispetto agli impianti tradizionali e intensivi.

Per quanto concerne l'effetto dell'acqua sulla produttività di un impianto Superintensivo, Grattan et al. (2006), in uno studio condotto per due anni su piante di olivo di 30 mesi hanno

osservato che le rese hanno seguito una funzione positiva con l'aumento della % ET e che la resa in olio complessiva per pianta ha mostrato valori massimi per volumi di irrigazione corrispondente al 75% di ET. Recentemente, Naor et al. (2012) hanno riportato un aumento della resa in olio da 1.99 al 3.06 t / ha all'aumentare della quantità di acqua erogata mentre Fernandez et al. (2013) hanno evidenziato che è possibile adottare con successo strategie di irrigazione in deficit idrico controllato in impianti Superintensivi, risparmiando fino al 72% di acqua rispetto al controllo (100% ET), riducendo la resa solo del 26%.

Berenguer et al. (2006) si sono concentrati sulla qualità dell'olio di oliva, dimostrando che relativamente a questo parametro l'acqua può avere un'influenza negativa come già è stato dimostrato da altri autori (Ben-Gal et al 2008;. Dag et al 2.008.)

Gómez-del-Campo et al. (2008), studiando l'effetto di diversi trattamenti irrigui su giovani impianti in parete, hanno trovato una relazione negativa tra stress idrico e crescita vegetativa. Sempre Gómez-del-Campo (2013a) ha studiato l'effetto della riduzione di acqua in differenti periodi della stagione asciutta e ha osservato che quando lo stress è applicato in prossimità della fase di indurimento del nocciolo (Luglio) oltre a pervenire ad un risparmio di acqua pari al 16%, non è stata compromessa la produzione di olio; è stato inoltre rilevato che lo stress idrico influenza la crescita vegetativa e la produzione di olio Gómez-del-Campo (2013b)

Secondo Fernandez et al., (2013) lo stress idrico moderato è necessario per migliorare la resa in olio, la qualità e limitare la crescita vegetativa. (Fernandez al 2013 al.).

Il criterio più ampiamente seguito per valutare le esigenze idriche dell'oliveto è quello proposto dalla Food and Agriculture Organization (FAO) e si basa sul calcolo dell'evapotraspirazione colturale (Etc) che tiene conto dell'evapotraspirazione di riferimento e del coefficiente colturale (Allen et al., 1998).

Per una corretta gestione dell'irrigazione, occorre però la quantificazione precisa dell'evapotraspirazione delle piante. L'evapotraspirazione colturale (Etc) è normalmente calcolata come prodotto tra l'evapotraspirazione di riferimento ET (ET_o) e un coefficiente colturale (K_c), che dipende dalle caratteristiche della copertura del suolo e delle colture, . Nel caso dell'olivo, le informazioni sul K_c sono ancora incomplete tanto che ancora oggi viene per lo più calcolato tramite misure dell'ET con il bilancio idrico del suolo.

La variabilità dei K_c, nonché del coefficiente di copertura (K_r), misurata in contesti diversi rispetto a quelli in cui si opera rende inaffidabile il metodo della FAO. (Palomo et al., 2002) che in genere tende a sovrastimare i quantitativi di acqua necessaria a soddisfare le effettive esigenze idriche della coltura.

Ancora oggi la strategia di irrigazione attualmente utilizzata è quella di fornire acqua sufficiente a soddisfare pienamente le esigenze idriche della coltura, in modo che la richiesta evapotraspirativa ET sia pienamente soddisfatta lungo il corso di tutta la stagione asciutta. In relazione all'aumento dei costi di irrigazione tale approccio ha subito in questi ultimi anni un profondo cambiamento specialmente in regioni dove la disponibilità di acqua è modesta. In questi ultimi anni, un sensibile cambiamento strategico nella gestione dell'irrigazione è in atto (Feres et al., 2006) tanto che gli agricoltori ricevono spesso assegnazioni di acqua inferiori al fabbisogno massimo di ET anche se ciò comporta una pur leggera perdita di produzione agricola; l'evaporazione dalla chioma è infatti strettamente correlata con l'assimilazione del carbonio (Hsiao et al. 2007).

Le strategie di deficit irriguo (DI) sono ampiamente utilizzate in agricoltura. L'obiettivo di tale approccio è quello di aumentare l'efficienza dell'uso dell'acqua, sia riducendo che eliminando gli apporti idrici meno efficienti. Per la corretta applicazione di ogni strategia di Deficit è necessario un indicatore sensibile dello stress idrico, in grado di funzionare in condizioni di campo.

Indagini sull'irrigazione "in deficit" condotte in impianti Superintensivi hanno dimostrato che quantitativi di acqua pari a 1900 m³/ha (70% circa del fabbisogno irriguo stagionale stimato) sono risultati sufficienti a far raggiungere alle piante i più alti livelli di produzione di frutti e di olio (Campisi et al., 2009). Nella maggior parte dei comprensori olivicoli siciliani la disponibilità di acqua è molto limitata e i costi di irrigazione sono molto elevati.

Valutazione dello stato idrico della pianta

La misurazione dello stato idrico della pianta è un parametro dal quale non si può prescindere ai fini della programmazione dell'irrigazione, che in relazione alla dinamica delle esigenze idriche della pianta, dipende dalle condizioni climatiche e dal contenuto di umidità del suolo. (Goldhamer et al., 2003; Remorini et al., 2003).

Al fine di determinare lo stato idrico della pianta viene utilizzata la camera a pressione (Scholander et al., 1965), ritenuto ancora oggi lo strumento più affidabile. Le misure che con tale strumento vengono rilevate sono il potenziale idrico fogliare all'alba (pre-dawn ψ_{leaf}), il potenziale idrico fogliare a mezzogiorno (Midday ψ_{leaf}) e lo Stem Water Potential (ψ_{stem}). Prima dell'alba il potenziale idrico della foglia ci dà un'informazione sullo stato idrico del suolo nei pressi dell'apparato radicale, poiché lo stato idrico della pianta prima dell'alba è considerato in equilibrio con lo stato idrico del suolo. Il ψ_{leaf} giornaliero misurato su una singola foglia traspirante, riflette una combinazione di molti fattori: la domanda idrica della foglia; deficit di

pressione di vapore (VPD); la radiazione intercettata dalla foglia; disponibilità di acqua nel suolo; conduttività idraulica della pianta e regolazione stomatica

Nonostante ciò lo Stem Water Potential (ψ_{stem}) presenta dei limiti legati alla sua natura puntiforme distruttiva, lenta, laboriosa e inadatta per l'automazione.

Una corretta programmazione dell'irrigazione dovrebbe essere basata su valori di soglia universali che consentono la determinazione dello stato idrico dell'impianto e i diversi livelli di stress.

Diversi parametri possono essere monitorati per la gestione dell'irrigazione negli oliveti i, e per ciascuno di essi vi è una tecnologia specifica disponibile. Nell'ottica di una agricoltura di precisione al fine di valutare lo stato idrico della pianta e nel suolo l'uso di determinati sensori risulta oggi indispensabile.

Con l'aumento della tecnologia disponibile molte altre tecnologie specifiche sono state proposte per monitorare lo stato dell'acqua dell'albero, che consentono misure distruttive continue e non, come SAP-flow, variazione del diametro del tronco o tramite termorilevamenti; fino ad oggi questi metodi hanno trovato ampie applicazioni nella ricerca di base, ma sono troppo sofisticati per l'applicazione di routine da parte dei coltivatori (Rueger et al, 2010).

Negli ultimi anni, numerose pubblicazioni scientifiche hanno proposto un nuovo metodo, non invasivo, attraverso una sonda online per il monitoraggio dello stato idrico della foglia sonda (conosciuto come Yara ZIM-Probe), che risponde alle esigenze di controllo dell'irrigazione nelle colture orticole e frutticole (Zimmermann et al, 2008). Essa è caratterizzata da elevata precisione, convenienza operativa, costo contenuto, e da un'adeguata automazione.

Le sonde ZIM misurano le variazioni relative alla pressione di turgore della foglia; la pressione rilevata dal sensore delle sonde (pressione patch, P_p) è inversamente correlata alla pressione di turgore (P) (Zimmermann et al., 2008) come dimostra la l'equazione sopra riportata:

$$P_p = \left(\frac{b}{aP_c + b} \right)^{\frac{1}{a}} \cdot F_a \cdot P_{clamp}$$

dove a e b sono valori costanti relativi a proprietà specifiche della foglia, uguali o superiori all'unità; F_a è il fattore di attenuazione della foglia che tiene conto del fatto che solamente una

frazione costante di *Pclamp* arriva a livello cellulare a causa delle perdite dovute agli elementi strutturali specifici del sensore e della foglia (come la cuticola e le pareti cellulari) (Zimmermann et al., 2009).

Dalle prove effettuate, sino ad oggi, sulle diverse specie frutticole è risultato che la perdita di turgore dovuta allo stress idrico si riflette in maniera caratteristica sull'andamento sia giornaliero che stagionale dei valori di P_p . Sono stati dunque identificati diversi parametri che vengono influenzati dallo stress idrico e che possono essere utilizzati come indicatori dello stato idrico della pianta per una corretta irrigazione. Zimmermann e collaboratori nelle prove effettuate su *Tetrastigma voinierianum* (2008) e *Musa acuminata* (2009) hanno rilevato, in seguito ad uno stress idrico crescente, un incremento continuo dei valori massimi giornalieri di P_p dovuto alla perdita di turgore.

Rueger et al (2010), hanno saggiato detta tecnologia su diverse specie (eucalipto, avocado, uva-frutta, faggio e quercia) evidenziando i vantaggi legati ad un sensore non invasivo, l'elevata precisione del metodo e la possibilità di monitorare in continuo e in tempo reale lo stato idrico della pianta e quindi l'irrigazione delle piante superiori.

Tutti questi esperimenti rappresentano un interessante punto di partenza per l'introduzione di questi sensori per il monitoraggio dello stress idrico nell'olivo, ma c'è la necessità di verificare tale metodologia a condizioni sperimentali variabili.

Fino ad ora le sonde ZIM, sono state validate solo sui impianti Superintensivi di Arbequina (Fernandez et al, 2011, 2013; Padilla Diaz 2015; Rodriguez Dominguez 2012), mentre non ci sono dati sull'uso di questi sensori nei frutteti commerciali situati in altre zone di coltivazione, su diversi genotipi e in condizioni di crescita e di gestione differenti. L'unica eccezione è l'esperimento condotto nel 2010 da Ben-Gal et al. (2010) che hanno lavorato con la cultivar Barnea in una stazione sperimentale in Israele, ma in tale esperienza gli alberi sperimentali si trovavano all'interno di lisimetri ($2,5 \text{ m}^3$), condizione completamente diversa rispetto agli alberi coltivati in pieno campo (Bergstrom, 1990; Flury et al., 1999; Corwin, 2000).

Esperimento 1

4 Comportamento agronomico di cultivar di olivo siciliane in impianti superintensivi

4.1 Scopo delle ricerche

Nel corso di precedenti esperienze volte alla valutazione in un contesto di impianto Superintensivo del comportamento agronomico di cultivar di olivo siciliane, ne sono state individuate alcune meritevoli di maggiore attenzione (Caruso et al., 2014). Tali cultivar sono state oggetto di ulteriori indagini al fine di verificare la possibilità di impiego in alternativa ad altre “internazionali” che si sono rivelate particolarmente adatte alla suddetta tipologia d’impianto.

4.2 Materiali e metodi

Le osservazioni sono state effettuate presso un campo sperimentale del Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Palermo, costituito nella primavera del 2011 in agro di Sciacca, nella provincia di Agrigento (37° 32' N, 150 m slm).

Il clima dell’area dove si trova il campo sperimentale è tipicamente Mediterraneo, caratterizzato da estate calde e asciutte e da inverni miti; le precipitazioni mediamente si aggirano intorno ai 550-600 mm mentre la temperatura media mensile è di circa 18.2°C (dati relativi al periodo 1965-1994, rilevati dal Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano).

Il suolo è tendenzialmente sabbioso (60% sabbia, 18% limo e 22% argilla) con pH 7.7; il carbonato attivo è di poco inferiore al 5%.

Il campo sperimentale è stato costituito con piante autoradicate di un anno di età di otto diverse cultivar siciliane (Abunara, Biancolilla, Calatina, Cerasuola, Minuta, Nocellara del Belice, Nocellara Etnea e Olivo di Mandanici.) e di due cultivar straniere saggiate nelle principali aree olivicole del mondo e che possono essere assunte come riferimento per fornire elementi di valutazione comparativa: Arbequina (Spagna) e Koroneiki (Grecia),

Le piante sono state disposte secondo un sesto rettangolare e distanziate 5 m tra le file e 2 e 3 m sulla fila, dando così luogo a due diverse densità d’impianto: 1000 e 666 p/ha. Tenuto conto del minore vigore e della più lenta crescita vegetativa della pianta, l’Arbequina è stata solamente impiantata al sesto di 5 x 2 m.

La forma di allevamento adottata è riconducibile ad una “palmetta libera” con il primo palco di branche a circa 80 cm da terra; l’altezza è stata fissata a 3 m. Per favorire l’ottenimento e la gestione della forma di allevamento è stata costruita una struttura di

appoggio costituita da pali e tre serie di fili zincati posti all'altezza di 70, 170 e 270 cm dal piano di campagna tre serie di fili. Nei primi due anni le piante sono state lasciate libere di vegetare, tranne qualche piccolo intervento cesorio è stato effettuato volto ad eliminare rami succhionanti.

Negli inverni 2013 e 2014 le piante sono state sottoposte a leggeri interventi di potatura di allevamento, mirati a conferire agli alberi forma appiattita.

I filari sono stati orientate con andamento Nord-sud. Tutte le piante hanno fruito dei medesimi interventi colturali .

Sono stati rilevati i seguenti parametri:

- diametro del tronco (20 cm da terra);
- peso della produzione;
- quantità di vegetazione asportata con la potatura,
- stadio medio di maturazione alla raccolta (ripartizione dei frutti in tre diversi stadi di maturazione: verde, invaiato, nero) resa al frantoio.

4.3 Analisi statistica

I dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza utilizzando il pacchetto Systat (SYSTAT Software Inc., Chicago,) e la separazione delle medie è stata valutata con il test di Tukey per valori di $P \leq 0.05$.

4.4 Risultati

Area Sezione tronco

Facendo riferimento all'ultimo anno di osservazioni (2015), un periodo sufficientemente lungo perché le piante delle cultivar in studio possano avere superato il trauma della crisi di trapianto ed espresso il relativo potenziale di crescita vegetativa, assumendo come riferimento l'Arbequina, la cultivar più debole, si rileva che solamente la Calatina (Tabella 1) ha mostrato valori simili di area della sezione del tronco, 39 e 40 cm² rispettivamente. Valori di AST decisamente più elevati sono stati invece riscontrati nelle cultivar Cerasuola e Olivo di Mandanici (79,6 e 81,7 cm² rispettivamente). Tutte le altre cultivar hanno mostrato valori intermedi agli estremi sopra riportati. E' interessante evidenziare che le differenze tra le cultivar più vigorose e quelle più deboli si delineano già a partire dal 2013, ovvero già due anni dopo l'impianto (Tabella 1) e si accentuano l'anno successivo. La maggiore distanza d'impianto lungo la fila (3 m) ha favorito l'accrescimento del tronco, come è emerso dai dati relativi al 2015 (69,5 vs 65,2 cm²). (Tabella 1)

Con riferimento all'interazione sesto x cultivar, malgrado nei primi due anni di osservazioni siano emerse interazioni statisticamente significative, tale effetto non si è manifestato nel 2015. (Tabella 1)

Tabella 1. Area della sezione del tronco (ASTcm²) di 10 cultivar di olivo in due diverse densità d'impianto

Effetti principali	Anno		
	2013 AST kg/cm ²	2014 AST kg/cm ²	2015 AST kg/cm ²
Cultivar			
Abunara	23.5 b	36.7 b	68.4 b
Arbequina	13.4 a	20.7 a	39.2 a
Biancolilla	24.5 b	39.2 b	71.1 b
Calatina	16.8 a	20.8 a	40.9 a
Cerasuola	34.5 d	47.3 c	79.6 c
Koroneiki	24.5 b	43 b	67.2 b
Minuta	30 c	39.9 b	79.1 bc
Nocellara del Belice	25.6 b	39.6 b	68.4 b
Nocellara Etnea	24.7 b	37 b	77.1 b
Olivo di Mandanici	30.9 c	42.4 b	81.7 c
Significatività	**	**	**
Sesto d'impianto			
5m x 2m	24	36.6	65.2
5m x 3m	25.6	36.7	69.3
Significatività	**	**	**
Interazione			
Cultivar x Sesto d'impianto	**	**	n.s.

Produzione pianta (kg)

Passando ad esaminare i risultati ottenuti nei vari anni di osservazioni, nel 2013 hanno cominciato a fruttificare oltre all'Arbequina (0,4 kg) e alla Koroneiki (0,2 kg) la Nocellara del Belice (0,4 kg) e la Calatina (0,3 kg). Bisogna attendere il 2015 perché tutte le cultivar inizino a fruttificare: Abunara, Biancolilla e Nocellara Etnea hanno infatti prodotto i frutti a partire da tale anno (Tabella 2).

Produzioni agronomicamente interessanti sono state osservate nel 2014 per le cultivar Calatina (5 kg), Arbequina e Mandanici (4,1 Kg). Minuta (1,9 kg), Koroneiki (1,6 Kg) e Cerasuola (1,2 kg), hanno mostrato livelli produttivi non trascurabili. Complessivamente (2013-2015) le cultivar più produttive sono risultate nell'ordine Calatina (15 kg/pianta); Koroneiki (14

kg/pianta), Olivo di Mandanici (13.9 Kg/pianta) e Arbequina (13,7 Kg/pianta) mentre Abunara (5,8 kg/pianta) e Nocellara Etnea hanno fatto registrare i minori valori.

Sia nel 2014 sia nel 2015 sono state rilevate maggiori produzioni alle densità d'impianto minori (5x3 m).

Con riferimento all'interazione sesto x cultivar, eccezione fatta per il 2013, sono emerse interazioni statisticamente significative. (Tabella 2)

Tabella 2. Produzioni unitarie per pianta(kg) in 10 cultivar di olivo in due diverse densità d'impianto

Effetti principali	Anno			Produzione cumulata 2013-2015 kg/pianta
	2013 kg/pianta	2014 kg/pianta	2015 kg/pianta	
Cultivar				
Abunara	0 b	0 e	5.8 c	5.8 c d
Arbequina	0.4 a	4.1 a b	9.2 b	13.7 a b
Biancolilla	0 b	0 e	7.3 b c	7.3 c
Calatina	0.3 a	5 a	9.9 a b	15 a
Cerasuola	0 b	1.2 c d	10.3 a b	11.5 b
Koroneiki	0.2 a	1.6 c	12.2 a	14 a b
Minuta	0 b	0 e	5.7 c	7.6 c
Nocellara del Belice	0.4 a	0.5 d e	9.5 b	10.3 b c
Nocellara Etnea	0 b	0 e	3.8 c	3.8 d
Olivo di Mandanici	0 b	4.1 a b	9.8 a b	13.9 a b
Significatività	**	**	**	
Sesto d'impianto				
5m x 2m	0.14	1.5	7.8	9.47
5m x 3m	0.13	2.2	8.9	11.19
Significatività	n.s.	**	**	**
Interazione				
Cultivar x Sesto d'impianto	n.s.	**	*	n.s.

Efficienza produttiva pianta

Le cultivar che sono emerse in base al parametro in argomento sono Arbequina e Calatina.

In particolare, nel 2014, anno in cui le produzioni hanno raggiunto livelli agronomicamente apprezzabili, la Calatina ha fatto registrare valori significativamente superiori (0,25 Kg/cm²).

Nell'anno successivo alla suddetta cultivar si è associata anche l'Arbequina (Tabella 3). Abunara (0,081 Kg/cm²) Minuta (0,072 Kg/cm²) e Nocellara Etnea (0,05 Kg/cm²) sono risultate le cultivar meno efficienti.

Relativamente alle distanze d'impianto e all'interazione cultivar x densità, eccezione fatta per il 2014, non si riscontrano differenze degne di nota.

Tabella 3. Efficienza produttiva (EP kg/cm²) in 10 cultivar di olivo in due diverse densità d'impianto

Effetti principali	Anno		
	2013 EP kg/cm ²	2014 EP kg/cm ²	2015 EP kg/cm ²
Cultivar			
Abunara	0 b	0 c	0.081 d
Arbequina	0.035 a	0.201 b	0.243 a
Biancolilla	0 b	0 c	0.130 c d
Calatina	0.017 b	0.248 a	0.242 a
Cerasuola	0 b	0.028 d	0.131 c
Koroneiki	0.01 b	0.047 d	0.181 b
Minuta	0 b	0.049 d	0.072 d
Nocellara del Belice	0.018 a b	0.011 d	0.137 c d
Nocellara Etnea	0 b	0 c	0.05 d
Olivo di Mandanici	0 b	0.097 c	0.123 c d
Significatività	**	**	**
Sesto d'impianto			
5m x 2m	0.01	0.056	0.005
5m x 3m	0.1	0.08	0.005
Significatività	n.s.	**	n.s.
Interazione			
Cultivar x Sesto d'impianto	n.s.	**	n.s.

Densità impianto e produzioni

La densità d'impianto (Tabella 4) ha avuto effetto statisticamente significativo sulla produzione cumulata (2013-2015) che ha raggiunto valori più alti (94 qli/ha) alla densità d'impianto maggiore (5 x 2 m).

Relativamente alle cultivar Calatina e Koroneiki hanno fatto registrare le produzioni cumulate più elevate, rispettivamente 127, 5 e 116 qli/ha .

I valori statisticamente più bassi sono stati rilevati nelle cultivar Abunara (45 qli/ha) e Nocellara Etnea (32 qli/ha)

Tabella 4. Produzione cumulata (qli/ha) nel triennio di sperimentazione in 10 cultivar di olivo in due diverse densità d'impianto

Effetti principali	Produzione cumulata 2013-2015 qli/ha
Abunara	45.2 c d
Arbequina	101.5 b
Biancolilla	59.9 c
Calatina	127.5 a
Cerasuola	95 b
Koroneiki	116.5 a b
Minuta	61.4 c
Nocellara del Belice	78.8 b c
Nocellara Etnea	32.2 d
Olivo di Mandanici	114.7 b
Significatività	**
Sesto d'impianto	
5m x 2m	94
5m x 3m	72
Significatività	**
Interazione	
Cultivar x Sesto d'impianto	**

Resa e produzione unitaria (qli/ha) di olio

La resa in olio, valutata nel 2015, quando le produzioni hanno raggiunto quantità sufficienti per moliture separate per ciascuna cultivar, è variata dal 5 al 18%. Le cultivar Koroneiki e Cerasuola sono quelle che hanno fatto registrare i valori più alti di resa (18%) mentre la cultivar Minuta i valori più bassi (5%).(Tabella 5)

La produzione unitaria di olio ha raggiunto i massimi livelli nella cultivar Koroneiki (19,4 qli/ha); Nocellara Etnea (3,3 qli/ha) e Minuta (2,7 qli/ha) sono invece risultate le meno interessanti.

Sul parametro in argomento la densità d'impianto maggiore ha fatto registrare valori significativamente più elevati (9,35 qli/ha). L'interazione cultivar x densità d'impianto è risultata statisticamente significativa.

Tabella 5. Produzione di olio (qli/ha) e resa(%) nell'anno 2015 di dieci cultivar di olivo in due diverse densità d'impianto

Effetti principali	Produzione olio qli/ha	Resa olio %
Abunara	4.6 d e	10
Arbequina	7.9 c	11
Biancolilla	4.6 d e	7
Calatina	6.5 c d	7
Cerasuola	15.4 b	18
Koroneiki	19.4 a	18
Minuta	2.7 e	5
Nocellara del Belice	8.3 c	11
Nocellara Etnea	3.3 e	10
Olivo di Mandanici	7.3 c	9
Significatività	**	
Sesto d'impianto		
5m x 2m	9.35	
5m x 3m	6.69	
Significatività	**	
Interazione		
Cultivar x Sesto d'impianto	**	

4.5 Discussione dei risultati

La produzione di olio di oliva in Sicilia si aggira intorno alle 44.000 tonnellate/anno (Agea campagna olivicola 2013-2014) con una media per ettaro di circa 3 qli di olio che, agli attuali prezzi medi (3.50 €) rendono insostenibile la coltura, soprattutto nelle aree di alta collina e di montagna.

