



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E  
AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

RISPOSTA FISIOLOGICA E PRODUTTIVA ALLO  
STRESS IDRICO CONTROLLATO DELL'OLIVO AD  
ALTA DENSITÀ NELLA REGIONE MARCHE

PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE RESPONSE OF HIGH  
DENSITY OLIVE TO CONTROLLED WATER STRESS IN  
MARCHE REGION

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:

Francesco Gabriele Mascolo

Relatore:

PROF. DAVIDE NERI

Correlatore:

DOTT. SSA VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Ai miei genitori

# Sommario

CAPITOLO 1 PREMESSA .....	1
CAPITOLO 2 INTRODUZIONE .....	3
2.1 Caratteristiche botaniche e morfologiche.....	3
2.1.1 Ciclo vegeto-riproduttivo della branca di olivo .....	3
2.1.2 Fiore .....	5
2.1.3 Frutto.....	7
CAPITOLO 3 GLI IMPIANTI AD ALTA DENSITÀ IN OLIVICOLTURA .....	9
CAPITOLO 4 LE ESIGENZE IDRICHE DELL'OLIVO .....	11
4.1 Variazioni del potenziale idrico fogliare.....	13
4.2 Regolazione stomatica .....	14
4.3 Disponibilità idriche e sviluppo del frutto .....	16
4.4 Irrigazione in condizioni di deficit.....	17
4.5 Determinazione delle esigenze idriche dell'olivo (ETc) con kc sperimentali .....	19
CAPITOLO 5 OBIETTIVO DELLA TESI.....	21
CAPITOLO 6 MATERIALI E METODI.....	22
6.1 Descrizione della varietà utilizzata .....	22
6.2 Descrizione del sistema culturale.....	23
6.3 Disegno sperimentale .....	24
6.4 Andamento termico e pluviometrico.....	25
6.5 Determinazione delle esigenze idriche.....	26
6.6 Rilievi.....	28
CAPITOLO 7 RISULTATI.....	30
7.1 Allegagione e accrescimento vegetativo.....	30
7.2 Accrescimento del frutto .....	33
7.3 Scambi gassosi .....	36
7.4 Raccolta e analisi sensoriale.....	40

CAPITOLO 8 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....	43
CAPITOLO 9 BIBLIOGRAFIA .....	48

## Capitolo 1 PREMESSA

Il comparto produttivo olivicolo mostra una bassa redditività ormai da molti anni. I sistemi di allevamento tradizionalmente utilizzati in questo campo non risultano al passo con le innovazioni tecnologiche e presentano un basso grado di meccanizzazione.

Seguendo quanto avvenuto in frutticoltura, anche per l'olivo si intende procedere ad un rinnovamento degli impianti. Una delle proposte avanzate, con lo scopo di aumentare la redditività, è l'intensificazione del sesto d'impianto. I modelli di impianto utilizzati dipendono strettamente dal tipo di ambiente in cui vengono introdotti. Per tale motivo, l'intensificazione deve avvenire tramite impianto di varietà molto produttive che vanno incontro precocemente a piena produzione, facili da gestire e con olio caratteristico in base alle diverse zone.

Questo non è un obiettivo semplice da raggiungere, poiché per coltivazione ad alta intensità non si intende soltanto l'utilizzo di un sesto di impianto stretto (modello super-intensivo) ma un insieme di tecniche che si basano su specifiche conoscenze fisiologiche e sono organizzate in modo da giungere allo scopo principale: produzioni elevate e meccanizzazione della raccolta. In particolare, per controllare la crescita risulta assolutamente necessaria una stretta modulazione sia di apporto d'acqua che di fertilizzanti, e l'utilizzo di appropriate tecniche di potatura per la messa a punto della meccanizzazione della raccolta.