Anche gli oliveti intensivi, basati oggi su densità d'impianto di 250-300 piante/ha e su forme di allevamento in volume (vaso e relative varianti), benché possano essere raccolti meccanicamente con macchine che operano per vibrazione del tronco, risultano spesso al limite della sostenibilità economica. I modelli d'impianto *Superintensivi* oggetto delle presenti esperienze, lasciano intravedere la possibilità di rilanciare l'olivicoltura italiana, attraverso una migliore valorizzazione di cultivar scelte nell'ambito dell'ampio patrimonio varietale autoctono. Tra dette cultivar, oltre a quelle più diffusamente coltivate sono da prendere in considerazione, ai fini della valutazione agronomica, anche alcune meno note e che possono meglio adattarsi ai suddetti modelli d'impianto. D'altra parte gli impianti Superintensivi sono stati sviluppati proprio grazie alle particolari caratteristiche di alcune cultivar "minori" che negli impianti tradizionali non reggevano il raffronto con le cultivar più note (Cordoba et al 1992; Tous et al.1993; Moya et al. 2005; Hermoso et al. 2011.). Relativamente alle prove effettuate si segnalano le cultivar Calatina e Olivo d Mandanici, di diverso vigore, portamento e habitus di fruttificazione (Catalogo di olivo siciliano 2007) che hanno mostrato grande plasticità di adattamento rispetto alla gestione nelle suddette tipologie d'impianto.

Per quanto concerne gli aspetti maggiormente legati alla tipologia d'impianto, precedenti prove (Caruso et al. 2014) avevano evidenziato che, rispetto alle cultivar "internazionali" consigliate, nessuna accessione del patrimonio varietale autoctono saggiato era in grado di soddisfare pienamente le esigenze degli impianti Superintensivi "classici" (densità d'impianto di 1500-2000 piante/ha, alberi allevati ad asse centrale, potatura meccanica di topping) (Tombesi et al. 2011). Le varianti proposte in tale studio, che comportano la riduzione della densità d'impianto (670-1000 vs 1600-2000 piante/ha) e il passaggio da forme di allevamento in volume (asse centrale) a quelle appiattite (palmetta libera) hanno evidenziato la possibilità di utilizzare un più ampio panorama varietale. Nel caso specifico si è trattato di cultivar siciliane presenti in aziende di dimensioni medio-piccole e orientate alla produzioni di nicchia, tipologia aziendale molto rappresentate nell'olivicoltura italiana.

Malgrado le esperienze abbiano interessato impianti giovani e un arco temporale piuttosto limitato (4 anni) sono stati raggiunti livelli produttivi di notevole interesse soprattutto alle densità d'impianto maggiori (5x2 m). Con gli impianti intensivi, in Sicilia, non risulta siano mai

stati raggiunti, già tre anni dopo la messa a dimora delle piante, i livelli produttivi (40 qli/ha) ottenuti nel corso delle presenti prove son alcune cultivar (Calatina e Olivo di Mandanici). Tali valori sono ulteriormente aumentati l'anno successivo fino a raggiungere, sempre con le suddette cultivar, livelli produttivi di circa 100 qli/ha. Si tratta di livelli produttivi comparabili a quelli ottenuti con Arbequina e che, tenuto conto anche della resa al frantoio (Tab. 5), lasciano intravedere la possibilità di superare agevolmente le quantità di olio/ha mediamente ottenuta negli oliveti siciliani.

Rispetto a quest'ultimo parametro, è da tenere in debita considerazione anche il contenuto medio in olio che è variato sensibilmente in rapporto alla cultivar.

Leon et al., (2007) operando con un impianto di Arbequina alla densità compresa tra 780 e 2581 piante/ha evidenziato che sette anni dopo l'impianto, all'aumentare della densità di piantagione, non è emerso alcun segno di declino produttivo, espresso in termini di quantità di olio/ha, determinato da una possibile competizione tra le piante.

Caruso et al., (2012) nel corso di una prova collegiale condotta in tre diverse regioni italiane (Umbria, Puglia e Sicilia) e volta a studiare il comportamento agronomico dell'Arbequina in impianti Superintensivi con densità di 1666 e 1905 piante/ha hanno rilevato al V anno produzioni medie di 5,5 kg/pianta pari a 91-104 qli/ha. Nell'anno successivo, Camposeo et al., (2015) hanno rilevato produzioni di circa 100 qli/ha, decisamente più basse rispetto a quelle ottenute nelle presenti prove con cultivar autoctone e a densità di piantagione sensibilmente inferiori. Rimane da comprendere se i suddetti risultati siano conseguenza della diversità ambientale o di scelte legate alla gestione colturale. Tra queste ultime un ruolo decisivo hanno la forma di allevamento e i criteri di potatura adottati, che se non appropriati possono essere causa di fenomeni di competizione tra le piante (Connor et al.,2006).

Si ritiene inoltre utile verificare, per le cultivar autoctone siciliane, l'andamento delle produzioni negli anni a venire e la costanza nel tempo delle stesse. Aspetto non trascurabile è inoltre dimostrare la sostenibilità economica delle tipologie d'impianto studiate; la produzione è infatti solo uno degli elementi del bilancio economico il cui esito positivo è legato anche ai costi di impianto e gestione. Ad aggravare i costi di produzione negli impianti Superintensivi contribuiscono largamente i costi d'impianto(Tous et al. 2014), che devono contemplare anche le spese da sostenere per l'acquisto e il montaggio delle strutture di appoggio e quelli dell'impianto di irrigazione.

Ricercatori spagnoli (Leon et al. 2007) hanno infatti dimostrato che oliveti intensivi con 400-700 piante/ha risultano più convenienti rispetto agli impianti Superintensivi, "classici"

condizione che si verifica soprattutto quando il prezzo dell'olio extravergine fa registrare valori decisamente bassi sul mercato internazionale.

Dal punto di vista ecofisiologico si rileva che, rispetto agli impianti intensivi, quelli Superintensivi, sviluppandosi secondo pareti continue, si contraddistinguono per gli elevati valori di LAI dell'impianto che favoriscono l'intercettazione di elevati livelli di luce, soprattutto quando i filari hanno andamento Nord-sud (Trentacoste et al. 2015; Connor et al. 2016). Altro elemento da non trascurare sono gli ampi margini di miglioramento quantitativo e qualitativo delle produzioni negli impianti in parete in rapporto alla densità d'impianto e allo sviluppo in altezza della chioma (Trentacoste et al 2015)

L'altezza delle pareti, che è funzione delle distanze tra i filari, se eccessiva, può essere infatti causare gradienti di intensità luminosa lungo il profilo verticale della chioma con sensibili variazioni nella dinamica di maturazione e nella qualità finale dei frutti e dell'olio. (Connor et al 2009.) La migliore soluzione, pertanto, sembra essere quella di ridurre la distanza tra i filari e, di conseguenza contenere anche l'altezza della pianta criterio seguito nelle presenti prove.

Esperimento 2

5 Studio del comportamento agronomico di tre cultivar contraddistinte da diverso habitus vegetativo e della fruttificazione in relazione a diversi criteri di potatura

5.1 Scopo delle ricerche

Se la scelta delle cultivar assume fondamentale importanza ai fini del successo agronomico degli impianti Superintensivi e la corretta gestione dell'irrigazione assume importanza fondamentale ai fini della costanza produttiva e della qualità delle produzioni, aspetto certamente non trascurabile è la potatura. Gli studi relativi alla possibilità di meccanizzare anche tale pratica colturale negli impianti Superintensivi sono infatti stati avviati solamente di recente e peraltro su un panorama varietale decisamente ristretto (Joan Tous 1993)

Con la potatura, oltre ad eliminare la vegetazione che ha prodotto si mira a mantenere la forma di allevamento desiderata e a stimolare la pianta ad emettere annualmente nuova vegetazione, al fine di favorire il rinnovo vegetativo e, quindi, la costanza della produzione. In realtà, con la potatura manuale c'è la possibilità di scegliere la vegetazione da asportare, quando invece si vuole intervenire con le macchine non si ha alcuna possibilità di distinguere la vegetazione "utile" da quella superflua, per cui vengono tagliati indiscriminatamente rami con spiccate potenzialità produttive e rami esausti. La suscettività della pianta alla meccanizzazione della potatura, oltre che dall'habitus di fruttificazione è sensibilmente influenzata dal vigore, dal portamento e dalla densità della vegetazione e quindi, in definitiva, dalla conformazione complessiva della chioma o "architettura"

Scopo delle indagini di cui di seguito si riferisce è comprendere gli aspetti morfologici e fisiologici che stanno alla base del comportamento della pianta rispetto ad interventi di potatura meccanizzata di topping, di hedging e dell'azione combinata dei due interventi.

5.2 Materiali e metodi

La prova è stata effettuata presso il Parco d'Orleans dell'Università di Palermo. Le osservazioni sono state effettuate negli anni 2013- 2015 su piante franche di piede allevate ad asse centrale di tre diverse cultivar; due di tali cultivar fanno parte del patrimonio varietale siciliano: Calatina e Olivo di Mandanici, la terza è invece di origine spagnola ma diffusamente rappresentata nelle principali aree olivicole del mondo (Arbequina).

Le piante sono state allevate in contenitori di 350 l riempiti con substrato composto da torba e agriperlite in rapporto del 50% V/V. Tale substrato è stato arricchito con 30 g/vaso di Osmocote (Scotts Italia), con titolo 15+09+09+3MgO a lenta cessione (8-9 mesi). Le piante sono state trapiantate nei suddetti contenitori nella primavera 2012 dopo aver trascorso un anno in vivaio. Alla fine della stagione di crescita sono stati effettuati leggeri interventi di potatura manuale al fine di rendere omogenee le piante di ciascuna cultivar.

Per quanto concerne il protocollo sperimentale negli anni 2014 e 2015 le piante, allevate ad *asse centrale* forma di allevamento suggerita negli impianti Superintensivi, sono state sottoposte ai seguenti interventi di potatura:

Trattamenti	2014	2015
TI Potatura manuale	X	
Topping + Hedging	X	
Topping	X	X

Nel 2014 (III foglia) 3 piante/cultivar prima della ripresa vegetativa sono state sottoposte ad interventi di potatura meccanica di Topping (T) e di Topping+Hedging (T+H); sono state assunte come controllo piante sottoposte a Potatura manuale (Pm).

In dettaglio:

Trattamento 1 (T1): le piante sono state sottoposte a Potatura manuale, che ha previsto l'asportazione dei rami orientati verso l'interfilare (2014) e Topping (2015).

Trattamento 2 (T2): le piante sono state sottoposte a intervento di Topping, effettuato a 2,2 m di altezza (2014 e 2015)

Trattamento 3 (T3) : le piante sono state sottoposte ad un intervento di Topping ed uno di Hedging (2014) e Topping (2015). Il Topping è stato eseguito con lo stesso criterio adottato nel

trattamento T2; con l'hedging è stata asportata tutta la vegetazione della pianta diretta verso l'interfila che superava i 20 cm dall'asse centrale (tronco).

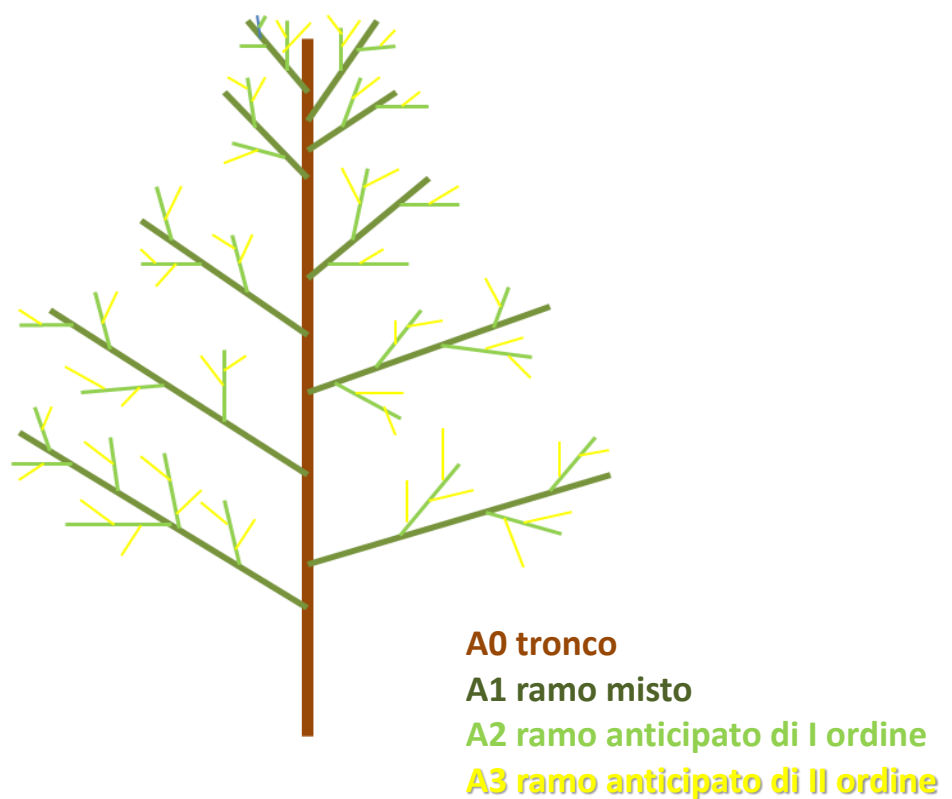
Dati rilevati

All'inizio del 2014 e del 2015 le piante sono state sottoposte ad interventi di potatura secondo il protocollo sperimentale sopra riportato.

La *biomassa asportata* (BA) è stata suddivisa in base al tipo di ramo come di seguito indicato e come rappresentato graficamente nella Fig.1 e su di essa sono stati rilevati i seguenti parametri:

- numero e tipologia di ciascuna categoria
- lunghezza (cm)
- diametro (mm) e numero di nodi
- peso fresco e peso secco di foglie e assi vegetativi

Figura 1. Rappresentazione grafica dei diversi tipi di ramo



Di ciascuna pianta è stata inoltre rilevata:

- circonferenza del tronco 10 cm al di sopra del colletto in modo da poter calcolare l'area della sezione del tronco (AST) cm^2 .
- produzione per pianta (kg);
- numero, peso fresco e peso secco dei frutti

Determinazione dell'habitus di fruttificazione

Nel 2014 e nel 2015, su 10 rami misti/pianta sono stati rilevati:

- lunghezza (cm) vegetazione dell'anno precedente (contrassegnata con A1 in Fig 1)
- numero dei rami anticipati inseriti sulla vegetazione dell'anno precedente (A2, A3) e distinti in rami anticipati.
- Indice di fruttificazione calcolato come numero di frutti/cm ramo distinto in rami misti e rami anticipati
- lunghezza (cm) della vegetazione dell'anno, distinta in rami misti e rami anticipati

E' stata infine calcolata l'efficienza produttiva come rapporto tra produzione pianta /AST (kg/cm^2).

5.3 Analisi statistica dei dati

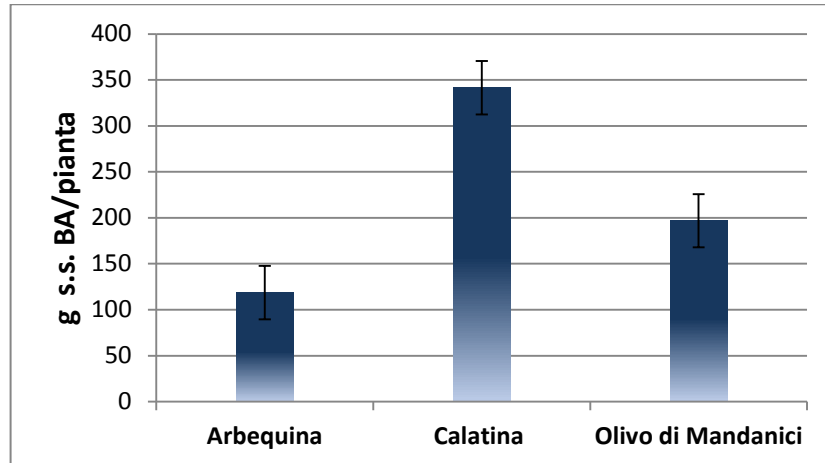
L'analisi statistica dei dati (ANOVA) è stata effettuata utilizzando il pacchetto Systat (SYSTAT Software Inc., Chicago, IL). Il test di Tukey per valori di $P \leq 0.05$ è stato utilizzato per la separazione delle medie.

5.4 Risultati

Biomassa asportata (Ba) con la potatura

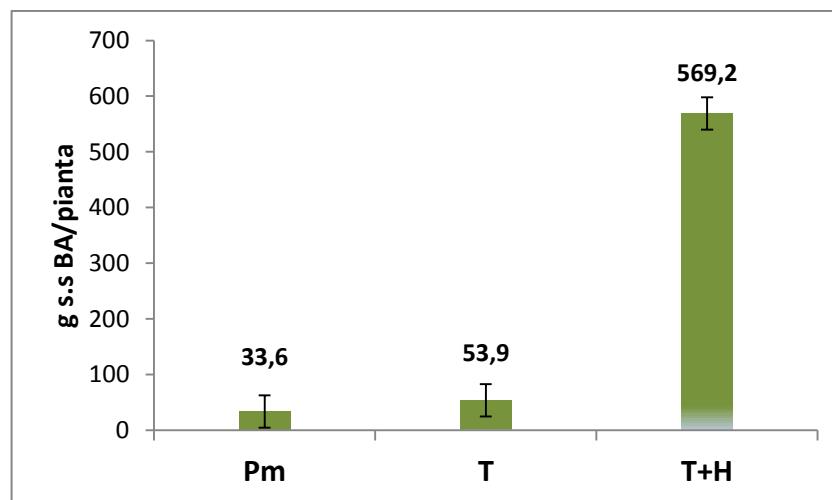
Nel primo anno di osservazioni (2014) i quantitativi di biomassa complessivamente asportati con la potatura sono risultati significativamente maggiori nella cultivar Calatina rispetto a Mandanici e Arbequina (Figura 2).

Figura 2. Quantità di biomassa asportata (g sostanza secca/pianta) con la potatura in tre cultivar di olivo (2014)



L'intervento che ha determinato l'asportazione del maggior quantitativo di biomassa (Fig. 3) è stato quello di "Topping + Hedging" (T+H) mentre quantitativi significativamente minori sono stati asportati con la "Potatura manuale" (Pm).

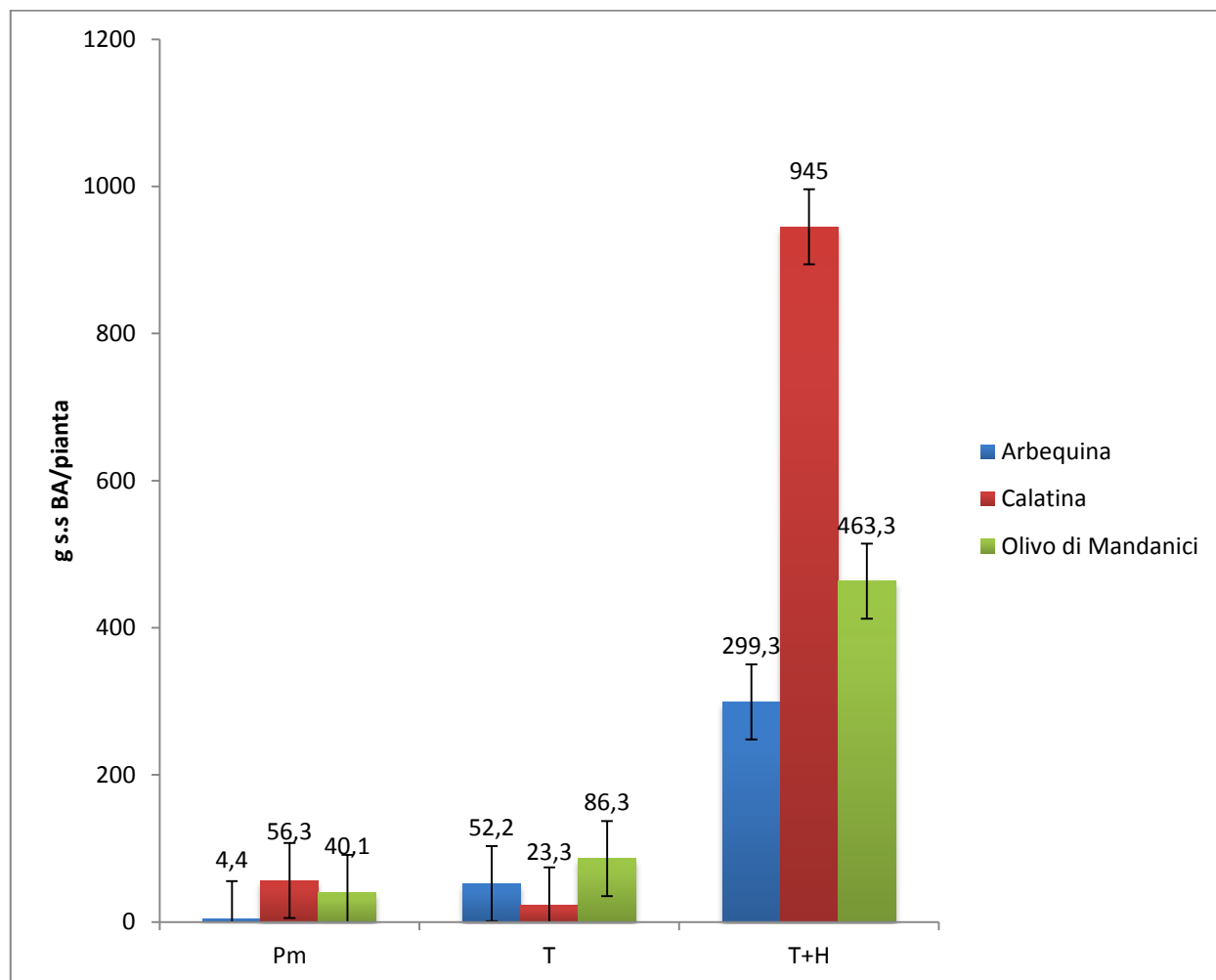
Figura 3. Quantità di biomassa asportata (g sostanza secca/pianta) con i tre diversi interventi di potatura a confronto



Differenze statisticamente significative sono state inoltre riscontrate nell'interazione cultivar x trattamento (Fig. 4). La maggiore quantità di biomassa è stata asportata con il trattamento di Topping+Hedging (T+H) nella cultivar Calatina (945 g pianta); tale dato è risultato nettamente superiore rispetto a quello rilevato nelle altre due cultivar oggetto

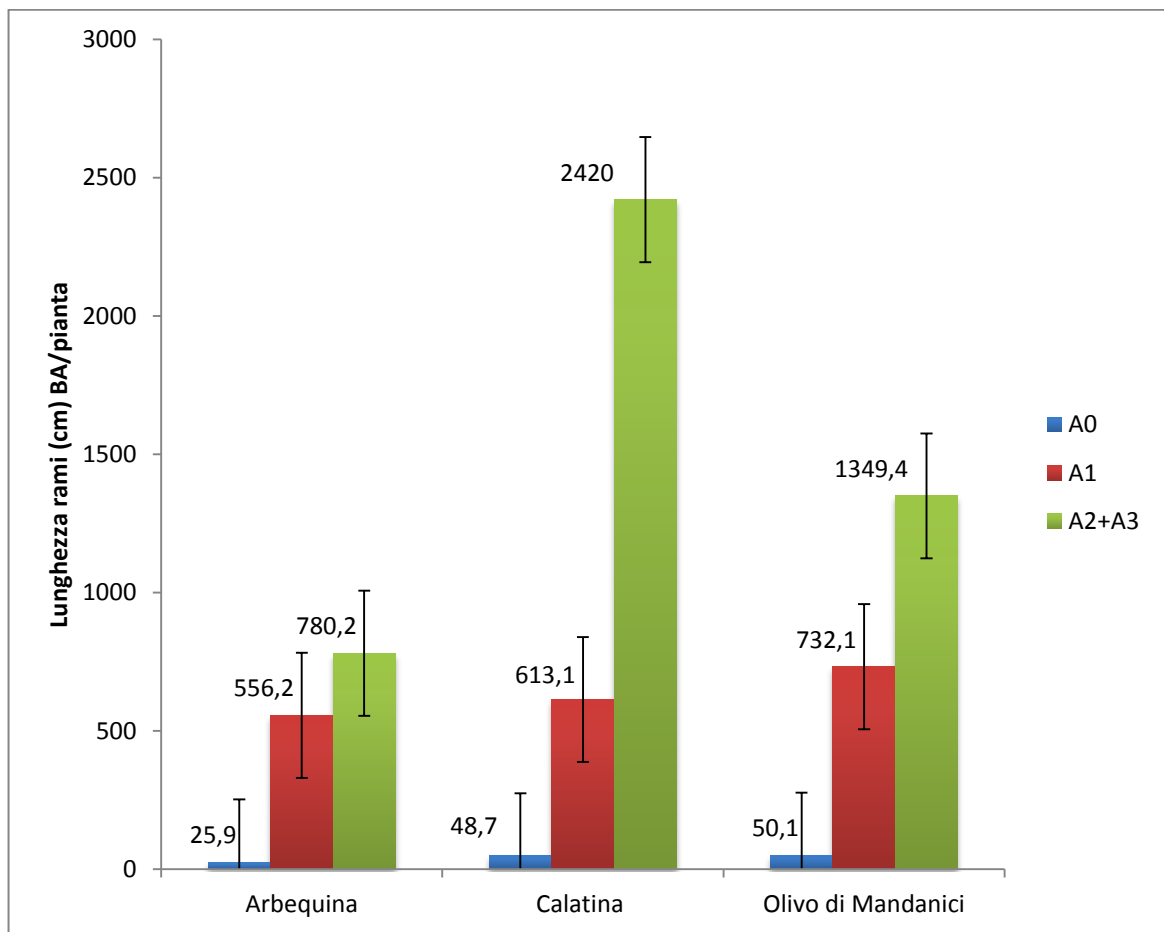
dell'indagine (463,3 e 299,3 g sostanza secca pianta rispettivamente nelle cultivar Olivo di Mandanici e Arbequina). Nessuna differenza è invece emersa nei quantitativi di BA tra gli interventi di potatura manuale (Pm) e di Topping (T).

Figura 4. Quantità di biomassa asportata con la potatura in tre cultivar di olivo in funzione del trattamento (2014)



Per quanto concerne la BA asportata e valutata in termini di lunghezza della vegetazione, (Fig. 5) differenze statisticamente significative sono state rilevate tra i trattamenti e le cultivar. In dettaglio, per quanto concerne le cultivar, nella Calatina sono stati per lo più asportati rami anticipati (A2+A3).

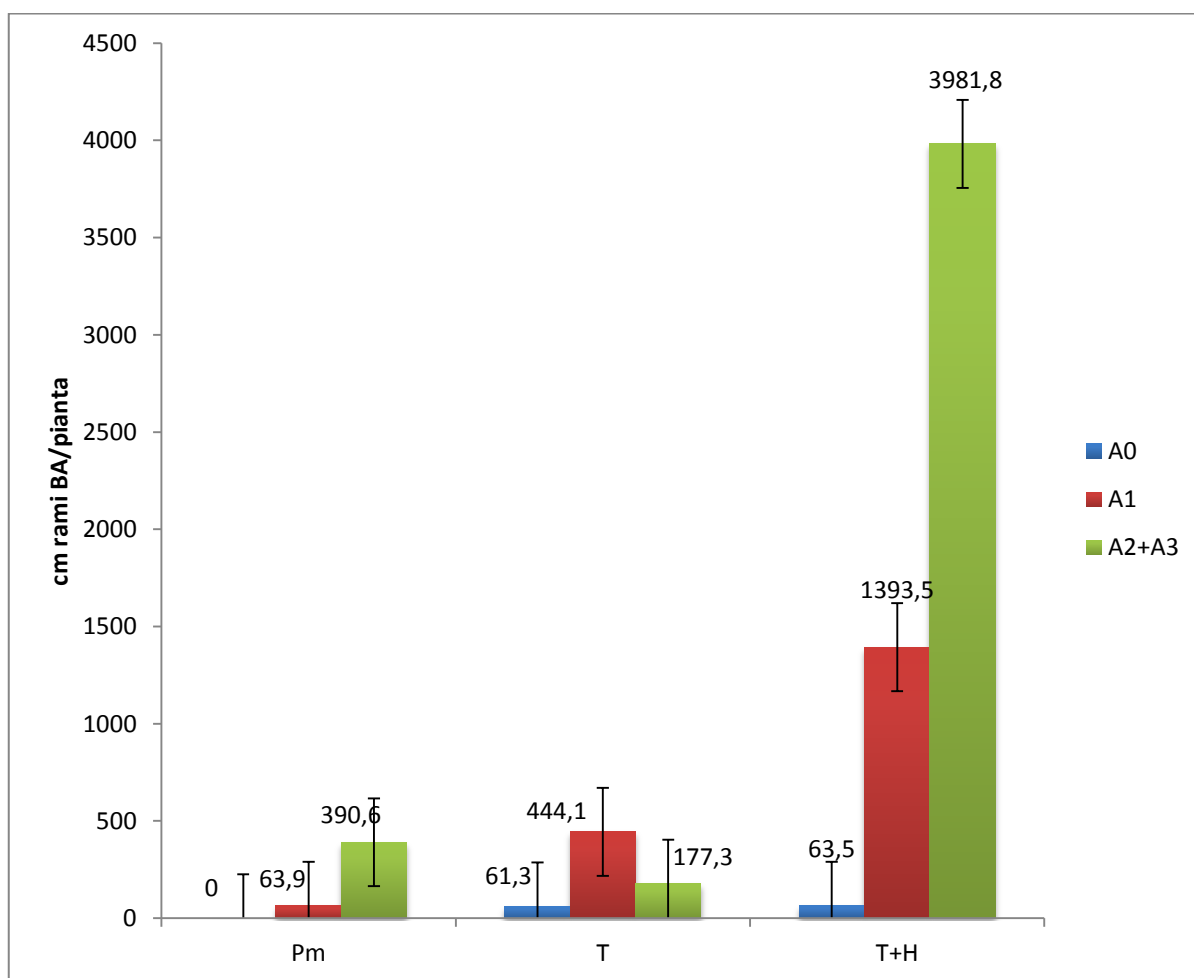
Figura 5. Lunghezza complessiva (cm) dei rami asportati (BA) in tre cultivar di olivo (2014)



Dall'analisi dei dati riportati in Fig. 6 risulta inoltre che con la **Potatura manuale** sono stati tagliati prevalentemente rami anticipati (A2, A3) con il Topping sono stati asportati soprattutto rami misti (A1) mentre con il trattamento di Topping+Hedging sono stati asportate quantità significativamente superiori sia di rami misti (A1) sia di rami anticipati (A2,A3)

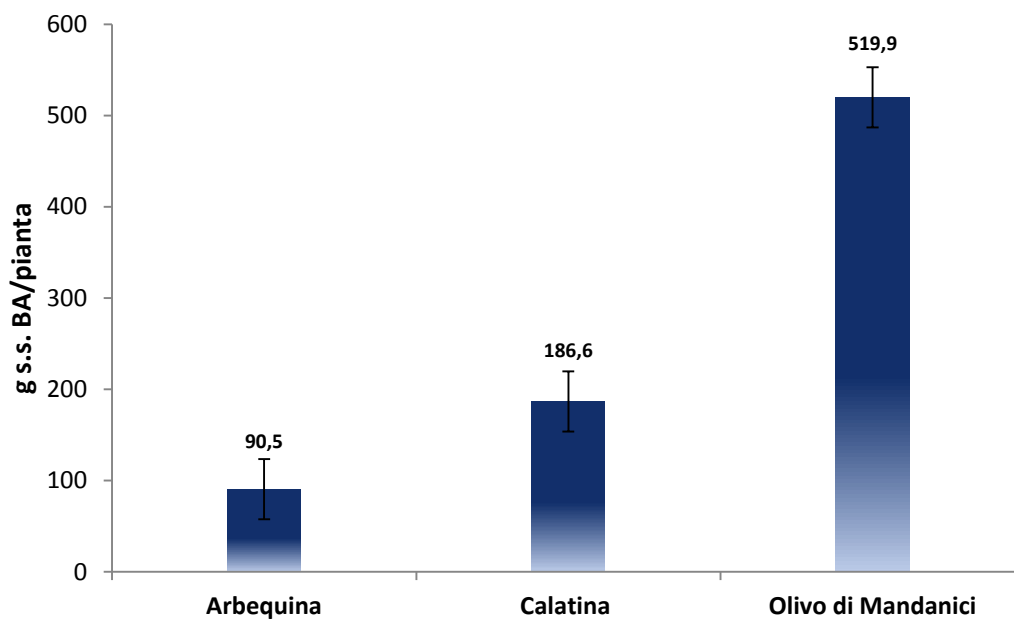
Per quanto concerne le branche (A0), valori di lunghezza significativamente maggiori sono stati riscontrati nella BA con gli interventi di Topping e di Topping+hedging.

Figura 6. Lunghezza (cm) dei diversi tipi di rami asportati in funzione degli interventi di potatura in tre cultivar di olivo (2014)



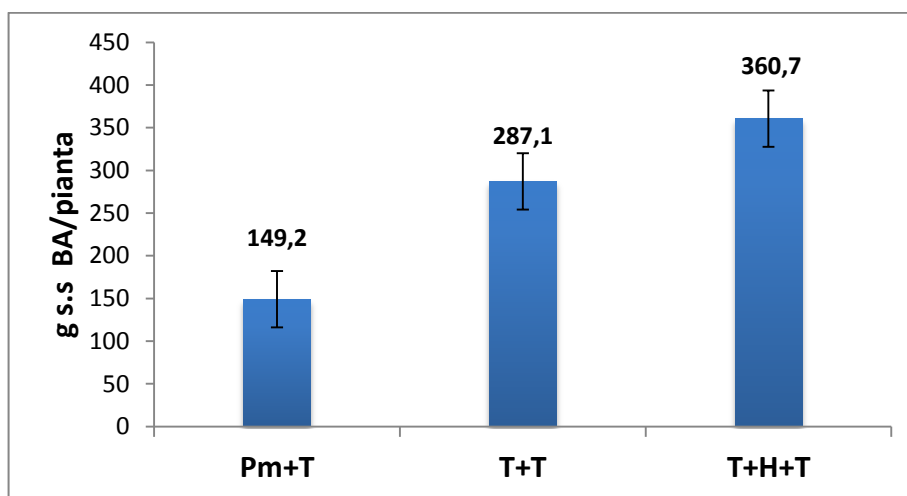
Nel 2015 la maggiore quantità di BA è stata riscontrata nell' Olivo di Mandanici, valori intermedi sono stati osservati nella Calatina mentre i valori più bassi sono stati registrati ancora una volta nell' Arbequina (Figura 7)

Fig 7. Quantità di biomassa asportata nelle 3 diverse cv con interventi di Topping (2015) .



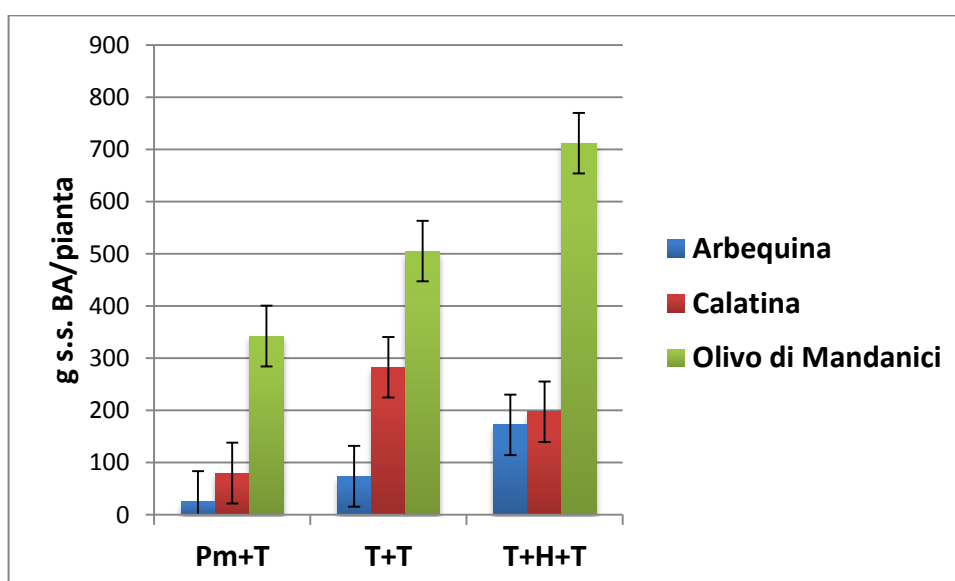
Sempre nel 2015 la maggiore quantità di BA (360,7 g) è stata asportata dalle piante che nel 2014 sono state sottoposte a Topping+Hedging (Fig 8); quantitativi significativamente minori di BA sono stati invece rilevati nelle piante sulle quali nel 2014 è stata praticata la potatura manuale (149,2 g) e l'intervento di Topping (287,1 g).

Figura 8 . Quantità (g) di biomassa asportata con la potatura nei tre diversi trattamenti (2015)



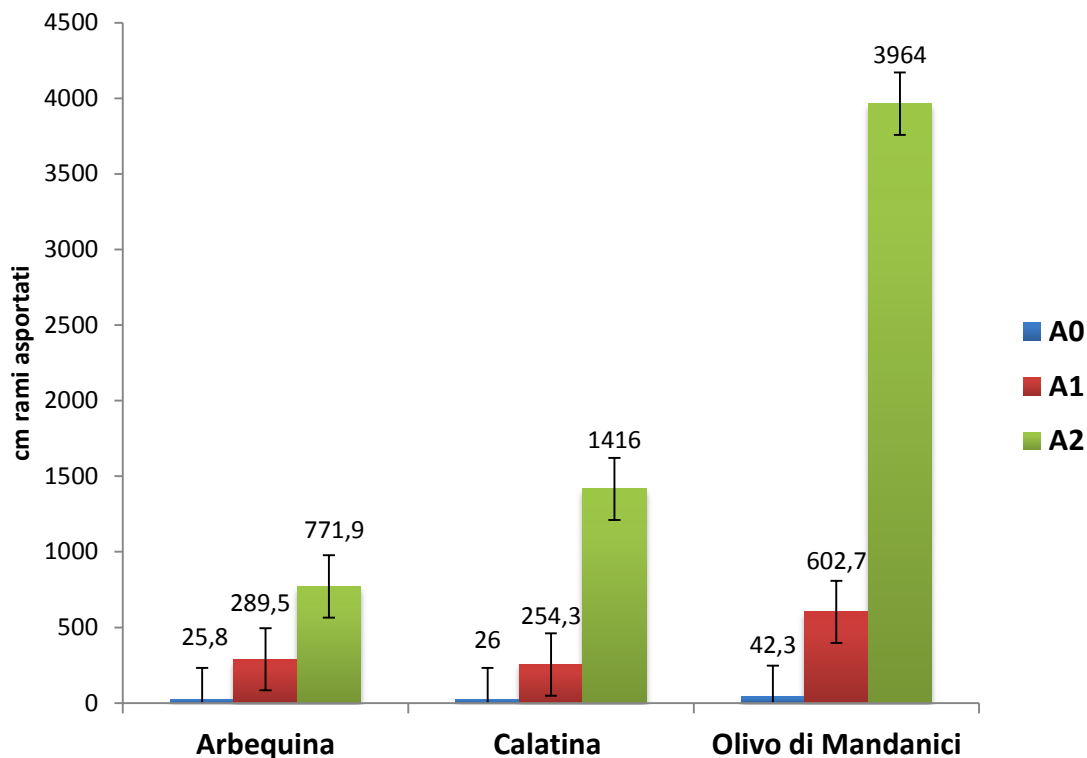
Con riferimento all'interazione cultivar x trattamento (Fig. 9) differenze degne di nota sono state riscontrate nella quantità di BA asportata nella cultivar Olivo di Mandanici che in tutti e tre i trattamenti ha fatto registrare valori statisticamente significativamente superiori rispetto alle altre due cultivar oggetto dell'indagine.

Figura 9. Quantità di biomassa asportata con la potatura in tre cultivar di olivo in funzione del trattamento (2015)



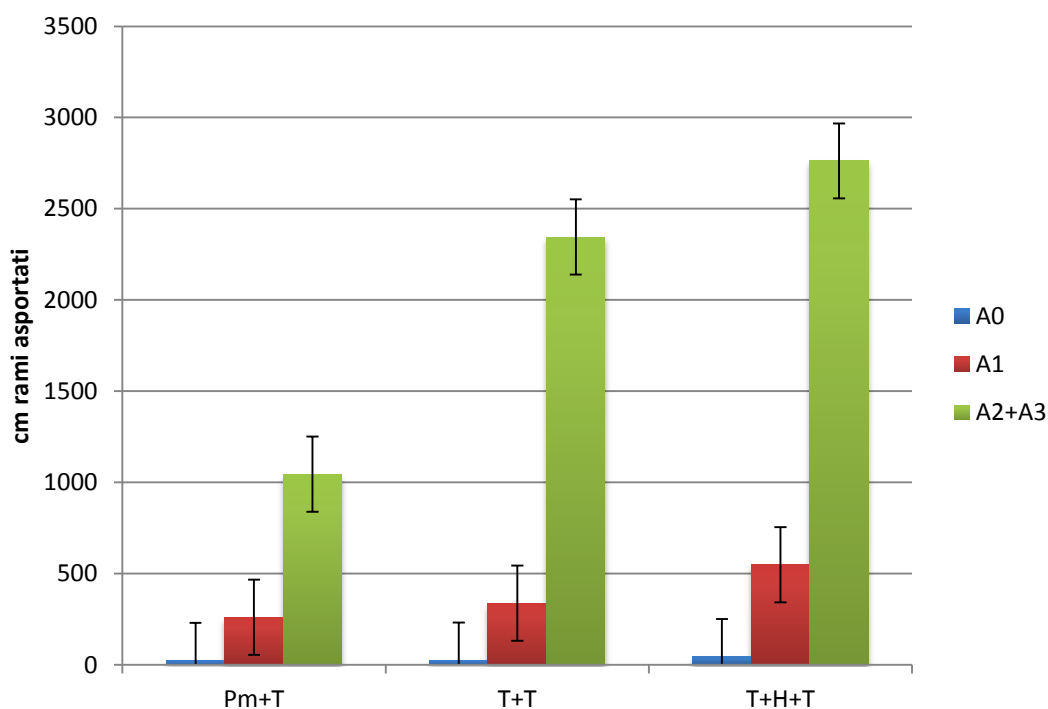
Nella BA asportata con gli interventi di Topping effettuati nel secondo anno di esperienze (2015) sono stati riscontrati quantitativi statisticamente superiori di rami anticipati (A2 e A3).

Figura 10. Lunghezza (cm) dei diversi tipi di rami asportati in tre cultivar di olivo (2015)



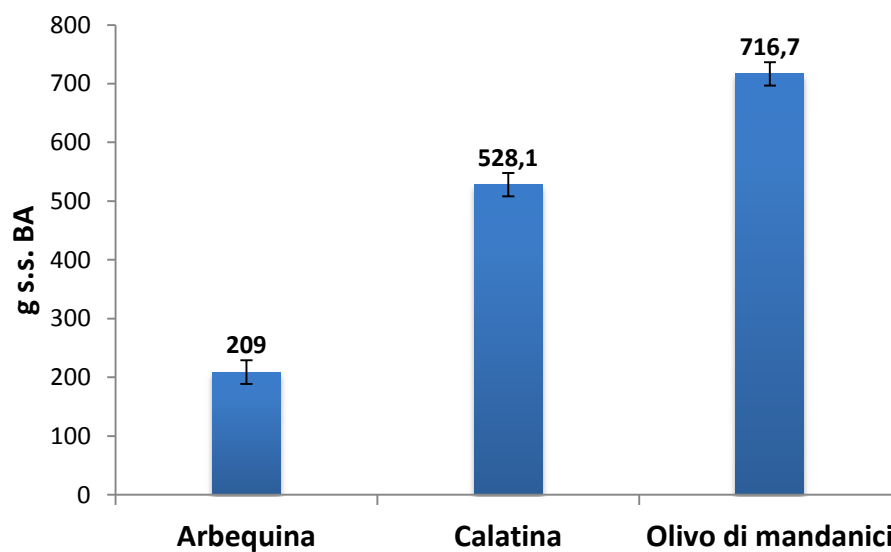
Dall'analisi dell'interazione trattamento x tipo di ramo (Fig. 11) la lunghezza complessiva della vegetazione asportata è risultata per lo più rappresentata da rami anticipati (A2,A3) piuttosto che da asse principale (A0) e rami misti (A1).

Figura 11. Lunghezza (cm) dei diversi tipi di rami asportati in funzione degli interventi di potatura (2015)



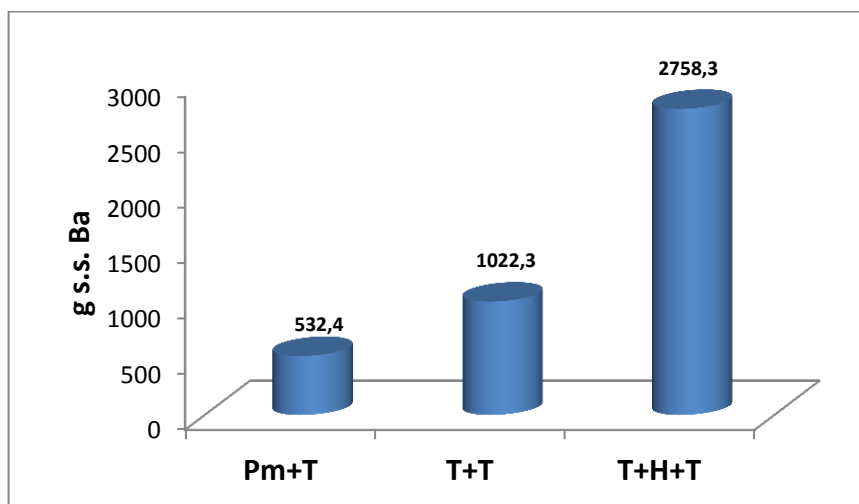
Nei due anni di indagini sono stati complessivamente asportati quantitativi superiori di biomassa dalla cultivar Olivo di Mandanici rispetto a Calatina e a Arbequina, che è risultata la cultivar dalla quale è stata sottratta il minor quantitativo di biomassa Fig 12.