L'irrigazione dell'oliveto ne assicura uno sviluppo molto più veloce dal punto di vista vegetativo. Tale tecnica, inoltre, consente l'aumento della densità radicale ed ha conseguenze positive sulle fasi più importanti, dal punto di vista produttivo, di fioritura, allegagione e accumulo di olio nel frutto (Moriani et al., 2003; Rapoport et al., 2004; Trentacoste et al., 2010, Caruso et al., 2013). L'apporto d'acqua rappresenta quindi, un punto di estrema importanza in un sistema di intensificazione, ma è noto che, soprattutto in alcuni tipi di ambiente, l'acqua è una risorsa limitante ed è quindi fondamentale che l'apporto idrico sia modulato in modo da ridurre al massimo gli sprechi e fornire solo l'apporto idrico necessario.

Attualmente, si tende a gestire l'irrigazione dell'olivo evitando una piena irrigazione (100% del fabbisogno idrico), ma piuttosto attuando strategie di deficit idrico controllato o di soccorso, sia in base alla disponibilità idrica che alle condizioni ambientali pedo-climatiche.

Tramite una modulazione di dosi e periodi di somministrazione, si può, quindi, giungere ad una riduzione di quantità d'acqua apportata senza avere modificazioni negli standard produttivi, i quali rimangono gli stessi della piena irrigazione sia per quanto riguarda la quantità che in termini di qualità. Questo tipo di approccio permette di limitare fortemente gli sprechi rendendo la pratica irrigua più sostenibile.

Nonostante siano state effettuate numerose indagini sperimentali sull'utilizzo del deficit idrico controllato sull'olivo, poche sono le esperienze condotte su impianti ad alta densità. Esse, infatti, sono state effettuate principalmente su impianti di tipo tradizionale (Gucci, 2002; Xiloyannis 1998). La differenza degli impianti tradizionali rispetto a quelli ad alta densità, da questo punto di vista, è legata al consumo evapotraspirativo. Tale parametro dipende dal Leaf Area Index (LAI), che è maggiore per gli impianti ad alta densità che, quindi, mostrano un maggiore fabbisogno d'acqua. In ogni caso la maggiore densità d'impianto riduce i volumi di suolo esplorato dalle radici di ogni singola pianta e questo meno resiliente l'impianto ai cambiamenti stagionali di disponibilità idrica.

## Capitolo 2 INTRODUZIONE

### 2.1 Caratteristiche botaniche e morfologiche

La specie *Olea europaea L.*, comunemente detta olivo, è l'unica della famiglia delle Oleaceae (composta da 600 specie) (Johnson 1957; Rohwer 1996; Wallander e Albert 2000) a produrre un frutto destinato sia al consumo diretto (oliva da tavola) che alla trasformazione in olio di oliva.

Questa specie è caratterizzata principalmente da longevità e capacità di adattamento a condizioni ambientali e colturali piuttosto estreme. L'olivo è un albero adatto al clima mediterraneo. Ha origine in regioni caratterizzate da un clima subtropicale secco ed è capace di adattarsi a condizioni di siccità e temperatura elevate. Per quanto riguarda il suolo, l'olivo è capace di adattarsi a diversi tipi di tessitura, pur richiedendo, preferibilmente, terreni arenati.

Riguardo alla produzione, è importante ricordare che l'olivo è un albero da frutto tendenzialmente a produzione alternata. Per impedire o comunque ridurre questa caratteristica sono opportuni interventi agronomici e di tecnica colturale. Tale alternanza nel produrre frutti è relativa allo sviluppo annuale e dipende da fattori metabolici endogeni e da fattori esogeni. Vigore, sviluppo vegetativo annuale e dimensioni del frutto sono strettamente dipendenti dal livello di fruttificazione: in anni caratterizzati da elevata carica, viene limitata la crescita dei germogli giovani e così, anche le dimensioni delle drupe risultano limitate.

#### 2.1.1 Ciclo vegeto-riproduttivo della branca di olivo

Il ciclo vegeto-riproduttivo della branca di olivo è biennale (Lodolini et al., 2012)(fig.1). Tale distinzione del ciclo in due fasi è facilmente osservabile dal germoglio misto, costituito da due diverse porzioni:

1. Il segmento di un anno, che produrrà i frutti grazie al fenomeno dell'induzione a fiore delle gemme all'ascella delle foglie, verificatosi nella stagione precedente (n) e che ha innescato la differenziazione a fiore nell'anno successivo (n+1);
2. Il segmento vegetativo terminale che è il risultato della crescita della stagione in corso (n+1).