Figura 12: BA asportata complessivamente nei due anni nelle tre cv di olivo



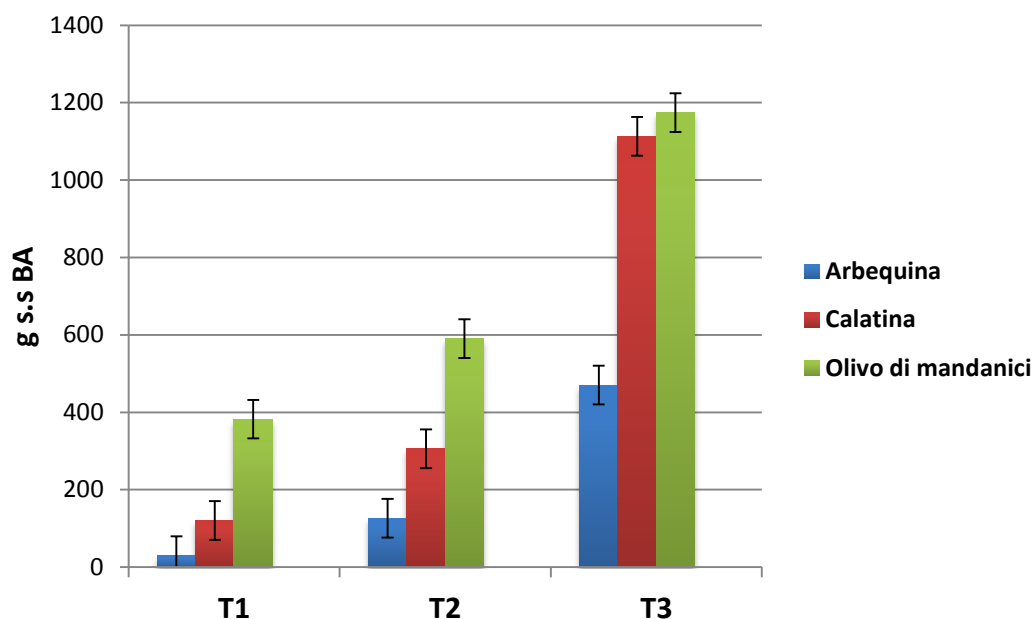
Con riferimento ai trattamenti nei due anni di prova l'intervento che determina una maggiore asportazione di biomassa è stato il trattamento della tesi T3 (T+H 2014 +T 2015). Fig 13

Figura 13. Quantità di BA complessivamente asportata nelle tre cultivar di olivo nel 2014 e nel 2015 con i diversi trattamenti



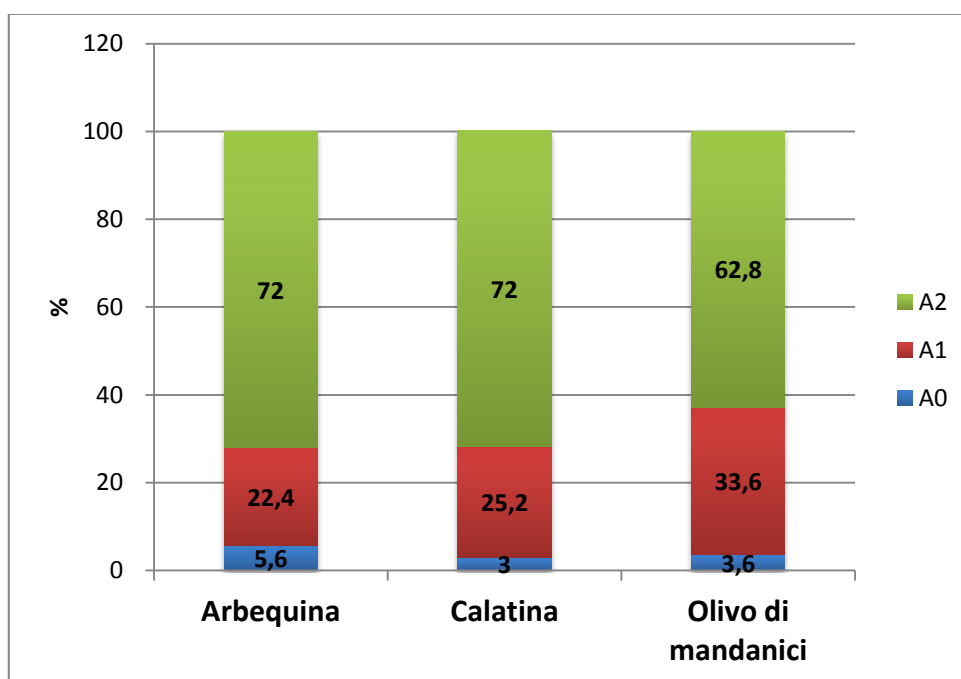
Differenze sono emerse inoltre tra le cultivar, in particolare nel T1 e T2 l'Olivo di Mandanici ha fatto registrare i valori più alti di BA; nel T3 differenze sono state invece osservate tra l'Arbequina e le due cultivar siciliane. In particolare nel T3 i quantitativi di BA asportati nell'Arbequina hanno raggiunto i 470 g mentre nelle cultivar siciliane sono stati registrati valori, pur di poco, superiori ai 1000 g (Fig 14)

Figura 14. Quantità di BA complessivamente asportata nei due anni di prove in tre cultivar di olivo in funzione del trattamento (2014-2015) .



Gran parte della BA asportata (70% circa) è risultata costituita da rami anticipati (A2-A3-A4); i rami misti (A1) hanno invece inciso per il 26% mentre la restante quota (3%) è risultata costituita da branche (A0). Figura 15

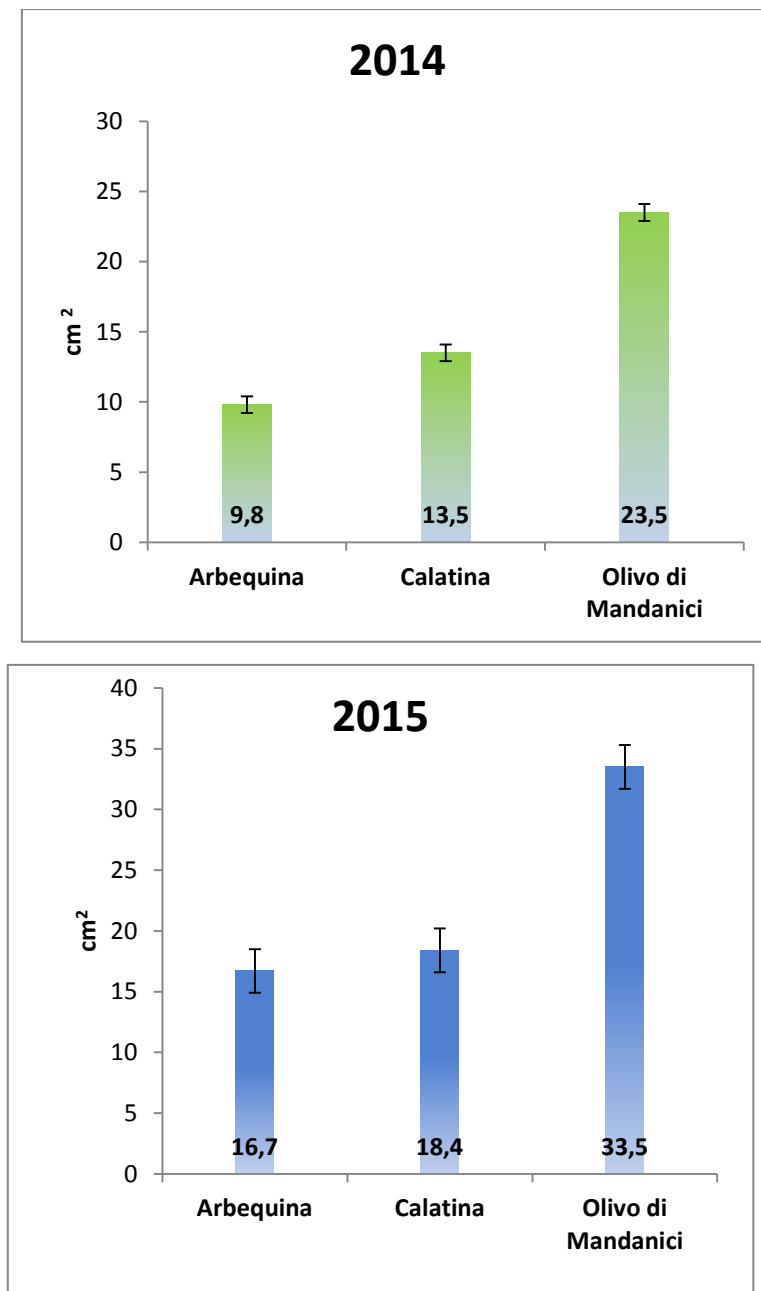
Figura 15. Ripartizione(%) della tipologia dei rami nella biomassa asportata con la potatura.



Area sezione tronco (AST), produzioni (P) ed efficienza produttive (EP)

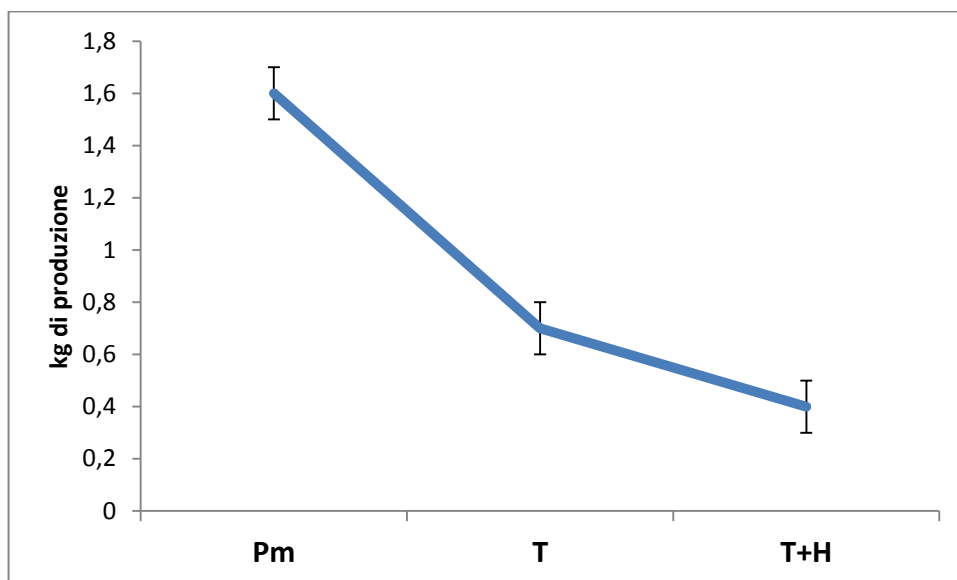
Relativamente all'AST, in entrambi gli anni valori statisticamente più elevati sono stati osservati nell'Olivo di Mandanici mentre si sono attestati su valori decisamente più bassi la Calatina e l'Arbequina (Fig 16). In particolare, assunto 100 il valore rilevato nel 2015 nell'Olivo di Mandanici Calatina e Arbequina hanno fatto registrare valori del 54% e del 50% rispettivamente.

Figura 16: AST delle 3 diverse cultivar rilevato 10 cm dal colletto



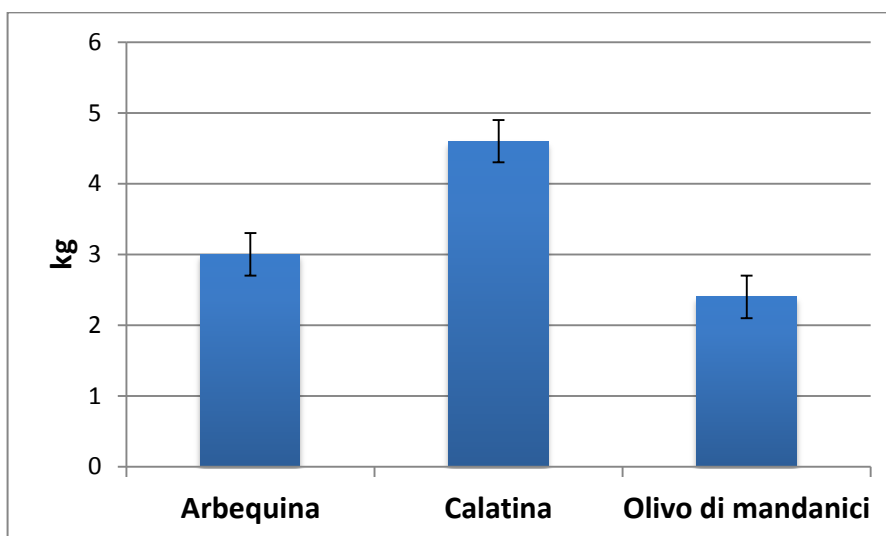
Nel 2014 le produzioni tra le diverse cultivar non hanno fatto registrare differenze statisticamente significative mentre per quanto concerne l'effetto del trattamento differenze degne di nota sono state osservate in funzione dell'intensità degli interventi. Fig 17

Figura 17. Produzione (kg) in rapporto ai diversi interventi di potatura (2014)



Nel 2015 le produzioni significativamente più elevate sono state osservate nella Calatina (4.6 kg) seguita da Arbequina (2,9 Kg/pianta) e da Olivo di Mandanici che ha prodotto mediamente 2.4 kg per pianta. (Fig 18).

Figura 18 . kg di produzione media per pianta delle 3 diverse cultivar nelle 3 tesi (2015)

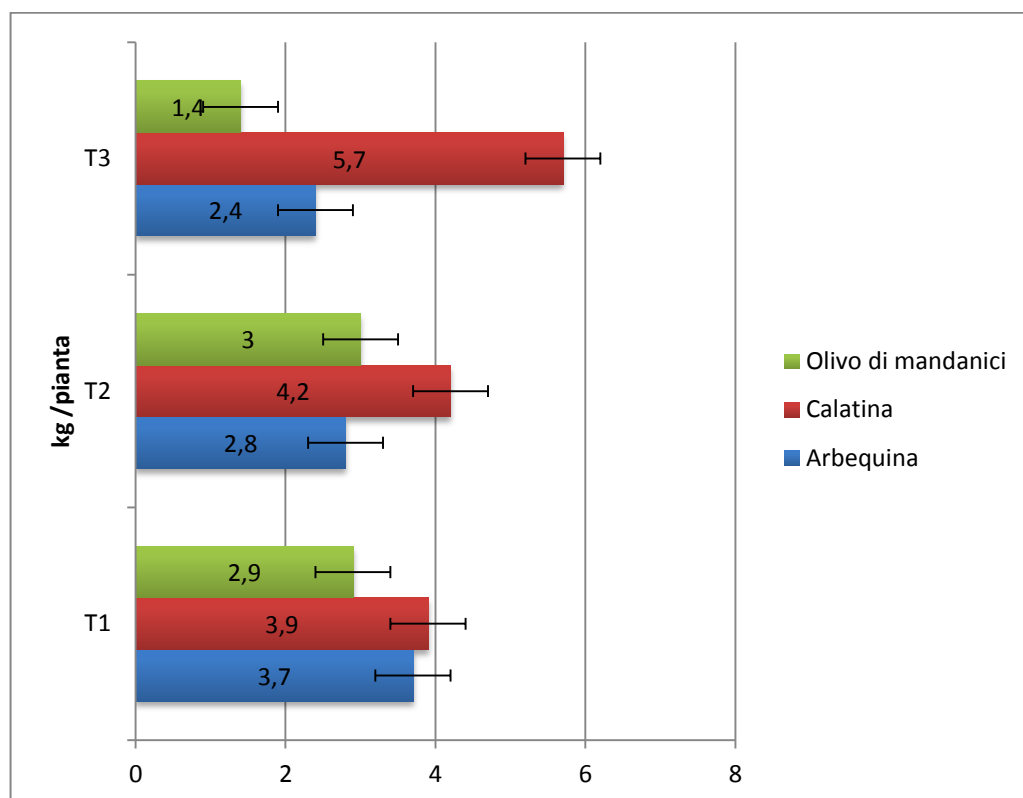


Significativa inoltre è risultata l'interazione tra il trattamento e la cultivar. Nella Calatina i maggiori livelli di produzione sono stati riscontrati nelle piante T3, ovvero quelle sottoposte agli interventi di potatura complessivamente più severi (Figura 19).

Per quanto concerne l'Olivo di Mandanici nelle piante delle tesi T1 e T2 non sono state riscontrate differenze significative mentre un decremento della produzione è stato riscontrato nelle piante T3, anch'esse sottoposte all'intervento di potatura più drastico (topping+hedging+topping).

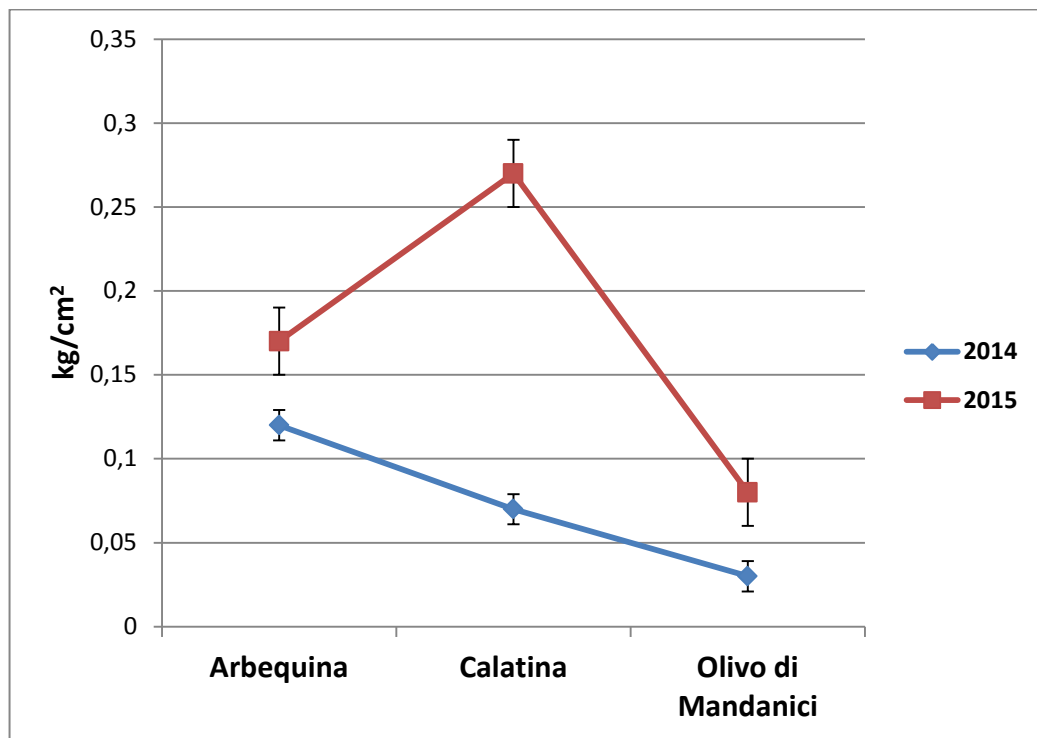
Anche in Arbequina, infine, è stato rilevato un tendenziale decremento della produzione all'aumentare dell'intensità dell'intervento malgrado non siano state rilevate differenze statisticamente significative.

Figura 19. Produzione media pianta (Kg) in funzione del trattamento 2015



Per quanto concerne l'Efficienza Produttiva, nel 2014 l'Arbequina ha fatto registrare valori statisticamente più elevati rispetto alle altre due cultivar mentre nell'anno successivo (2015) la cultivar più efficiente è risultata Calatina. Fig.20

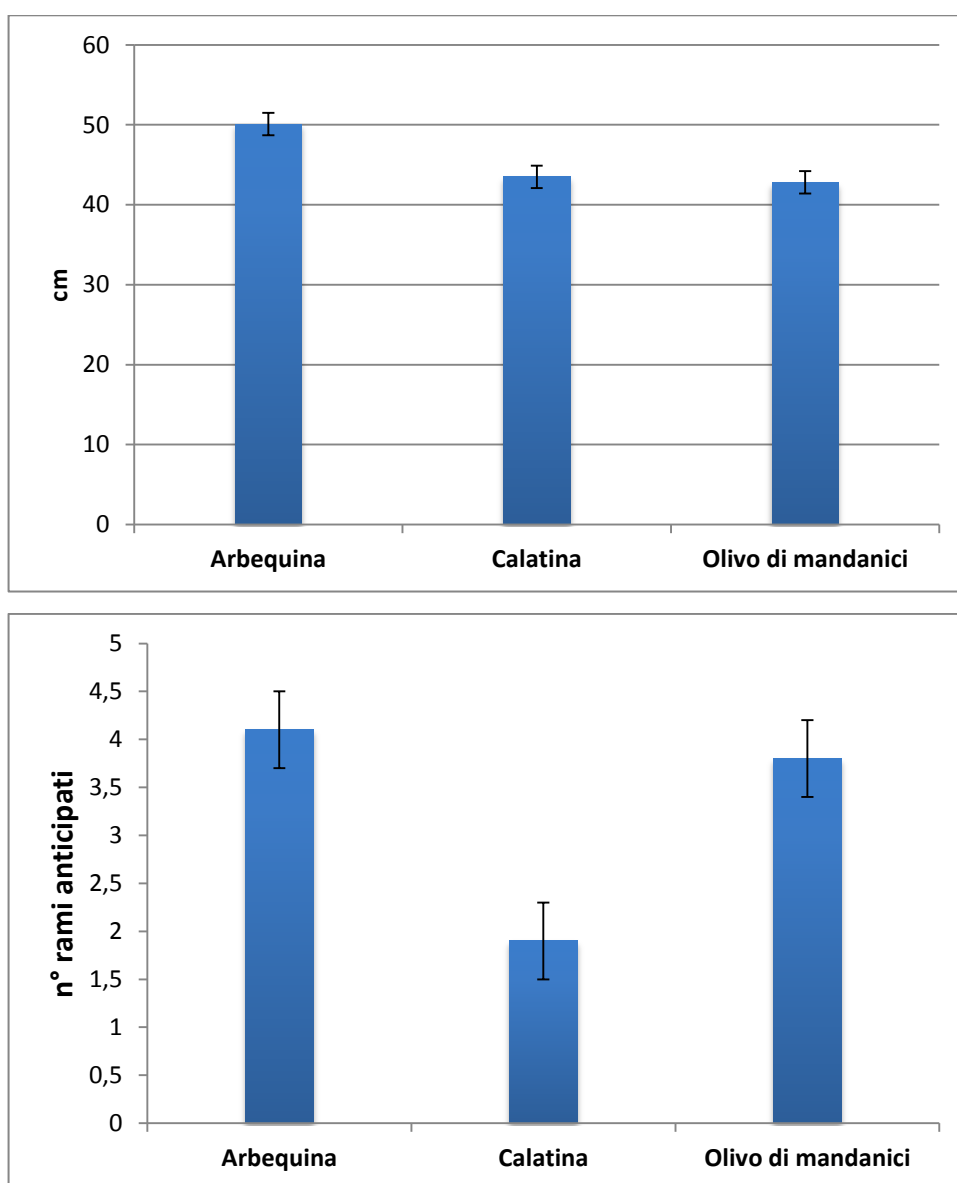
Figura 20. Andamento dell'efficienza produttiva (Kg/cm² AST) nei due anni di prova in tre cultivar di olivo



Habitus di fruttificazione

Nel 2015, i rami misti più lunghi sono stati osservati nella cultivar Arbequina (figura 21 A); nella medesima cultivar i rami misti tendono ad emettere un maggior numero di rami anticipati così come nella cultivar Olivo di Mandanici; la Calatina invece ha fatto registrare il minor numero di anticipati (figura 21 B) .

Figura 21. Lunghezza ramo misto (A) e numero di anticipati per ramo misto (B) in tre cultivar di olivo (2015)



Con riferimento all'indice di fruttificazione dei rami misti, statisticamente significativi sono risultati i valori dell'interazione trattamento x cultivar. In dettaglio le cultivar Calatina e Arbequina, quando sono state sottoposte all'intervento di potatura Manuale + Topping, hanno mostrato un indice di fruttificazione statisticamente superiore rispetto ad Olivo di Mandanici.

Quest'ultima invece ha mostrato valori statisticamente superiore quando è stata sottoposta all'intervento di Topping ripetuto nei due (T2), Calatina ha mostrato valori intermedi mentre Arbequina i valori più bassi. Nella tesi 3 non sono stati riscontrati valori statisticamente significativi. (Tabella 1)

Tabella 1. Numero di frutti per cm di ramo misto (2015)

Effetti principali	Trattamento		
	Pm + T N frutti /cm ramo	T + T N° frutti /cm ramo	T + H + T N° frutti /cm ramo
Cultivar			
Arbequina	0.608 a	0.417 b	0.234 b
Calatina	0.589 a	0.420 ab	0.326 b
Olivo di Mandanici	0.328 b	0.437 a	0.234 b
Significatività	**	**	**

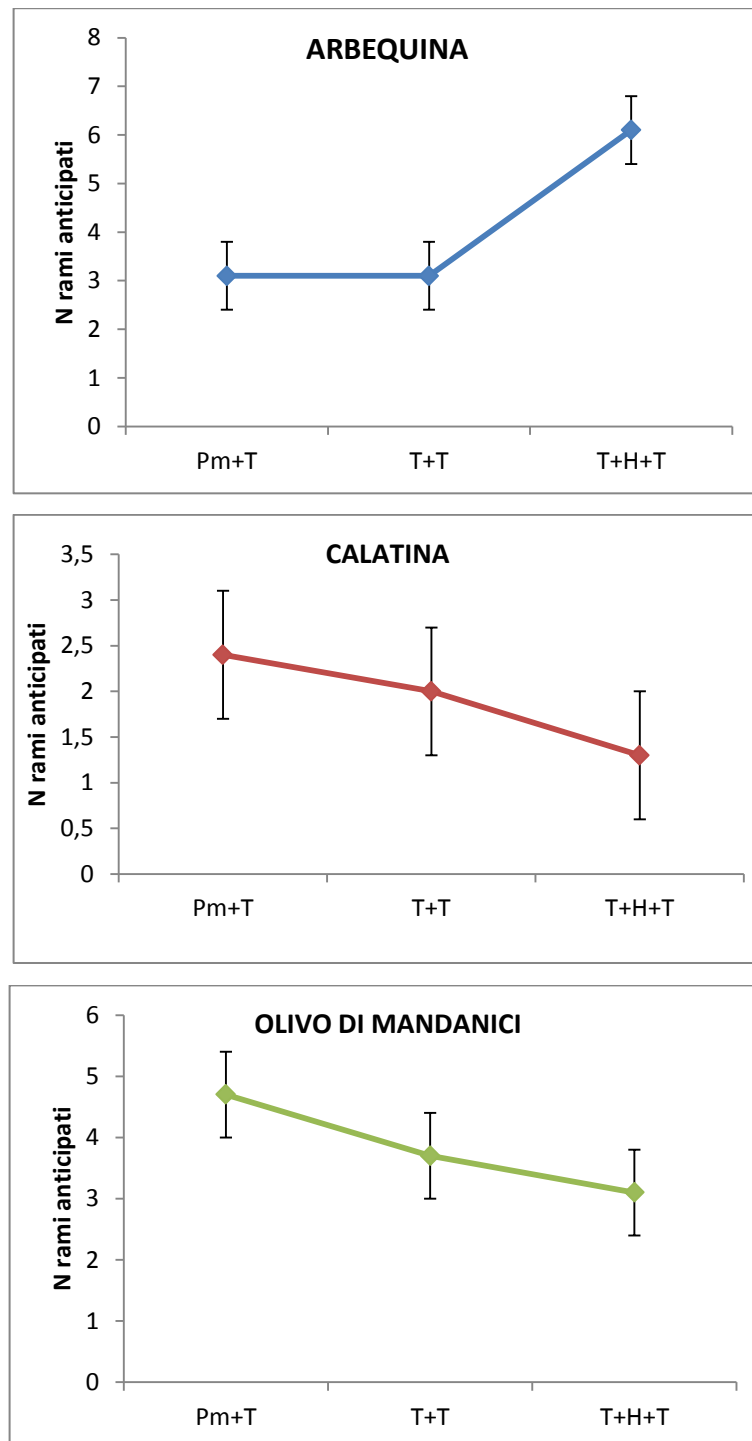
Ulteriore interazione è stata riscontrata nell'indice di fruttificazione riferito ai rami anticipati. In questo caso nella tesi 1 Arbequina e Olivo di Mandanici hanno fatto registrare valori statisticamente più alti mentre nella tesi 2 valori statisticamente più elevati si sono osservati nell'Olivo di Mandanici. Nella tesi 3 Arbequina ha mostrato il maggior numero di frutti/cm di ramo anticipato valori intermedi si sono osservati nell'Olivo di Mandanici mentre i valori più bassi li ha fatti registrare la cultivar Calatina (Tabella 2)

Tabella 2. Numero di frutti per cm di ramo anticipato (2015)

Effetti principali	Trattamento		
	Pm + T N° frutti /cm ramo	T + T N° frutti /cm ramo	T + H + T N° frutti /cm ramo
Cultivar			
Arbequina	0,900 a	0,380 b	1,992 a
Calatina	0,327 b	0,118 b	0,143 b
Olivo di Mandanici	1,994 a	1,364 a	0,736 ab
Significatività	**	**	**

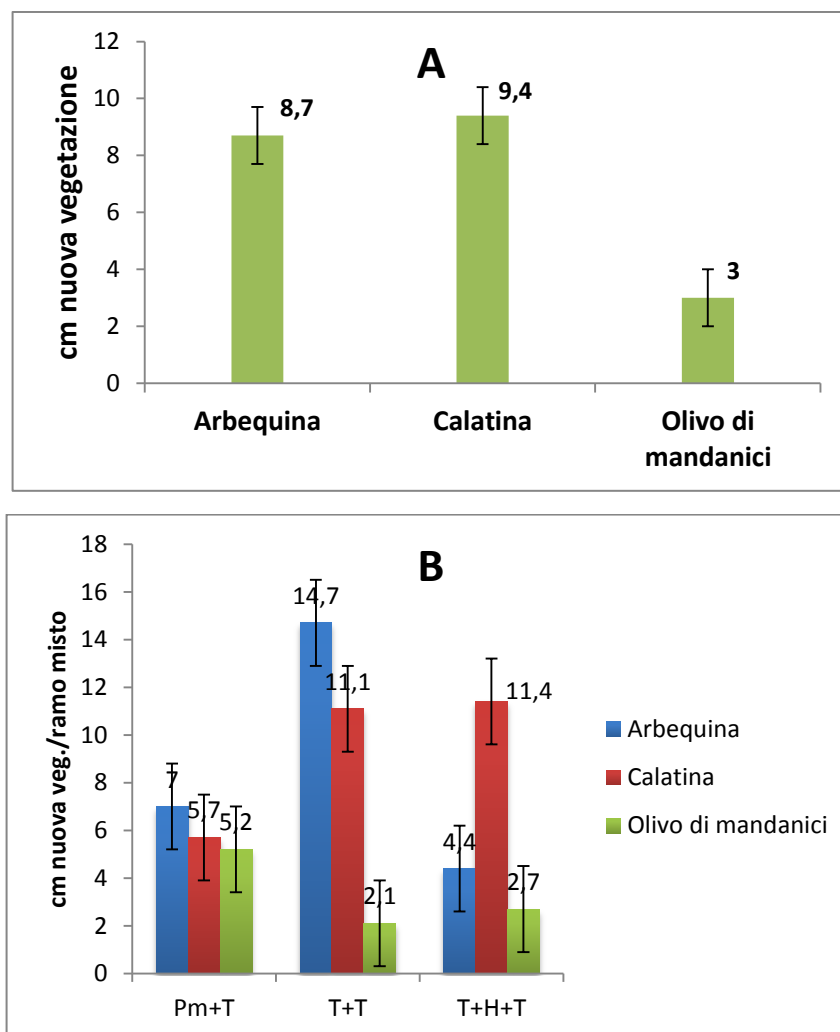
Limitatamente all'Arbequina, è stata riscontrata significatività nell'interazione cultivar x trattamento per quanto concerne il numero degli anticipati emessi in seguito agli interventi previsti nel trattamento T3. Tale comportamento non è stato riscontrato nelle due cultivar siciliane. Fig 22

Figura 22. Rami anticipati (n) in tre cultivar di olivo in funzione del trattamento (2015)



A prescindere dal tipo di potatura, differenze sono state riscontrate tra le cultivar e nell'interazione con il trattamento per quanto concerne la lunghezza della nuova vegetazione del ramo misto. In particolare, Arbequina e Calatina hanno mostrato lunghezza media della nuova vegetazione articolata sul ramo misto prossima a 9 cm; Olivo di Mandanici ha fatto registrare valori decisamente inferiori (3 cm) (Fig 23 A). Nell'interazione con il trattamento la cultivar Arbequina e Calatina nella tesi 2 rispetto ad Olivo di Mandanici hanno mostrato valori di nuova vegetazione statisticamente superiori (Topping + Topping) (Fig. 23 B); con riferimento al T3 la Calatina ha mostrato valori statisticamente superiori di nuova vegetazione rispetto ad Arbequina e Olivo di Mandanici. Per quanto concerne il T1 non sono state riscontrate differenze degne di nota. (Fig. 23)

Fig 23. Lunghezza media della nuova vegetazione del ramo misto nelle tre cultivar (A) e in funzione del trattamento (B).



5.5 Discussione dei risultati

Dal complesso delle esperienze emerge che la risposta ai tre diversi criteri di potatura saggiati è variata sensibilmente in rapporto a vigore, habitus vegetativo e habitus di fruttificazione, caratteristico di ciascuna varietà. La cultivar più vigorosa è risultata l'Olivo di Mandanici, che tende ad emettere vegetazione dalla estremità distale del tronco, habitus vegetativo che non è stato alterato dal tipo di potatura praticata. In sintesi le piante di Olivo di Mandanici si contraddistinguono per la tendenza a “scappare” verso l'alto e a “spogliarsi” in basso; contrastare detta tendenza risulta piuttosto difficoltoso anche con interventi di Topping.

Da quanto appena evidenziato emerge la scarsa adattabilità di tale cultivar alla meccanizzazione della potatura, sia di Topping che di Topping + Hedging, soprattutto quando le piante sono allevate in parete. Ai fini di quest'ultima forma di allevamento bisogna optare per la potatura manuale, che attraverso tagli selettivi può contrastare la tendenza sopra evidenziata (potatura di precisione).

Considerazioni sensibilmente diverse possono essere espresse per la Calatina e per l'Arbequina, entrambe meno vigorose dell'Olivo di Mandanici e che hanno lasciato intravedere una maggiore adattabilità alla potatura meccanica, soprattutto la Calatina. Detta cultivar ha mostrato di poter trarre vantaggio dal taglio indiscriminato dei rami, in particolare dal trattamento di Hedging. Detto intervento ha comportato un “riscoppio” vegetativo della pianta che si è risolto nella emissione di nuova vegetazione rappresentata da rami misti mediamente fertili. Effetto simile è stato riscontrato da Ferguson et al. (1995) nel pistacchio in seguito a ripetuti (7 anni) interventi di topping + hedging. Tali interventi, in particolare, stimolano l'attività vegetativa che si concretizza nella formazione di una maggiore superficie fogliare, sufficiente a soddisfare le esigenze di carboidrati della pianta. I frutti portati sui rami di un anno giungono così regolarmente a maturazione e le gemme a fiore differenziate sui rami dell'anno, disponendo della loro quota di carboidrati, non cascolano. Effetti simili sono stati riscontrati anche in altre specie come il noce (Ramos et al. 1992).

Ancora diverso è stato il comportamento di Arbequina rispetto alle due cultivar siciliane nei confronti della potatura meccanica che, pur determinando un decremento di produzione all'aumentare della severità dell'intervento, non ne ha alterato significativamente i livelli produttivi. In tale cultivar si assiste infatti alla emissione di nuova vegetazione che è rappresentata da una maggiore incidenza di rami anticipati fertili.

La risposta positiva agli interventi di potatura meccanica della Calatina concorda con quanto osservato da Rosati et al., (2013) che hanno rilevato in Arbequina, Arbosana e Koroniki,

le cultivar ritenute più adatte agli impianti superintensivi, che l'entità di produzione e la costanza produttiva dipendono dall'habitus vegetativo e di fruttificazione della pianta e, in dettaglio, dalla capacità della stessa di emettere annualmente rami fruttiferi piuttosto che investire in strutture non fruttificanti, come ad esempio succhioni e branche. Tale comportamento viene mantenuto da dette cultivar anche in seguito a interventi di potatura drastici e indiscriminati, come in genere sono quelli eseguiti meccanicamente.

Rappresentante di un diverso modello di habitus vegetativo è di fruttificazione è invece Olivo di Mandanici, in cui si rileva la tendenza a investire su succhioni, branche e tronco, ovvero strutture permanenti che non fruttificano. Dalle considerazioni sopra esposte emerge che non c'è alcuna correlazione tra quantità di biomassa asportata con la potatura e fruttificazione dell'anno successivo.

Non è inoltre da escludere, soprattutto per le varietà di vigore medio elevato, che in seguito a potature drastiche e indiscriminate si esalti l'attività di crescita vegetativa a discapito di quella riproduttiva e quindi della produzione complessiva (Tombesi et al. 2014). Gli interessanti risultati ottenuti con la potatura meccanica nella Calatina hanno ovviamente bisogno di ulteriore validazione in quanto di tutt'altro segno sono le esperienze condotte in altri contesti agronomici.

Vivaldi et al., (2015) hanno rilevato, operando con un più ampio panorama varietale che, fatta eccezione per l'Arbequina, le diverse cultivar italiane saggiate hanno mostrato negli anni un decremento produttivo all'aumentare della quantità di biomassa asportata con la potatura.

In definitiva le indagini effettuate hanno messo in evidenza la possibilità di eseguire meccanicamente la potatura anche se l'efficacia di tale pratica, ai fini dell'entità e della costanza della produzione, dipende largamente dal tipo di intervento e varia con la cultivar. In relazione a quest'ultimo aspetto, malgrado sembri piuttosto improbabile che nell'ambito del germoplasma olivicolo esistente si possano trovare cultivar che rispondono positivamente alla potatura meccanica integrale e condotta annualmente, dal complesso delle prove effettuate non è invece da escludere che alcune cultivar possano essere gestite con interventi di potatura meccanica di topping e di hedging, quest'ultimo condotto ad anni alterni (sesto rettangolare) o con ccili quadriennali (sesto quadrato) sulle diverse esposizione delle chiome.

Esperimento 3

6 Monitoraggio *in continuo* dello stato idrico della pianta ai fini dell'irrigazione: effetto del genotipo e del sistema d'impianto

6.1 Scopo del lavoro

Nell'ottica di massimizzare l'efficienza dell'irrigazione, ovvero raggiungere la massima produttività con il minimo consumo d'acqua e pervenire al controllo della crescita vegetativa delle piante, appare fondamentale individuare un sistema di monitoraggio continuo dello stato idrico degli alberi, alternativo allo Stem Water Potential ma altrettanto preciso e attendibile.

Al fine di valutare la possibilità di utilizzare i sensori ZIM per gestire l'irrigazione in uliveti Superintensivi e Intensivi si è ritenuto interessante verificare la possibilità di correlare i valori ottenuti dalle misurazioni con sonde ZIM con i valori di SWP (Ψ_{swp}), di fotosintesi massima (A_{max}) e di conduttanza stomatica (g_s).

Tenuto conto della biodiversità dell'olivo nell'area olivicola in cui si è operato sono state prese in considerazione due cultivar diverse per livelli di produzioni, vigore vegetativo e destinazione del prodotto. In particolare l'obiettivo perseguito è stato quello di comprendere se i valori di Ψ_{swp} in cui si verifica il fenomeno dell'*inversione*, rilevato con le sonde ZIM, (Fernandez et al, 2011;.. Ehrenberger et al 2012;.. Padilla-Diaz et al, 2015) prescinde dalla cultivar e dai contesti colturali.

6.2 Materiali e metodi

Le ricerche sono state condotte nel medesimo campo sperimentale di cui si è riferito nell'Esperimento 1, paragrafo al quale si rimanda (paragrafo Metodologia) e in un impianto intensivo, in asciutto, costituito da piante innestate su semenzali, disposte al sesto di 7 x 7 m (200 piante/ha) e allevate a "*Vaso belicino*". La gestione colturale di tale impianto è avvenuta seguendo i criteri consolidati nell'areale di coltivazione.

Dati di temperatura dell'aria, umidità e pioggia sono stati rilevati nel periodo Maggio-Ottobre da una stazione agro-meteorologica del Servizio Informativo Agrometeorologia Siciliano (SIAS) ubicata nei pressi del campo sperimentale. Figura 1.

Ai fini dell'indagine sono state scelte due diverse cultivar di origine autoctona: Olivo di Mandanici e Nocellara del Belice. (Caruso et al. 2014).

L'oliveto è stato dotato di un sistema di irrigazione con una singola ala gocciolante posta lungo la fila e con irrigatori in linea di tipo autocompensante da 16 l/ora; gli irrigatori sono disposti alla distanza di 75 cm l'uno dall'altro, per cui ogni pianta è servita da 2 gocciolatoi.

Lo schema sperimentale adottato ha previsto il confronto di 3 diverse trattamenti:

- trattamento 1 (T1): impianto intensivo (7 x 7m) cultivar Nocellara del Belice (Non irriguo)
- trattamento 2 (T2) impianto superintensivo (5 x 2m) cultivar Olivo di Mandanici (irriguo)
- trattamento 3 (T3) impianto superintensivo (5 x 2m) cultivar Nocellara del Belice (irriguo)

L'irrigazione è stata praticata a partire dalla fine Giugno e ha previsto turni di sette /dieci giorni.

Per studiare gli effetti dello stress a breve termine, con l'inizio della fase di indurimento del nocciolo (prima settimana di luglio) l'irrigazione è stata arrestata per ciascun gruppo di piante e per un numero di giorni fino a quando lo Ψ_{swp} ha rivelato un livello di "stress elevato" in almeno uno dei tre diversi trattamenti.

Con riferimento a quanto riportato in letteratura è stato scelto il valore soglia di Ψ_{swp} di -2,5 MPa (Di Vaio et al. 2013) che per l'olivo corrisponde ad un livello di stress elevato. Il periodo in cui è stata sospesa l'irrigazione è durato fino a quando i valori di Ψ_{swp} sono scesi al di sotto del valore soglia sopracitato quindi è stata somministrata acqua per consentire allo Ψ_{swp} di elevarsi al di sopra del valore di -2.0 MPa. Fino al termine della stagione è stata distribuita acqua nuovamente ogni 7-10 giorni. Una sintesi del disegno sperimentale è riportato nella tabella 1.

Tabella 1. Sintesi del periodo di irrigazione, il periodo di siccità e ri-irrigazione in un impianto intensivo e superintensivo

Trattamento	26/06	15/07	17/07	12/08	18/08-10/10
Intensivo (7x7m)	Asciutto	Asciutto	Pioggia (4mm)	Asciutto	Asciutto
Superintensivo (5x2m)	Inizio irrigazione	Stop irrigazione	Pioggia (4mm)	Irrigazione (100 m ³ /ha)	Irrigazione

Nella quarta settimana di giugno del 2014, tre alberi per trattamento sono stati dotati di una sonda ZIM- (YARA Pianta Technology GmbH, Hennigsdorf, Germania) al fine di monitorare i relativi cambiamenti di pressione di turgore fogliare.

Le sonde, ad azionamento automatico e continuo, sono state bloccate sulle foglie che si trovavano nella parte interna della chioma per evitare la luce diretta del sole. Il bloccaggio è stato effettuato come riportato da Zimmermann et al. (2008) e Westhoff et al. (2009). In particolare, il

giorno prima dell'installazione delle sonde tutti gli alberi sono stati irrigati per garantire la massima turgescenza fogliare. Le pressioni di uscita della sonda, durante il serraggio delle foglie, sono state tra 10 kPa e 25 kPa. Foglie di dimensioni e di età simile sono state utilizzate per ogni trattamento.

Per assicurare un contatto uniforme tra la superficie fogliare e il magnete, le sonde sono state collocate vicino al bordo delle foglie, evitando la nervatura centrale. Le foglie prima del serraggio della sonda sono state pulite dalla polvere e dalle cere. La parte di sonda contenente il sensore di pressione è stata posta sulla pagina inferiore delle foglie.

Lo stato idrico della pianta è stato monitorato settimanalmente attraverso la misurazione dello Stem Water Potential (Ψ_{swp}) e degli scambi gassosi di tutti gli alberi sottoposti ad osservazioni (monitoraggio).

Per quanto concerne la determinazione del Midday Stem Water Potential, foglie ben espanse di germogli dell'anno con cinque o sei paia di foglie completamente sviluppati sono stati coperti con buste di plastica e di alluminio almeno 1 ora prima della misurazione (effettuata a mezzogiorno) al fine di ridurre la traspirazione fogliare (Shackel et al. 1997; Begg et al. 1970) ed equilibrare Ψ_{swp} con potenziale idrico del ramo. I germogli sono poi stati staccati e da questi sono state eseguite le misurazioni di Ψ_{swp} utilizzando una camera a pressione (PMS Instrument Co., Corvallis - Oregon).

I valori di Ψ_{swp} sono stati integrati per calcolare l'area del trapezio tra le due misurazioni consecutive, come già riportato da Gucci et al (2007) per l'olivo. Il Ψ_{swp} cumulato è stato ottenuto con la seguente equazione:

$$\Psi_{swp} \text{ cumulato} = (\Psi_{swpt1} + \Psi_{swpt2}) \times (t_2 - t_1)/2$$

Dove Ψ_{swpt1} e Ψ_{swpt2} sono i valori di Ψ_{swp} registrati in due misurazioni consecutive e t_1 e t_2 sono le date in cui sono state rilevati i dati.

Con riferimento invece alle sonde Zim, è stato definito un parametro, il “*valore d’inversione*”, al fine di quantificare il livello di stress idrico stagionale delle piante oggetto di studio, calcolato con la seguente formula:

$$\text{Valore d'inversione} = 0.5 * (D2) + 1 * (D3)$$

Dove $D2$ è il numero totale di giorni che mostrano lo stato 2 o di “*semi inversione*” delle curve giornaliere Pp e $D3$ il numero totale di giorni che mostrano lo Stato 3 o di “*totale inversione*” delle curve giornaliere Pp.

Il valore di Ψ_{swp} cumulato e il valore di inversione sono stati usati per rappresentare lo stato idrico delle piante durante tutta la stagione.

Le misurazioni degli scambi gassosi sono state prese con un analizzatore di gas portatile

CIRAS-2 ad infrarossi (Sistemi PP ®, Hitchin, Regno Unito), collegato ad una camera di assimilazione automatica (Automatic PLC6 Broad Leaf Cuvette). Questo ha permesso di rilevare i valori dei principali parametri eco-fisiologici, come l'assimilazione massima di CO₂ (A_{max} , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la conduttanza stomatica (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la pressione atmosferica, l'aria e la temperatura della foglia e dell'aria, la concentrazione di CO₂ nella camera sottostomatica (C_i) (Parkinson, 1983; Parkinson et al, 1980), ma anche l'efficienza d'uso dell'acqua ($iWUE$, $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e il deficit di pressione di vapore (VPD, kPa).

L'area della sezione del tronco (AST, cm^2) a 10 cm dal colletto è stata misurata in tutti gli alberi, prima dell'inizio della stagione.

I valori di P_p (uscita ZIM-sensori) sono stati standardizzati per evitare differenze non significative tra piante e rendere possibile un confronto statistico dei diversi trattamenti e le repliche; in dettaglio ad ogni valore è stato sottratto il più piccolo valore di ciascuna variabile e il range (differenza tra il valore minimo e quello massimo) è stato utilizzato come dividendo.

Quindi, per ogni variabile i valori di P_p risultano compresi tra 0 (valore minimo) e 1 (valore massimo).

La standardizzazione e l'analisi statistica dei dati (ANOVA) sono state effettuate utilizzando il pacchetto Systat (SYSTAT Software Inc., Chicago, IL). La minima differenza significativa (MDS) a $P \leq 0.05$ è stata calcolata per separare le medie.

Funzionamento delle sonde ZIM

La sonda è costituita da due sensori metallici del diametro di 10 mm integrati a due magneti tra i quali viene posizionata una foglia intatta. I magneti, eserciteranno così una pressione costante sulla superficie fogliare ($P_c = P_{\text{clamp}}$). La pressione che la foglia esercita in risposta alla P_c , definita P_p , ed è inversamente proporzionale alla Pressione di turgore e viene monitorata dalle sonde grazie ad un sensore posizionato all'interno di uno dei due magneti. Il sistema Yara ZIM è composto da un radiocomando ZIM (datalogger in grado di ricevere dati dagli ZIM-trasmittitori tramite un collegamento radio a corto raggio e inviarli via GPRS al server del centro di controllo ZIM) e dalla ZIM trasmettitori (in grado di ricevere i dati dalle sonde da cavi) e da sonde (bloccate sulle foglie). Il controllore radio ZIM è alimentato da una batteria di 12 Volt (60 Ampere) che garantisce circa 30 giorni di autonomia. Le sonde sono ad azionamento automatico e continuo.

Per identificare chiaramente il livello di stress idrico delle piante (necessario per automatizzare l'irrigazione), piuttosto che il valore assoluto del P_p (uscita del sensore) è necessario studiare le variazioni relative di P_p su un periodo di diversi giorni. L'andamento giornaliero dei valori di P_p in tutta la stagione di crescita possono fornire informazioni circa lo stato idrico della pianta e la sua capacità di recuperare pressione di turgore (totale o parziale) di notte. Ben-Gal et al (2010) e Fernandez et al. (2011) hanno osservato nell'olivo un fenomeno di inversione delle curve P_p quando ci si avvicina al punto plasmolitico (condizione stress idrico); questa inversione può essere usata come indicatore per la determinazione del livello di stress idrico dell'olivo (Fernandez et al., 2011).