La crescita vegetativa annuale sulla porzione terminale di germogli misti può essere mantenuta per due anni e fino a cinque, a seconda della cultivar, della gestione del frutteto (irrigazione e concimazione) e delle tecniche di potatura (Lodolini et al., 2012).



*Figura 1: Foto di un ramo misto, la parte distale è quella che si è formata nell'ultima stagione vegetativa, la parte invece dove si trovano le olive è quella formata nella stagione precedente. Fonte: Corso di olivicoltura Neri D.*

L'accrescimento del frutto si va a sovrapporre in modo quasi completo alle fasi di accrescimento del germoglio (fig.2). Questo incide sul suo equilibrio vegeto-riproduttivo.

Nell'estate del secondo anno ( $n+1$ ), in condizioni climatiche limitanti (stress da siccità, alte temperature), il germoglio potrebbe non essere in grado di compensare l'intensa domanda di carboidrati dovuta allo sviluppo dei frutti, alla crescita vegetativa e all'induzione dei boccioli fiorali. La sovrapposizione dei processi vegetativi e riproduttivi e la competizione per i nutrienti contribuiscono, quindi, piuttosto fortemente ad influenzare l'alternanza di produzione (Lodolini et al., 2012).

Durante l'anno di carica il frutto tende ad attrarre verso di sé la maggior parte dei nutrienti. Quindi, quando nella stessa stagione si assiste allo sviluppo di numerosi frutti, la porzione vegetativa del ramo misto potrebbe andare incontro ad una crescita esigua che determina una ridotta produzione durante l'anno successivo ( $n+1$ ). Il fenomeno che si osserva durante l'anno di scarica è esattamente opposto a quello appena descritto: la scarsa produzione determina un vigoroso sviluppo vegetativo con formazione di numerose gemme e quindi una produzione molto elevata durante l'anno successivo ( $n+1$ ) (Neri et al., 2009).

Per contenere l'alternanza di produzione è necessario creare un compromesso tra attività vegetative e riproduttive sullo stesso germoglio per sostenere sia il raccolto dell'anno in corso che un allungamento sufficiente della parte distale del germoglio per l'induzione a fiore della produzione dell'anno successivo.



### 2.1.2 Fiore

Quella dell'olivo è un'infiorescenza, detta "mignola", formata da piccoli fiori riuniti in tetrameri actinomorfi che, a loro, volta, costituiscono panicoli ascellari presenti a livello della mignola in un numero che dipende dalla cultivar e dall'ambiente, ma che comunque è compreso tra i 18 e i 40. Esistono due tipi di fiori: ermafroditi o staminiferi. I primi sono dotati di un calice gamosepalo e da una corolla costituita da quattro petali bianchi. L'androceo (apparato riproduttivo maschile) comprende due stami con antere a due logge. Il gineceo (apparato riproduttivo femminile) è costituito da un ovario supero, bicarpellare e biloculare, da breve stilo e da uno stigma bilobato a papille più o meno umide a seconda della cultivar. In ogni loculo, sono presenti due ovuli anatropi, all'interno dei quali avviene la formazione di un sacco embrionale bisporico. Per quanto riguarda i fiori staminiferi, invece, in essi sono ben evidenti un perianzio e un androceo ma il gineceo risulta essere più piccolo ed involuto (Fabbri et al., 2004).

Le cellule madri del polline si trovano nelle antere. Queste, in seguito a un serie di divisioni cellulari, daranno origine al granulo pollinico (trizonocolpato a forma circolare o ellittica). Una volta maturo, il granulo pollinico verrà disperso nell'atmosfera in quantità elevate. Al suo raggiungimento dello stigma, una volta riconosciuto, comincia la fase pregamica, in cui si assiste ad una prima fase di idratazione seguita da quella di germinazione caratterizzata dall'emissione del tubetto pollinico. Il tubetto pollinico, quindi, va incontro a crescita lungo lo stilo fin quando giunge a livello della camera ovarica. Al raggiungimento dell'ovulo, il tubetto penetra all'interno dell'embriosacco. Si generano, quindi, i processi di riproduzione contemporaneamente ai processi di abscissione degli stami e della corolla.