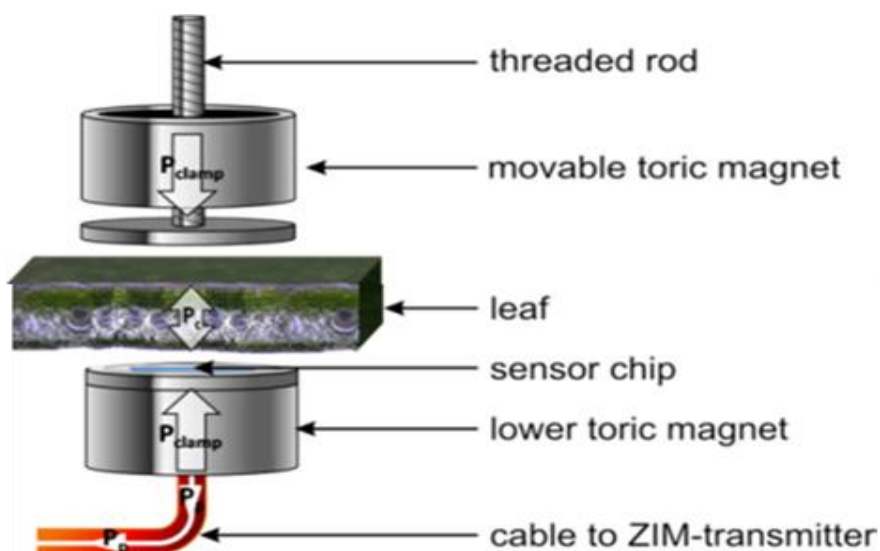
Sulla base di questo fenomeno di inversione, Ehrenberger et al, (2012) hanno definito per l'olivo i tre seguenti stati:

Stato 1 “non inversione”: la foglia è in uno stato di turgescenza caratterizzato da una dipendenza reciproca di P_p sulla pressione turgore (P_c valori maggiori di 50 kPa); P_p raggiunge valore massimi a mezzogiorno e valori minimi la notte

Stato 2 “seminversione”: rappresenta uno stato intermedio tra gli stati 1 e 3, ed è caratterizzato da un abbassamento dei valori di P_p nelle ore centrali del giorno.

Stato 3 “inversione”: la foglia è notevolmente disidratata (aria viene accumulato nel tessuto fogliare) e P_c (pressione di turgore) è inferiore a 50 kPa: in questo stato, la curva P_p è invertita a causa dell'attenuazione della pressione del magnete del sensore? applicata esternamente dall'aria. P_p assume valori minimi a mezzogiorno e valori massimi durante la notte.

Fernandez et al. 2011 hanno trovato questi stati corrispondere a degli specifici range di valori di Ψ_{swp} , in particolare lo stadio 1 corrisponde ad un $\Psi_{\text{swp}} > -1.2$ MPa, lo stato 2 ad un Ψ_{swp} che va da -1.2 a -1.7 MPa e lo Stato 3 ad un $\Psi_{\text{swp}} < -1.7$ MPa.



6.3 Risultati

Dai risultati ottenuti è emerso che la cultivar Olivo di Mandanici mostra un livello più basso di stress rispetto alle Nocellara del Belice, espresso sia in termini di Ψ_{swp} cumulata (Gucci et al 2007) che come numero complessivo di giorni durante i quali i sensori ZIM hanno fatto registrare stato di “*inversione*” o di “*semi-inversione*”

Tabella 2. Densità di impianto, area sezione del tronco (cm^2), volume complessivo di acqua (m^3/ha), somministrata con l’irrigazione, Ψ_{swp} cumulato MPa, Valore di inversione (Valore Inv eq. 2),

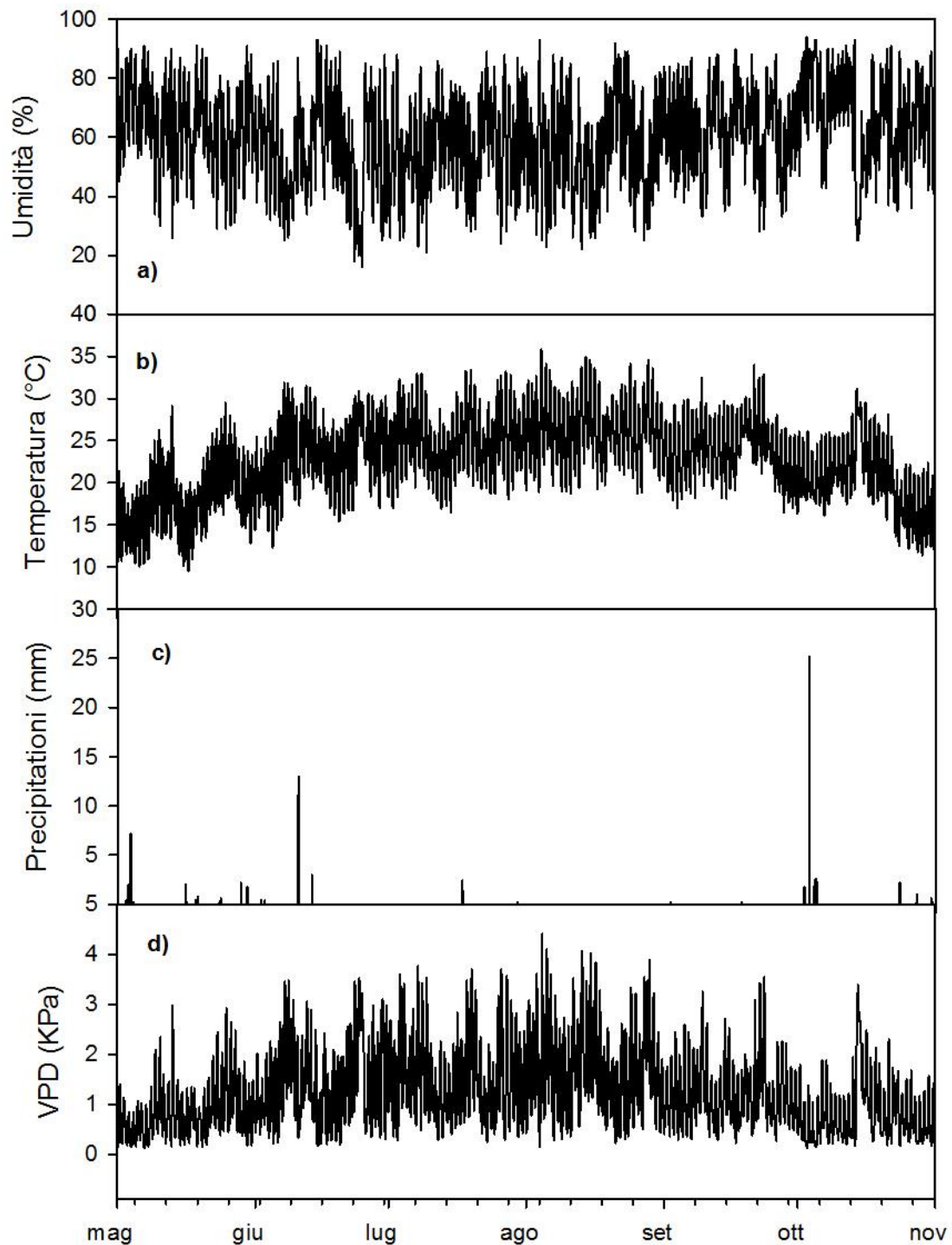
Sistema d’impianto	Cultivar	Densità n° piante/ha	AST cm^2	Vol. Acqua m^3/ha	Cum. Ψ_{swp} MPa	Valore inversione
Intensivo	Noc. Belice	204	225(± 5)	0	-173(± 13)	0.8 (± 0.8)
superintensivo	Olivo di Mandanici	1000	40(± 6)	448	-186(± 8)	0.7 (± 0.7)
superintensivo	Noc. Belice	1000	30(± 3)	430	-235(± 10)	11.5 (± 2.6)

Le temperature più elevate sono state registrate a Giugno, Luglio e Agosto, mesi nel corso dei quali i valori minimi sono oscillati tra 20 e 25 °C e quelli massimi tra 30 e 35 °C. Nei mesi di Maggio e di Ottobre le temperature sono invece risultate comprese tra 10 e 15 °C durante la notte e 20-25° C durante il giorno.

La stagione secca è iniziata il 10 di Giugno e si è conclusa il 10 di Ottobre, quando si sono verificate le prime piogge autunnali (30,8 mm). Durante il suddetto periodo si è verificato un solo evento piovoso significativo ovvero superiore ai due mm i 2 mm (4,8 mm il 17 di Luglio).

Facendo riferimento ai parametri microclimatici è stato rilevato che i mesi che mostrano i valori massimi di deficit di pressione di vapore (VPD) sono Luglio e Agosto: sono questi i 2 mesi in cui si è verificato la più alta domanda di evapotraspirazione ambientale che ha determinato condizioni di stress idrico per le piante. L’umidità ha mostrato valori molto alti nelle ore notturne (intorno a 80-90%.) anche nei mesi più siccitosi della stagione (Luglio e Agosto).

Figura. 1 – Valori medi orari (maggio-ottobre) dell'umidità relativa (a); della temperatura dell'aria (b) delle precipitazioni (c) e del deficit di pressione di vapore (d) registrato presso la stazione agro meteorologica del SIAS



I sensori ZIM installati sulle piante di Nocellara del Belice dell'impianto intensivo (7 x 7m) hanno mostrato lo stato 1 durante il corso dell'intera stagione di rilevamenti mentre, a partire dalla fine di Agosto, lo stato 2 è stato riscontrato in una delle tre piante monitorate (Fig. 2).

I valori di $P_{p_{max}}$ (raggiunto durante il giorno) e di $P_{p_{min}}$ (raggiunto durante la notte) sono aumentati costantemente durante il corso della stagione fino ad arrivare a differenze del 37%.

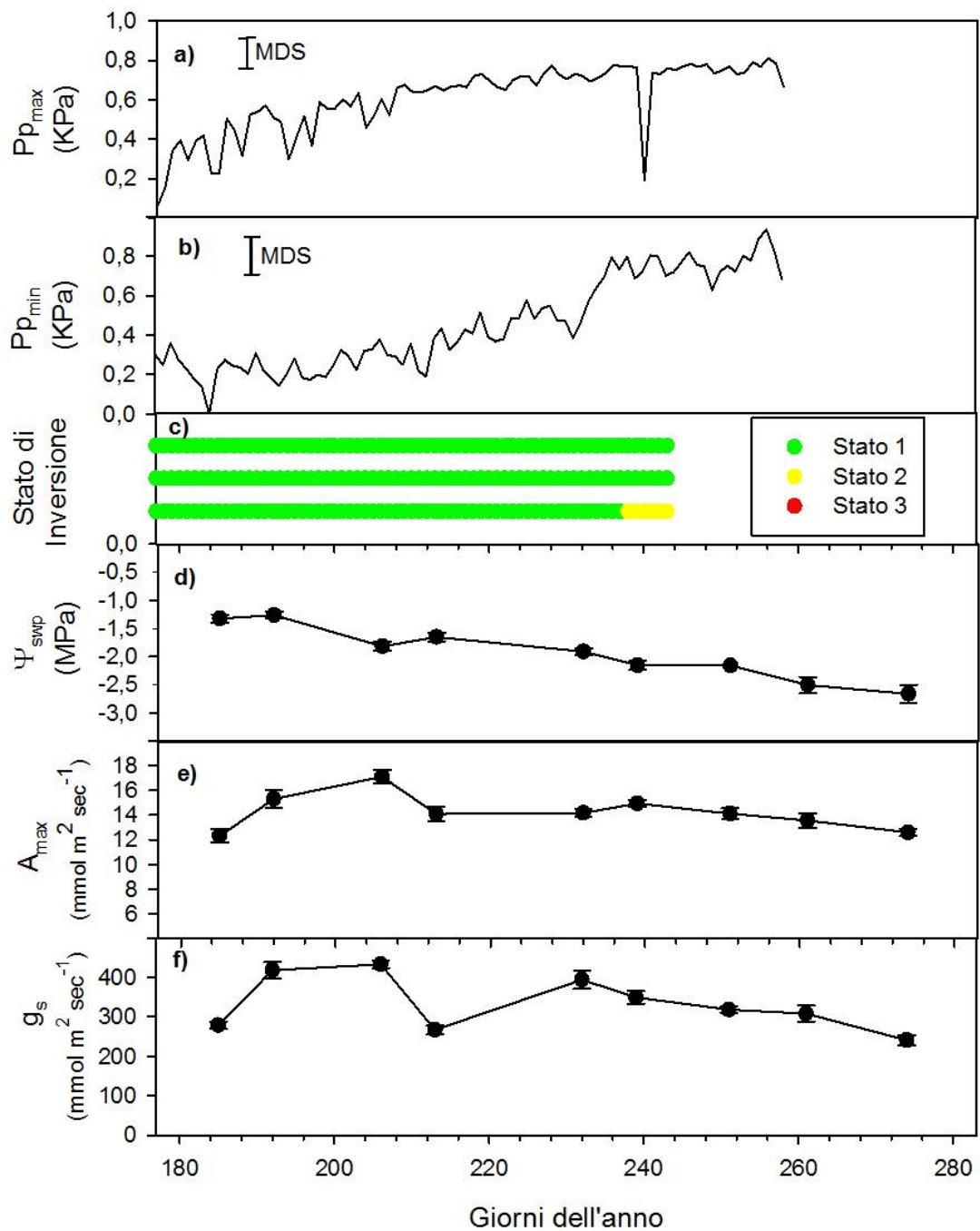
Allo stesso modo il Ψ_{swp} è diminuito costantemente del 46%: da -1.4 MPa all'inizio della stagione a -2.6 MPa alla fine del periodo di osservazioni.

L'andamento stagionale è risultato più variabile per quanto riguarda gli scambi gassosi; da fine giugno a metà luglio A_{max} è aumentata da 12 a 17 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e g_s da 250 a 500 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ a seguito della diminuzione del VPD e delle precipitazioni verificatesi il 17 Luglio (3,8 mm).

Alla fine di luglio i tassi di scambi gassosi, in particolare g_s , sono diminuiti sensibilmente; i valori hanno ripreso a crescere a partire da metà agosto. Vale la pena sottolineare che il periodo che va dalla fine di luglio alla prima settimana di agosto è stato caratterizzato dai più alti valori di VPD della stagione (valori massimi di 4,5 kPa). Dopo detto periodo sia A_{max} sia g_s sono diminuiti costantemente fino al termine della stagione secca (4 ottobre).

Quando le sonde ZIM hanno iniziato a mostrare la "semi inversione" della curva quotidiana, i valori di Ψ_{swp} hanno raggiunto livelli inferiori a -2.2 MPa, quelli di g_s di 300 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ e A_{max} 14 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$.

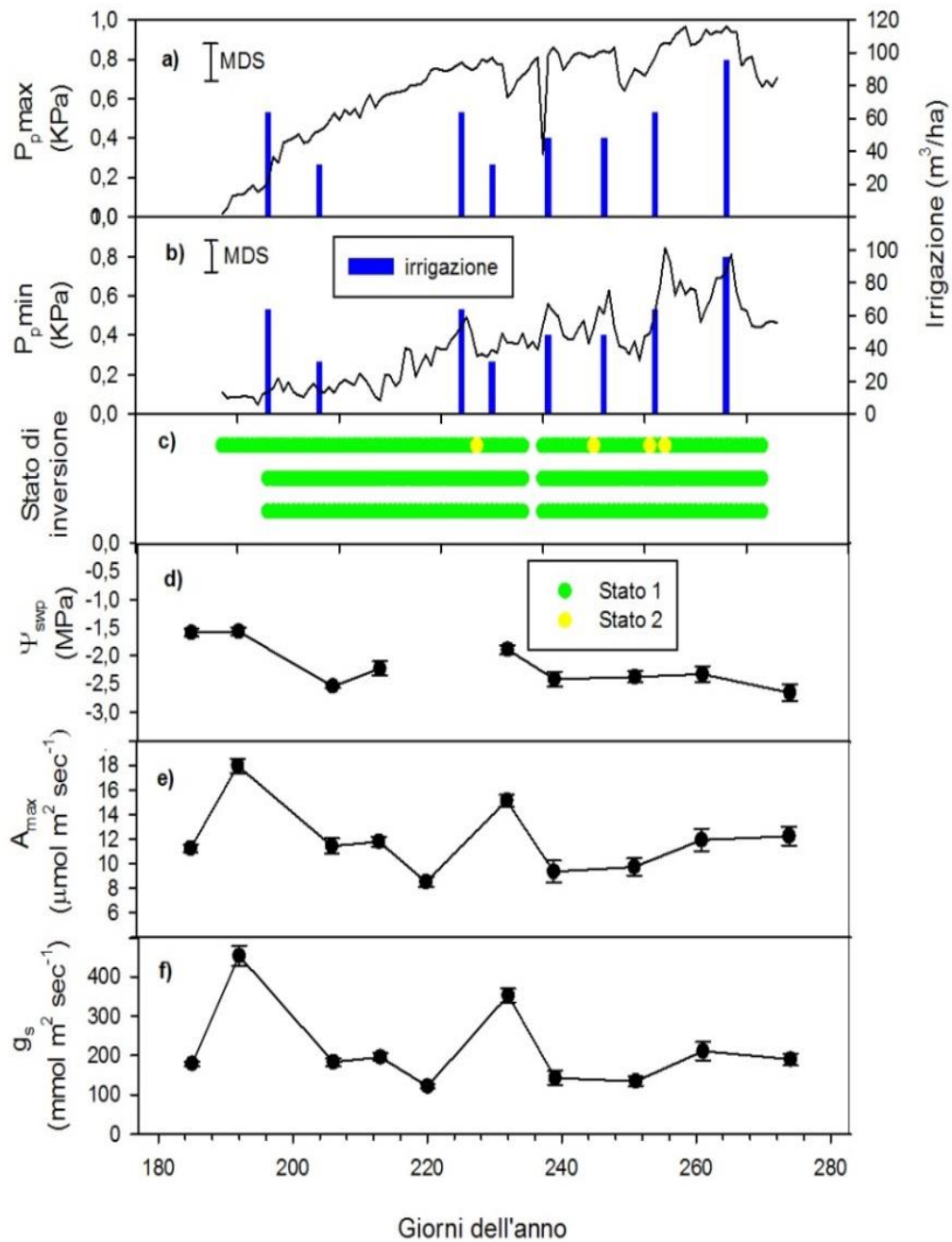
Figura 2: Andamento dei valori di Pp massimi giornalieri standardizzati (Pmax), grafico a. Valori di Pp minimi giornalieri standardizzati (Ppmin), grafico b. Stato di inversione, grafico c. Stem Water Potential (Ψ_{swp}), grafico d. Tasso massimo di fotosintesi (A_{max}), grafico e. Conduttanza stomatica (g_s), grafico f. Le barre verticali dei grafici d, e ed f rappresentano l'errore standard della media (n = 5). MDS =minima differenza significativa (df = 220; p <0.001).



Per quanto concerne invece gli impianti superintensivi, le sonde ZIM poste sulle piante di Olivo di Mandanici (Fig. 3) non hanno rilevato nessuna inversione della curva ($P_c > 50$ kPa). Nonostante ciò, il valore di Ψ_{swp} è diminuito da -1.6 MPa, all'inizio della stagione di rilevamento fino ad un valore di -2.6 MPa (DOY 220). Sempre nel suddetto periodo i valori di A_{max} e di g_s sono diminuiti da 18 a 9 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e da 450 a 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, rispettivamente.

I 100 m^3 di acqua somministrati alla fine del suddetto periodo di siccità hanno consentito la reidratazione delle piante e il ripristino di tutti i parametri fisiologici che hanno raggiunto circa l'80% dei valori iniziali; dopo di che, le somministrazioni di acqua avvenute con cadenza di 10 giorni sono stati sufficienti a mantenere la Ψ_{swp} al di sopra della soglia di -2.5 MPa e gli scambi gassosi a valori prossimi a 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (A_{max}) e 120/200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (g_s).

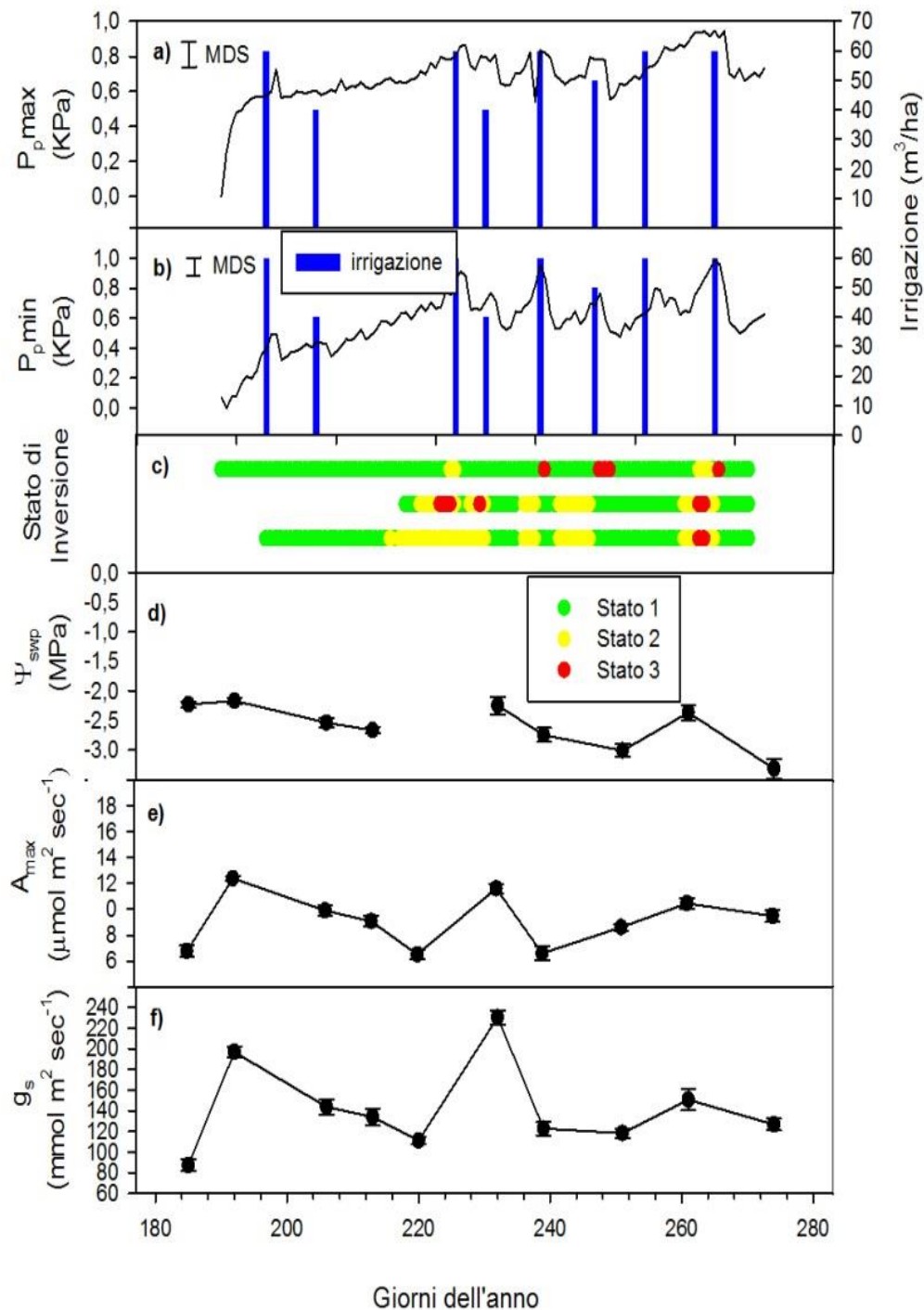
Figura 3: Andamento stagionale dei valori di Pp minimi giornalieri standardizzati (Pp min fig. A), e valori di Pp massimi giornalieri standardizzati (Pp max fig. B) misurati ogni 5 minuti e il relativo stato di inversione (Fig. C) rispetto allo Stem Water Potential (fig. D, Ψ_{swp}); tasso massimo di fotosintesi (fig. e, A_{max}) e la conduttanza stomatica (fig. f, g), misurato ogni settimana sulle piante di Olivo di Mandanici in un impianto superintensivo. Le barre verticali in grafici d, e ed f rappresentano l'errore standard della media (n = 5). MDS = minima differenza significativa (df = 220; p < 0.001).



Dopo circa tre settimane dalla sospensione dell'irrigazione, la curva giornaliera della Pp della Nocellara del Belice ha cominciato a mostrare inizialmente la semi-inversione e dopo 4 giorni, lo stato di inversione (Fig. 4). Nello stesso periodo il Ψ_{swp} è diminuito fino a valori inferiori a -2.6 MPa e i tassi degli scambi gassosi si sono quasi dimezzati rispetto ai valori registrati all'inizio del periodo di carenza d'acqua.

I volumi d' irrigazione applicati dopo il periodo di carenza hanno permesso il ripristino dello stato idrico che, in ogni caso, è durato solo per pochi giorni prima che il Pp si invertisse nuovamente. I trattamenti irrigui effettuati con cadenza di 10 giorni non sono stati sufficienti a mantenere il pieno turgore delle foglie.

Figura 4: Andamento stagionale dei valori di Pp minimi giornalieri standardizzati (Pp min fig. A), e valori di Pp massimi giornalieri standardizzati (Pp max fig. B) (Fig. C) rispetto allo Stem Water Potential (fig. D, Ψ_{swp}); tasso massimo di fotosintesi (fig. e, A_{max}) e la conduttanza stomatica (fig. f, g), misurato ogni settimana sulle piante di Nocellara del Belice in un impianto superintensivo. Le barre verticali in grafici d, e ed f rappresentano l'errore standard della media (n = 5). MDS =minima differenza significativa (df = 220; p <0.001).



I valori di Ψ_{swp} cumulato sono risultati altamente correlati con i valori di inversione ($r^2 = 0.94$); la relazione tra i due parametri è esponenziale decrescente, (figura 5 A)

Il giorno in cui è stato rilevato lo Ψ_{swp} è stata riscontrata una corrispondenza tra tale parametro e lo stato di inversione, rilevato attraverso le sonde ZIM. In dettaglio, il 75% degli alberi che mostravano valori di Pp tipici dello stato 1 aveva un Ψ_{swp} tra -1.8 e -2.5 MPa con media di -2.1 MPa e un range di valori compresi tra -1.1 e -3,4 MPa; 75% delle piante ha mostrato lo stato 2 e valori di Ψ_{swp} tra -2.2 e -3.2 MPa, con media -2.5 MPa; valori più bassi di Ψ_{swp} sono stati osservati tra le piante che hanno mostrato lo stato di inversione 3, con Ψ_{swp} compreso tra -2.2 e -3.2 MPa per la maggior parte degli alberi; i valori medi si sono approssimati a -2.5 MPa (grafico B).

Figura 5. Relazione tra il valore di Ψ_{swp} stagionale cumulato (MPa) e il valore di inversione (eq. 2) per tutti i trattamenti (grafico A). Ogni punto rappresenta una pianta. la migliore relazione è risultata per la funzione $y = 0,053 * \exp(-0,0336 * x)$; $r^2 = 0.94$ e $P < 0,0001$. Rapporto tra i valori di Ψ_{swp} e stato di inversione della curva Pp .

Fig A

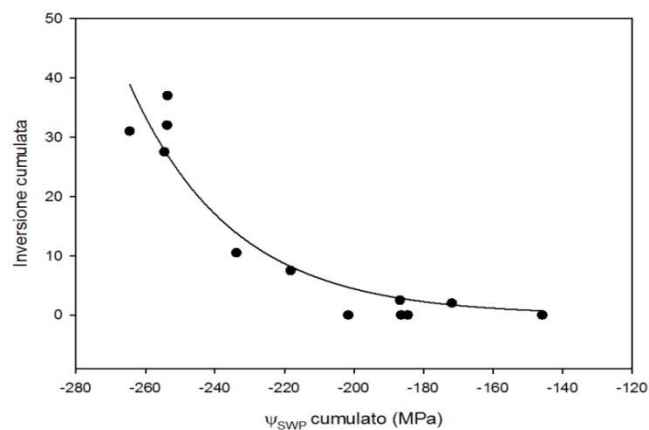


Fig B

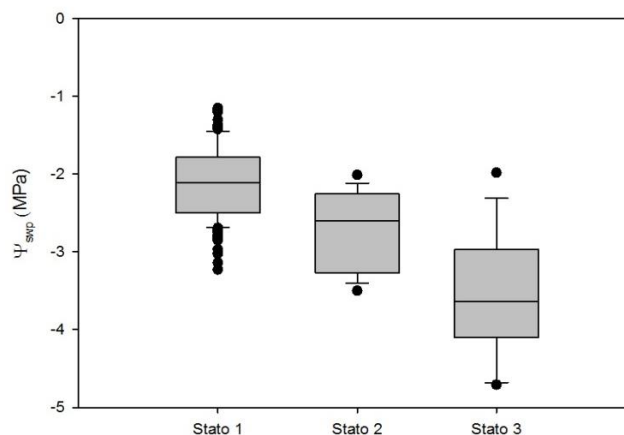
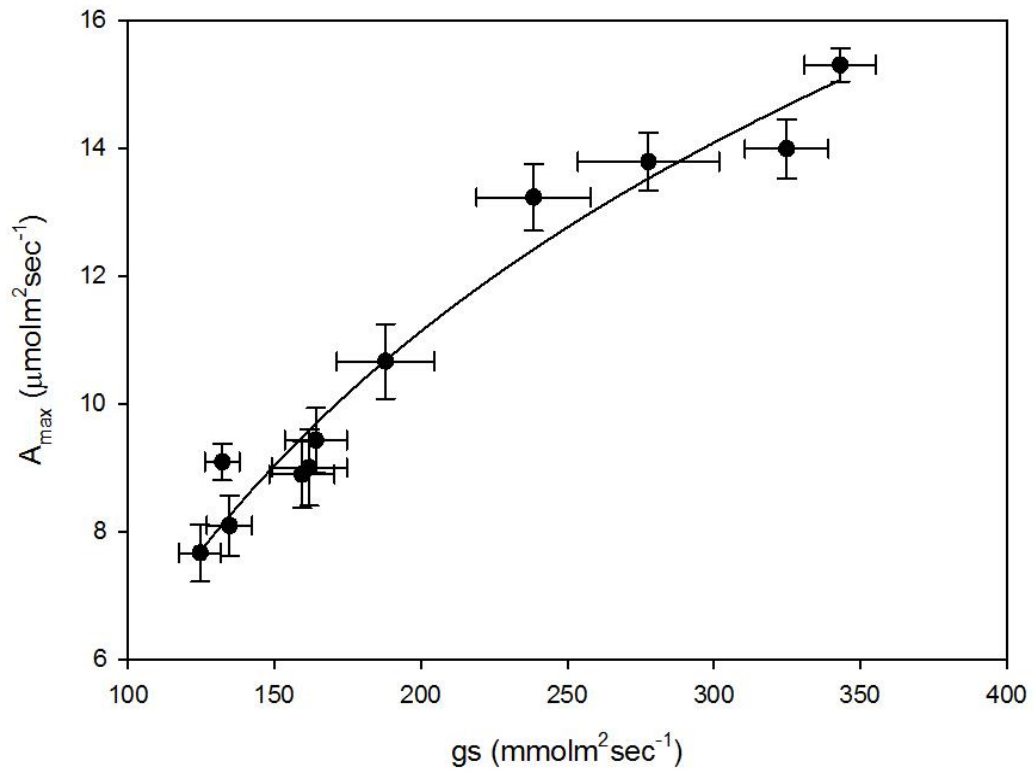
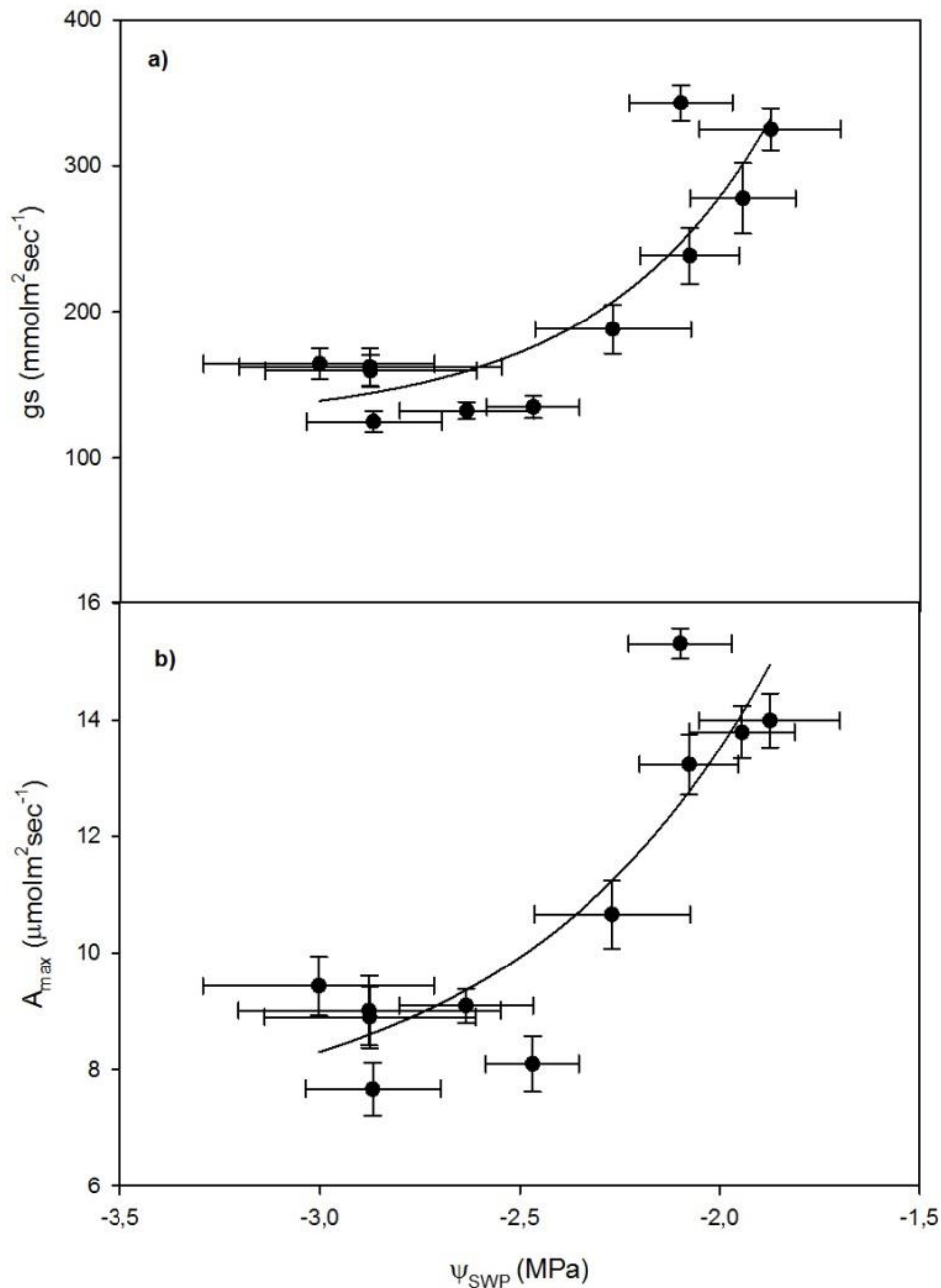


Figura 6. Relazione tra la media stagionale delle A_{max} e g_s per tutti i trattamenti. Ogni punto rappresenta una singola pianta. La migliore relazione è stata per la funzione $y = 20,7 * (1 - \exp(-0,0038 * x))$, $r^2 = 0,96$ e $p < 0,0001$.



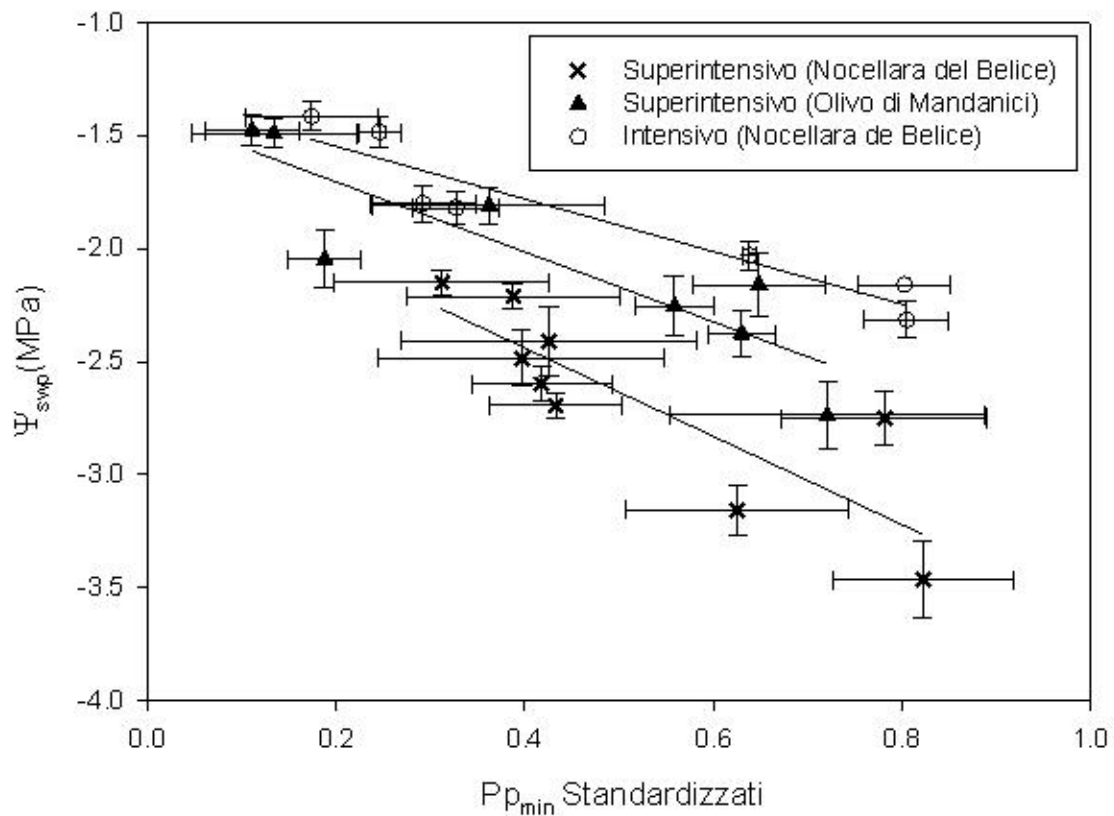
Sia A_{\max} e g_s hanno mostrato una diminuzione esponenziale con il diminuire di Ψ_{swp} , mostrando valori minimi di $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per Ψ_{swp} inferiore a $-2,5 \text{ MPa}$.

Figura 7. Relazione tra valori di Ψ_{swp} e g_s (grafico a) e tra i valori di Ψ_{swp} e A_{\max} (grafico b) tra i trattamenti. Ogni punto rappresenta una singola pianta. Nel grafico a la migliore relazione si ha per $y = 123,8 + 16570 \exp(2,3 x)$ $r^2 = 0,77$ e $P < 0,01$; nel grafico b si ha per $y = 6,9 + 156 \exp(1,5 x)$; $r^2 = 0,79$ e $P < 0,01$.



I valori di Ψ_{swp} rilevati a mezzogiorno sono linearmente correlati con ai valori giornalieri di P_{pmin} (Fig. 8). L'alto valore di r^2 delle regressioni suggerisce una forte corrispondenza tra questi due parametri. Le differenze tra le pendenze delle tre curve non sono risultate statisticamente significative.

Figura 8. Correlazione tra P_{pmin} standardizzato e Ψ_{swp} . Ogni punto rappresenta la media dei valori registrati nelle tre piante sottoposte ad osservazione ($n = 3$) per ciascun giorno di misurazione. La relazione tra le variabili è espressa dalle equazioni: $y = a-b*x$ dove:
 per Nocellara del Belice in superintensivo $a = -1.7 (\pm 0,25)$, $b = -1.9 (\pm 0,47)$, $r^2 = 0,71$, $p < 0,01$;
 per Olivo di Mandanici $a = -1.4 (\pm 0,16)$, $b = -1.5 (\pm 0,33)$, $r^2 = 0,79$, $p < 0,01$.
 Nocellara del Belice - intensivo $a = -1,31 (\pm 0,1)$, $b = -1,2 (\pm 0,18)$, $r^2 = 0,89$, $p < 0,01$.



6.4 Discussione dei risultati

Le esperienze effettuate confermano la possibilità di utilizzare i sensori ZIM ai fini del monitoraggio in continuo dello stato idrico della pianta di olivo (Fernandez et al. 2011; Padilla-Diaz et al. 2015). Tale affermazione scaturisce dalla constatazione della buona relazione osservata tra i valori di Ψ_{swp} e l'inversione dei valori dei suddetti sensori (Fig. 5).

Ulteriori differenze sono emerse nella gamma di valori del Ψ_{swp} corrispondenti ad ogni stato rispetto a quanto è stato riportato in letteratura. In particolare, i valori di Ψ_{swp} che nel presente lavoro hanno corrisposto a valori di P_p corrispondenti allo stato 2 (seminversione) sono stati fortemente inferiori (circa -2.6 MPa) rispetto a quanto riportato in letteratura per questa specie (-1,7 MPa, Fernandez et al 2011; Fernandez 2014). Tale differenza potrebbe essere legata ad una diversa risposta delle cultivar oggetto di studio, diversamente Fernandez et al. hanno riportato dati che fanno riferimento solamente alla cultivar Arbequina. Come ben noto, il grado di resistenza alla siccità varia con il genotipo (Chartzoulakis et al, 1999;. Bosabalidis e Kofidis 2002;. Bacelar et al, 2004; Guerfel et al 2009;. Di Vaio et al 2013) e Arbequina in tal senso è nota per la maggiore sensibilità agli stress idrici rispetto ad altre cultivar (Bacelar et al., 2004).

Gli elevati valori di umidità relativa osservati nella area in cui è stata condotta la presente prova possono aver influito sul ritardo dell'inversione della curva delle P_p giornaliera osservata in tale studio; si segnala che durante le ore notturne dei mesi più siccitosi (Luglio e Agosto) il tasso di UR ha infatti raggiunto valori del 90%.

Un forte effetto del genotipo sulla risposta allo stress idrico è stato ulteriormente osservato. In particolare, il Ψ_{swp} della cultivar Nocellara del Belice è fortemente diminuito collocandosi al di sopra del valore soglia di -2,5 MPa tra due diversi interventi irrigui mentre per l'olivo di Mandanici il decremento del Ψ_{swp} è stato più lento e l'irrigazione effettuata con cadenza settimanale è stata sufficiente a mantenere costanti i valori di Ψ_{swp} e degli scambi gassosi.

La tecnologia ZIM è stata in grado di evidenziare la differenza di comportamento delle due cultivar; nessuna inversione è infatti stata osservata nell' Olivo di Mandanici.

Sono molti i fattori che possono influenzare la capacità di idratazione dei tessuti e i livelli degli scambi gassosi della foglia e quindi determinare un diverso grado di resistenza alla siccità di una cultivar. Bacelar et al (2004) hanno rilevato differenze nelle caratteristiche morfologiche della foglia; successivamente sempre Bacelar et al (2009) e Ennajeh et al (2008) hanno osservato differenze nel grado di aggiustamento osmotico. Non è da escludere inoltre che il maggiore vigore dell'Olivo di Mandanici (tabella 2) possa aver giocato un ruolo importante ai fini della minore sensibilità alla siccità di tale genotipo; per confermare tale ipotesi si rendono necessarie ulteriori e più approfondite indagini.

Sulla scorta dei risultati acquisiti, e in attesa di ulteriori conferme, lo stato di inversione potrebbe oggi essere utilizzato come indicatore per gestire l'irrigazione durante fasi fenologiche in cui le piante risentono meno, ai fini produttivi, dello stress idrico. Durante tali fasi, tra le quali si segnalano l'indurimento dell'endocarpo e quella pre raccolta (Fernandez et al 2013), anche se si dovesse incorrere in stati di stress idrico (Ψ_{swp} inferiore a -2,5 MPa), non sarebbe compromessa la produzione. Il principale limite del monitoraggio dello stato idrico della pianta, attraverso la curva tracciata dalle Pp, è determinato dal fatto che questa consente di distinguere solamente tre diversi livelli dello stato idrico della pianta: stao 1 di "pieno turgore", che corrisponde a diversi valori di Ψ_{swp} stagionali, compresi tra -1.5 e -2.5 (5b Fig) MPa. Solo tale soglia è stato rilevato un evidente cambiamento nella forma della curva; purtroppo a valori di $\Psi_{swp} = -2.6$ MPa le piante hanno già fortemente ridotto gli scambi gassosi del 40-50% rispetto ai valori a Ψ_{swp} sopra -2 MPa (Fig. 7), con conseguenze negative sull'attività fotosintetica.

Da quanto evidenziato, per poter rilevare anche livelli di stress inferiori rispetto a quelli osservati, emerge l'esigenza di individuare altri indicatori che consentano di differenziare in modo più accurato lo stato idrico della pianta all'interno dello stadio 1.

La relazione positiva fra Ψ_{swp} e il valore minimo (P_{pmin}) giornaliero della Pp rilevata nel corso delle presenti esperienze evidenzia l'utilità e la possibilità di adottare tale indicatore ai fini della programmazione dell'irrigazione (Fig. 8). Il lungo intervallo di tempo (superiore a due giorni) impiegato affinché i valori di P_{pmin} si riportino alla soglia di "normalità" evidenzia la difficoltà da parte della foglia di recuperare la pressione di turgore ottimale e lascia ipotizzare che la reidratazione dei tessuti fogliari sia lenta anche durante la notte (Zimmerman 2013).

Nonostante altri autori (Padilla-Diaz 2015) abbiano rilevato che i valori di Pp nel lungo periodo, ovvero nel corso dell'intera stagione idrica potrebbero essere influenzati da altri fattori, quali l'età foglia, si suppone che per intervalli di tempo più brevi, quali per esempio quelli tra due interventi di irrigazione localizzata, che in genere non superano i 7-10 giorni, i valori di P_{pmin} relativi all'incremento non sono influenzati dai parametri sopracitati.

In conclusione, l'affidabilità del sistema di monitoraggio dello stato idrico oggetto di studio, rispetto ad altri alternativi, dipende da vari fattori, tra i quali il clima, la risposta specifica del genotipo allo stress idrico e il criterio seguito per la gestione dell'irrigazione.

Come emerso nel corso delle presenti esperienze, nell'impianto intensivo, con alberi di grandi dimensioni e condotto in asciutto, la diminuzione dei valori Ψ_{swp} è risultata graduale e solamente dopo 74 giorni dall'inizio del monitoraggio le piante hanno raggiunto valori di Ψ_{swp} inferiori -2.5 MPa e lo stato 2 della curva di Pp. Molto probabilmente, la elevata "capacitanza" e l'esteso apparato radicale, in grado di esplorare grandi volumi di suolo, hanno consentito alla

pianta di tollerare il lungo periodo di siccità senza incorrere in stati di stress. È ovvio che in tale contesto d'impianto i vantaggi dell'uso di un sistema di monitoraggio dello stato idrico della pianta in continuo sono meno evidenti; la camera a pressione invece, grazie alla relativa praticità d'uso e al basso costo, appare la soluzione più conveniente. Per un'accurata gestione dell'irrigazione negli impianti olivicoli a bassa densità si ritiene sufficiente effettuare rilevamenti dello stato idrico con cadenza bisettimanale.

Diversamente, negli impianti superintensivi, a causa della modesta taglia delle piante e quindi, della minore capacità degli alberi e del più ridotto apparato radicale, nonché della più estesa superficie fogliare (maggiore valore di LAI) che determina più alta traspirazione, lo Ψ_{swp} diminuisce rapidamente, anche nell'arco delle 24 ore. Assumendo come indicatore di stress la curva Pp, già dopo 2-3 settimane di carenza idrica si osserva l'inversione o semi inversione dei valori giornalieri di Pp (perdita di turgore). Anche lo Ψ_{swp} in questa tipologia di impianto evidenzia, dopo soli 10 giorni dalla sospensione dell'irrigazione, un livello di stress idrico elevato ($\Psi_{swp} < -2.5$ MPa). La programmazione dell'irrigazione, basata sul rilevamento settimanale dello Ψ_{swp} non è efficace e nella maggior parte dei giorni di richiesta di acqua lo Ψ_{swp} diminuisce fortemente da una settimana all'altra nonostante l'irrigazione. In tale contesto l'uso di un sistema di monitoraggio continuo è una condizione utile per la gestione di tali sistemi.

7 Considerazioni conclusive

Il saldo negativo di circa 150 milioni di euro nella bilancia commerciale olivicola italiana emerso in questi ultimi anni, ha sollecitato la Commissione Agricoltura della Camera a proporre ed approvare una risoluzione per il rilancio, il rafforzamento e lo sviluppo dell'olivicoltura nazionale. Obiettivo prioritario di tale risoluzione è l'incremento della produzione attraverso la razionalizzazione della coltivazione degli oliveti tradizionali, il rinnovamento degli impianti e lo sviluppo di nuovi sistemi colturali in grado di conciliare sostenibilità ambientale ed economica.

Nel nostro Paese, infatti, la variabilità dei contesti olivicoli non consente di poter puntare su un solo modello d'impianto; sistemi tradizionali, intensivi e superintensivi dovranno coesistere e rappresentare un punto di forza per la flessibilità che potranno conferire al settore produttivo.

Al di là del risultato che potrà essere ottenuto con i differenti modelli olivicoli, l'evoluzione del settore non potrà prescindere da un'intensa attività di ricerca e di trasferimento dei risultati al mondo produttivo per migliorare le performance degli oliveti e la riduzione dei costi di produzione. A tal proposito sono state avviate da tempo studi su nuove tipologie d'impianto tra le quali gli impianti superintensivi che consentono un elevato grado di meccanizzazione della potatura e della raccolta, adatti ad un ampio panorama varietale.

L'Italia, forte della presenza storica e delle numerose varietà di olivo diffuse nei vari areali, risulta infatti essere tra le regioni più attive nella qualificazione dei prodotti oleicoli, nella convinzione che solo attraverso una politica di qualità (marchi collettivi di qualità) si possono ottenere sostanziali incrementi di valore aggiunto delle produzioni.

Tuttavia, è abbastanza noto a tutti gli operatori del settore che tale strategia di protezione commerciale si adatta per uno specifico mercato di élite la cui ampiezza è, e lo sarà sempre più, determinata, nel prossimo futuro, dal soddisfacimento delle attese dei consumatori che richiedono qualità ma ad un prezzo sostenibile. Inoltre, considerato che non tutte le produzioni oleicole potranno essere destinate verso un mercato di élite, nasce l'esigenza di incrementare il livello di reddito degli oliveti.

Tale obiettivo potrà essere conseguito mediante aggiornamenti di tecnica colturale che consentano la massima espressione delle potenzialità produttive delle piante ed un elevato livello di meccanizzazione, per ridurre al minimo i costi di produzione. Su quest'ultimo aspetto incidono soprattutto le operazioni di raccolta che, se effettuate con i metodi tradizionali, rappresentano sino all'80% dei costi della manodopera necessaria per la coltivazione (Godini et al., 2006; Tombesi 2006; Tous et al. 2004; Farinelli et al. 2013; De Gennaro et al. 2013).

Nonostante la raccolta manuale rappresenti la principale voce di costo nell'oliveto, la raccolta meccanica risulta ancor oggi poco diffusa nell'olivicoltura italiana. Fattori ostacolanti il processo di meccanizzazione di tale operazione colturale possono essere individuati nella piccola superficie media dell'azienda, terreni in pendio, piante obsolete e di grande mole, bassa produttività dell'oliveto e, infine, l'elevato costo delle macchine.

Al fine di soddisfare l'esigenza di migliorare la sostenibilità economica degli impianti mantenendo la tipicità degli oli, sono state avviate prove volte ad individuare, nell'ambito del patrimonio varietale autoctono, cultivar adatte al modello d'impianto Superintensivo ma con densità d'impianto inferiori rispetto a quello proposto dai ricercatori spagnoli. Si tratta di impianti basati su cultivar che fruttificano precocemente, con produzione costante e abbondante e contraddistinte da crescita vegetativa e habitus di fruttificazione che consente la produzione delle piante anche quando possono incorrere in pur temporanei periodi di scarsa illuminazione della chioma e sono sottoposte a drastici interventi di "topping" per contenere lo sviluppo verticale della pianta.

I risultati delle indagini oggetto della presente tesi aprono nuove prospettive sulla effettiva possibilità di procedere ad un processo di intensificazione dell'olivicoltura della Sicilia, soprattutto nei distretti olivicoli che ricadono nelle aree fertili e irrigue della regione, dove la giacitura pianeggiante può consentire la meccanizzazione della raccolta con sistemi con diverso grado di automazione. In tal senso nuove prospettive sembrano provenire dallo studio di nuove forme di allevamento quali la parete verticale, in fase di avanzata sperimentazione, adatta ad impianti superintensivi con circa (1000 alberi/ha). Si tratta di una forma molto simile a quella utilizzata negli impianti superintensivi spagnoli (asse centrale) dalla quale si differenzia per la maggiore robustezza, determinata dalla presenza di un terzo ordini di fili, posizionato a circa 2,80 m di altezza. Le branche principali delle piante vengono infatti ancorate alla struttura di appoggio che deve garantire che la vegetazione non invada troppo l'interfila e che la parete, lungo il filare, assuma un profilo "trapezoidale", con maggiore spessore alla base rispetto alla sommità. Tale conformazione garantisce infatti la regolare illuminazione di tutta la parete.

Rispetto all'Asse centrale, questa forma di allevamento potrebbe essere adatta ad un numero di cultivar più elevato poiché consente anche a quelle con albero vigoroso di poter essere potate (topping) e raccolte meccanicamente con macchine bacchiatrici, che operano in continuo, lateralmente rispetto al filare. Nell'ambito dell'ampio ed eterogeneo panorama varietale siciliano saggiato, sono poche le cultivar che hanno mostrato di ben adattarsi alle elevate densità d'impianto (1000 piante/ettaro). Si tratta tuttavia di varietà di origine autoctona, che in esperienze precedenti di campo (Caruso et al. 2014) hanno mostrato livelli di efficienza

produttiva raffrontabili alle più note cultivar alloctone (Arbequina, Koroneiki e Arbosana) sulle quali i modelli d'impianto superintensivi fanno oggi affidamento. Di tali cultivar, essendosi originate in Sicilia, dove vantano antiche tradizioni colturali, sono ben note le esigenze ecologiche e la sensibilità agli stress biotici e abiotici.

Non va inoltre sottovalutata la peculiarità organolettica degli oli ottenuti dalle cultivar in argomento che certamente potrà contribuire a mantenere negli oli siciliani quei tratti di tipicità che attualmente sono alla base del successo commerciale delle produzioni oleicole dell'Isola. Gli oli delle suddette cultivar, se sapientemente gestiti in fase post-raccolta, potranno infatti dare origine, attraverso blend con oli siciliani più rinomati, ad aromi e sapori certamente nuovi e difficilmente imitabili.

Rimane da verificare, negli anni a venire, e nei diversi distretti olivicoli siciliani il comportamento agronomico delle citate cultivar, in risposta al variare dei fattori ambientali e delle tecniche colturali. In tal senso maggiori approfondimenti legati alla gestione dell'irrigazione e della potatura potranno contribuire ad accertare l'effettiva adattabilità dei genotipi di origine autoctona a tali modelli d'impianto e contribuire quindi alla loro valorizzazione.

8 Riferimenti bibliografici

- Allen R. G., Pereira L. S., Smith M. 1998 Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56-1998.
- Connor D. J., Gómez-del-Campo M. Yield determination in olive hedgerow orchards analysis of radiation and fruiting profiles. 2009. *Crop & Pasture Science*, , 60, 1–10
- Hermoso J. F, Ninot A., Romero A., Tous J., 2011. Mediterranean clonal selections evaluated for modern hedgerow olive oil production in Spain *California Agriculture* 65(1):34-40.
- Bacelar, E. A., Correia, C. M., Moutinho-Pereira, J. M., Gonçalves, B. C., Lopes, J. I. And Torres-Pereira, J. M. (2004). Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree Physiology*, 24, 233–239.
- Balling A, Zimmermann U. 1990. Comparative measurements of the xylem pressure of *Nicotiana* plants by means of the pressure bomb and pressure probe. *Planta* 182, 325–338;
- Ben-Gal A., Koolb D., Agama N., Van Halsemab G., Yermiyahua U., Yafea A., Presnova E., Erela R., Majdopa A., Ziporic I., Segala E., Rügerd S., Zimmermann U., Cohene Y., Alchanatise V. and Dage A. 2010. Whole-tree water balance and indicators for short-term drought stress in non-bearing ‘Barnea’ olives. *Agricultural Water Management* 98: 124–133;
- Bosabalidis, A. M. And Kofidis, G. (2002). Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*, 163, 375–379.
- Camerini F., Camposeo S., Godini A., 2010. Preliminary observations about the performance of 13 varieties according to the super high density olive culture training system in Apulia (southern Italy). *Adv. Hort. Sci.* 24(1): 16-20.
- Caruso T., Campisi G., Marra F.P., Camposeo S., Vivaldi G.A., Proietti P., Nasini L., 2014. Growth and yields of the cultivar Arbequina in high density planting systems in three different olive growing areas in Italy. *Acta Hort.* 1057: 341-348.
- Caruso T., Cartabellotta D., Motisi A.. 2007. Catalogo di olivo siciliane. Identificazione, validazione, caratterizzazione morfologica, molecolare e qualità degli oli.
- Chartzoulakis, K., A. Patakas and A. Bosabalidis. 1999. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 42: 113–120.

Dag A., Ben-Gal A., Yermiyahu U., Basheer L., Nir Y, Kerem Z. 2008. The effect of irrigation level and harvest mechanization on virgin olive oil quality in a traditional rain-fed 'Souri' olive orchard converted to irrigation. *Journal of the Science of food and Agriculture* 2008

Cherbiy-Hoffmanna S. U., Searles P.S, J. Hall A., Rousseaux M. C. Influence of light environment on yield determinants and components in large olive hedgerows following mechanical pruning in the subtropics of the Southern Hemisphere. *Scientia Horticulturae* 137 (2012) 36–42

COI. Analisi di scenario e studi di settore della Filiera Olivicola Italiana. Agea campagna olivicola 2013-2014

Connor D. J., Gómez-del-Campo M., E. R. Trentacoste. Relationships between olive yield components and simulated irradiance within hedgerows of various row orientations and spacings. *Scientia Horticulturae* Volume 198, 26 January 2016, Pages 12–20

Connor D. J., M. Gomez-del-Campo, P. S. Searles. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: A review. *Scientia Horticulture*. April 2014

Connor D. J.. Towards optimal designs for hedgerow olive orchards. 2006. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 1067–1072

Córdoba P.J., Muñoz-Cobo M.P. 1992. Variedad de olivo de gran interés en Andalucía. *Agricultura: Revista* 497, 1992 - dialnet.unirioja.es

Farinelli D., A. Baldicchi, T. Frioni, M. Boco, A. Rosati, F. Famiani. Olivo: potatura annuale e biennale a confronto. *Informatore agrario* 10-2103

De Gennaro B. a, B. Notarnicola b, L. Roselli a, G. Tassielli. Innovative olive-growing models: an environmental and economic assessment. *Journal of Cleaner Production* 28 (2012)

De La Rosa, R., L. Leon, N. Guerrero, D. Barranco e L. Rallo. 2006. Resultados preliminares de un ensayo de densidades de plantacion en olivar en seto. *Especial Olivicultura*. IV:43-46

Di Vaio C., Marallo N., Marino G., & Caruso T. (2013). Effect of water stress on dry matter accumulation and partitioning in pot-grown olive trees (cv Leccino and Racioppella). *Scientia Horticulturae*, 164, 155-159.

Dias A. B., Peça J. O. and Pinheiro A.. 2012. Long-Term Evaluation of the Influence of Mechanical Pruning on Olive Growing. *Agronomy Journal*, 2012

Dias A.B., J. O. Peça, A. Pinheiro Long-Term Evaluation of the Influence of Mechanical Pruning on Olive Growing *Agronomy Journal* Volume 104, Issue 1 2012

Díaz-Espejo, A., E.J. Fernández, P.J. Durán, I.F. Girón, H. Sinoquet, G. Sonohat, J. Phattaralerphong, J.M. Infante, V. Chamorro, L. Villagarcía e M.J. Palomo. 2008. Canopy architecture and radiation interception measurements in olive. V International Symposium on Olive Growing - *Acta Horticulturae*. 791

E. Baldini 1986 *Arboricoltura generale*.

Ehrenberger, W., Rüger, S., Rodríguez-Domínguez, C.M., Díaz-Espejo, A., Fernández, J.E., Moreno, J., Zimmermann, D., Sukhorukov, V.L., Zimmermann, U., 2012. Leafpatch clamp pressure probe measurements on olive leaves in a nearly turgorless State. *Plant Biol.* 14 (4), 666–674.

Camerini F., Bartolozzi F., G. Vergari, G. Fontanazza 1997. Analysis of the effects of ten years of mechanical pruning on the yield and certain morphological indexes in an olive orchard. *ISHS Acta Horticulturae* 474: III International Symposium on Olive Growing

F., Bartolozzi F., Vergari G., Fontanazza G.. 1999. Analysis of the effects of ten years of mechanical pruning on the yield and certain morphological indexes in an olive orchard. *Acta Hort.* 1999.474.40

Fereres E., Goldhamer D., 2003. Suitability of stem diameter variation and water potential as indicator for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78, 139–144;

Ferguson L, Sergio Castro Garcia Transformation of an Ancient Crop: Preparing California ‘Manzanillo’ Table Olives for Mechanical Harvesting *Hort Technology* June 2014 24-3

Ferguson L., J. Maranto, and R. Beede. 1995. Mechanical Topping Mitigates Alternate Bearing of ‘Kerman’ Pistachios (*Pistacia vera* L.). *Hort Science* 30(7): 1369-1372. 1995.

Fernández J.E., Rodríguez-Domingueza C.M., Perez-Martina A., Zimmermannb U., Rügerb S., Martín-Palomoc M.J., Torres-Ruiza J.M., Cuevasa M.V., Sannb C., Ehrenbergerb W, Diaz-Espejoa A.. 2011. Online-monitoring of tree water stress in a hedgerow olive orchard using the leaf patch clamp pressure probe. *Agricultural Water Management*, 100: 25– 35;

Fernández, J.E., 2014. Plant-based sensing to monitor water stress: applicability to commercial orchards. *Agric. Water Manage.* 142, 99–109.

Fernández, J.E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V. ,Rodríguez-Dominguez, C.M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J.M., Hernandez-Santana, V., Diaz-Espejo, A., 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil* 372,279–295.

Fereres E., Soriano M.A. .2006 Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 2006.

Giametta G., Zimbalatti G.. 1997.Mechanical Pruning in New Olive-Groves *Journal of Agricultural Engineering Research* Volume 68, Issue 1, September 1997, Pages 15–20

Girona J., Luna M., Arbonés A., Mata M., Rufat J., Marsa J.Young. 2000. Olive trees responses (*olea europea*, cv "arbequina") to different water supplies. water function determination. *ISHS Acta Horticulturae* 586: IV International Symposium on Olive Growing

Godini A., Camposeo S, Ferrara G, Giorgio V. 2006. L'olivicultura superintensiva come ultima innovazione: gli aspetti agronomici *Atti Convegno nazionale sull'olivo* Portici 2006

Godini, A., S. Camposeo e V. Scavo. 2006. Gli aspetti agronomici dell'olivicultura.

Gucci, R., E.M. Lodolini and H.F. Rapoport. 2007. Productivity of olive trees with different water status and crop load. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82:648–656.

Grattan S.R. , Berenguer M.J. , Connell J.H. , Polito V.S., Vossen P.M. 2006. Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural water management* 85 (2006) 133–140

Guerfel M., Baccouri O., Boujnah D., Chaibi W. and Zarrouk M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119, 257–263.

Hsiao T. C., Steduto P., Fereres E. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science* (2007) 25:209–231

Lavèe S., Nashef M., Wonder M., Harshemesh H. . 1990. The effect of complementary irrigation added to old olive trees (*Olea europea* L.) cv Souri on fruit characteristics, yield and oil production. *Advances in horticultural* 4 n° 3 1990.

León L., De la Rosa R., L. Rallo, N. Guerrero and D. Barranco. 2007. Influence of spacing on the initial production of hedgerow ‘Arbequina’ olive orchards. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5(4), 554-558

Moriana A, Pérez-López D, Prieto MH, Ramírez-Santa-Pau M, Pérez-Rodríguez JM. 2012. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agric Water Manage* 112:43–54.

Moriana A., Orgar F., Pastor M., Fereres E. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J.Amer.Soc. Hort. Sci.* 128(3)425-431. 2003

Moya JCH, Muñoz-Cobo M.P., Macías 2005 V.V. Esayos en plantaciones de olivar superintensivas e intensivas. - *Vida Rural*, 2005 - dialnet.unirioja.es

Naor A..2012. Crop load and irrigation interactions - a new dimension of rdi. *ISHS Acta Horticulturae* 1038: VII International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 2012

Padilla-Díaz, C.M., et al., Scheduling regulated deficit irrigation in a hedgerow olive orchard from leaf turgor pressure related measurements. *Agric. Water Manage.* (2015).

Pastor, M., M. Garcia-Vila, M.A. Soriano, V. Vega e E. Fereres. 2007. Productivity of olive orchards in response to tree density. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology.* 82:555-562.

Palomo M.J. , Moreno F. Fernández J.E , Díaz-Espejo A. , Girón I.F. 2002 . Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. *Agricultural Water Management.* Volume 55, Issue 1, May 2002, Pages 15-35

Peça J.O., .Dias A.B,A .C.Pinheiro L. Santos, N.Morais, A.G.Pereira D.Reynolds de Souza Mechanical pruning of olive trees as an alternative to manual pruning. *Agronomy Journal*, 2012

Proietti P., Nasini L., Reale L., Caruso T., Ferranti F.. Productive and vegetative behavior of olive cultivars in super high-density olive grove. 2015. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* vol.72 no.1 Piracicaba

Ramos D.E., W.H. Olson, J.W. Osgood, W.H. Krueger, R.G. Snyder. 1992. Annual and biennial mechanical pruning of hedgerow English walnuts. *ActaHortic.*1992.322.15

Remorini D., Massai R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science* (2003) 22: 39–46

Rodriguez-Dominguez, C.M., Ehrenberger, W., Sann, C., Rüger, S., Sukhorukov, V., Martín-Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Cuevas, M.V., Torres-Ruiz, J.M., Perez-Martin, A., Zimmermann, U., Fernández, J.E., 2012. Concomitant measurements of stem sap flow and leaf turgor pressure in olive trees using the leaf patch pressure probe. *Agric. Water Manage.* 114, 50–58.

Rosati, A. Paoletti, S. Caporali, E. Perri. The role of tree architecture in super high density olive orchards. *Scientia Horticulturae* 161 (2013) 24–29

Roselli L., Bernardo C. De Gennaro 2011. Modelli olivicoli innovativi: un'analisi comparativa Agriregione europa anno 7 n 24 marzo 2011

Rüger S., Ehrenberger W, Arendb M., Geßnera P., Zimmermann G., Zimmermann D., Bentrup F.-W., Nadlere A., Ravehf E., Sukhorukova V.L., Zimmermann U. 2010. Comparative monitoring of temporal and spatial changes in tree water status using the non-invasive leaf patch clamp pressure probe and the pressure bomb. *Agricultural Water Management* 98, 283–290; superintensiva. *L'Informatore Agrario*. 1:65-67.

T. Caruso, G. Campisi, F.P. Marra, Camposeo S., Vivaldi G.A., Proietti P, Nasini L. 2012. Comportamento agronomico di impianti superintensivi in tre aree olivicole italiane. *Rivista Frutticoltura* n° 9, 2012.

Tombesi A., Proietti P., Iacovelli G., Tombesi S.e Farinelli D.. 2011. Vegetative and productive behaviour of four italian cultivars and 'Arbequina' according to super intensive olive training system in central Italy. *Acta hort.*924, ISHS 2011.

Tombesi S and D. Farinelli. 2014 Pruning Technique in Young High Density Hedgerow Olive Orchards. *Acta Hort.* 1057, ISHS 2014

Tombesi, A. 2006. Planting systems, canopy management and mechanical harvesting. Second International Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala:307-316.

Tombesi, A. 2006. Planting systems, canopy management and mechanical harvesting. Second International Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala:307-316.

Tomos AD. 1988. Cellular water relations of plants. In: Franks F, ed. Water science reviews 3. Cambridge: Cambridge University Press, 186–277;

Tous J, Romero A, Hermoso JF (2010) New trends in olive orchard design for continuous mechanical harvesting. *Adv Horti Sci* 24(1):43-52

Tous J., Romero A., J Plana. 1999. Clon de la variedad de olivo ‘Arbequina’ - *Olivae*, 1999 - sidalc.ne

Tous J.A., Romero A., Plana J.. 1993. Selección clonal de la población de olivo ‘Arbequina’. *Agricultura: Revista* 413, 1993

Tous J.A., Romero J.F, Hermoso M, Msallem A, Larbi 2014. Olive orchard design and mechanization: present and future. 0.17660/ActaHortic.1057.27

Tous, J., A. Romeri, J. Plana e J.F. Hermoso. 2004. Olive oil cultivars suitable for very high density planting conditions. 5th International Symposium on Olive Growing. 29 settembre-2 ottobre, Izmir, Turchia

Tous, J., A. Romero e J.F. Hermoso. 2006. High density planting systems, mechanization and crop management in olive. second International Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala.:423-430.

Tous, J., A. Romero e J.F. Hermoso. 2007a. The hedgerow system for olive growing. *Olea-Fao Olive Network*. Cordoba, Spain. 26-51

Tous, J., A. Romero, J.F. Hermoso e N. Mallén. 2007b. The hedgerow system for olive growing. *Agricultura, Revista Agropecuaria*. Editorial Agrícola Española S.A., Madrid; Spain, pp. 360-367.

Trentacoste E. R., Connor D. J., Gómez-del-Campo M. Effect of row spacing on vegetative structure, fruit characteristics and oil productivity of N–S and E–W oriented olive hedgerows. 2015. *Scientia Horticulturae*. Vol 193, 22 September, Pages 240–248

Trentacoste E. R., Connor D. J, Gómez-del-Campo M.. Effect of olive hedgerow orientation on vegetative growth, fruit characteristics and productivity. 2015. *Scientia Horticulturae* 192 60–69

Vivaldi G.A, G. Strippoli, S. Pascuzzi, A.M. Stellacci, S. Camposeo. 2015. Vossen P (2002) The potential for super-high-density olive oil orchards in California. *Olint magazine*.

Vivaldi GA, G Strippoli, S Pascuzzi, AM Stellacci. Olive genotypes cultivated in an adult high-density orchard respond differently to canopy restraining by mechanical and manual pruning. *Scientia Horticulturae* 192 (2015) 391–399

Westhoff M, Reuss R, Zimmermann D, Netzer Y, Gessner A, Gessner P, Zimmermann G, Wegner LH, Bamberg E, Schwartz A, Zimmermann U (2009a) A non-invasive probe for online monitoring of turgor pressure changes under field conditions. *Plant Biology* 11:701-712

Zimmermann D., Reuss R., Westhoff M., Geßner P, Bauer W., Bamberg E., Bentrup F-W. and Zimmermann U. 2008. A novel, non-invasive, online-monitoring, versatile and easy plant-based probe for measuring leaf water status. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 59, No. 11, pp. 3157–3167, 2008;

Zimmermann U, Ra'de H, Steudle E. 1969. Kontinuierliche Druckmessung in Pflanzenzellen. *Naturwissenschaften* 56, 634;

Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Haase A. 2004. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytologist (Tansley Review)* 162, 575–615.

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione del seguente lavoro con suggerimenti, critiche ed osservazioni, a loro va tutta la mia gratitudine.

Sentito ringraziamento va al mio Maestro di scuola e di vita Chiar.mo Prof. Tiziano Caruso per i preziosi insegnamenti e consigli che mi ha trasmesso durante gli anni di dottorato e per il tempo dedicatomi per la realizzazione della tesi

Un doveroso e sentito ringraziamento va ai colleghi: Dott.ssa Laura Macaluso, Dott.ssa Adele Amico Roxas, Dott.ssa Silvia Fretto, sempre disponibili ad aiutarmi alla raccolta dei dati e collaborazione senza la quale la dissertazione finale non avrebbe raggiunto i risultati ottenuti.

Vorrei inoltre esprimere la mia sincera gratitudine al Prof. Chiar.mo Francesco Paolo Marra, al Dott. Giuseppe Campisi e alla Dott.ssa Giulia Marino per i preziosi consigli e suggerimenti forniti durante la stesura della tesi.