In maniera simile ad altre specie monoiche che producono fiori ermafroditi, l'olivo mostra una fase di produzione molto abbondante di fiori, seguita da una bassa allegazione e successivamente da una forte e precoce degenerazione con conseguente abscissione degli ovari Cuevas e Polito, 2004; Ben Dhiab et al., 2017; Kassa et al., 2019).

La bassa allegazione dell'olivo è dovuta a diversi fattori, tra cui la presenza di un'elevata quantità di fiori imperfetti (staminiferi). Sono stati effettuati, a questo proposito, studi in cui è stata confrontata la produttività ottenuta con impollinazione naturale con quella ottenuta tramite impollinazione manuale (e quindi tramite un apporto massiccio di polline). Tali studi non sempre hanno mostrato notevoli differenze; in particolare, è stato osservato che molti dei fiori abscissi presentano stigmi dotati di quantità elevate di granuli di polline (Reale et al., 2009; Seifi et al., 2015).

Tra i fattori capaci di influenzare l'impollinazione, situazioni climatiche critiche come pioggia, alte temperature e venti forti e secchi hanno un ruolo di primaria importanza. Tali condizioni critiche influenzano anche l'allegagione, portando ad una sua riduzione (Lavee, 1986; Conner e Fereres, 2005).

Per quanto riguarda l'impollinazione, è noto che il vento sia una condizione fondamentale perché essa avvenga. Nonostante sia stato dimostrato che il polline dell'olivo possa essere trasportato dal vento fino a 12 km di distanza (Fabbri et al., 2004), è opportuno considerare che la distanza effettiva di impollinazione sembra attestarsi intorno ai 30 m, in condizioni normali (Ayerza e Coates, 2004; Fabbri et al., 2004; Sibbett e Osgood, 2005).

Inoltre, un ulteriore aspetto che regola le potenzialità di allegagione dell'olivo è l'autoincompatibilità. Per autoincompatibilità si intende l'incapacità del polline di una cultivar di fecondare gli ovuli che costituiscono i fiori della medesima cultivar. Saumitou-Laprade et al. (2017) indica che tutte le cultivar di olivo sono autoincompatibili; solo alcune varietà, in particolari condizioni genetiche e ambientali, sono in grado di deporre semi a seguito di autofecondazione, meccanismo noto come pseudo-autocompatibilità (Breton et al., 2016 ; Marchese et al., 2016a ; Saumitou-Laprade et al., 2017a ).

Le condizioni ambientali possono influenzare l'autocompatibilità e l'allegagione dell'olivo. Tra tali condizioni, la temperatura sembra svolgere un ruolo chiave (Orlandi et al., 2010 ; Selak et al., 2013 ; Haberman et al., 2017 ). Si pensa, infatti, che l'autocompatibilità nell'olivo dipenda dalla temperatura (Suárez et al., 2012 ) e, in generale, che le alte temperature durante la fioritura possano ridurre il tasso di autofecondazione (Ayerza e Coates, 2004 ; Selak et al., 2013 ). Tuttavia, l'effetto della temperatura sembra dipendere fortemente dal genotipo (Griggs et al., 1975 ; Koubouris et al., 2009 ; Selak et al., 2013). Inoltre, le variazioni di temperatura influenzano, in maniera piuttosto marcata, la capacità del polline di crescere e germinare (Koubouris et al., 2009 ), così come influenzano la ricettività dello stigma e la longevità dell'ovulo ( Selak et al., 2014b ) e la crescita del tubo pollinico (Lewis, 1942; Williams, 1970) influenzando così l'allegagione ( Cuevas et al., 1994 ).

In un anno con fioritura normale, è sufficiente dall'1 al 2% di allegagione per ottenere una resa commerciale (Lavee, 1986; Lavee, 1996; Fabbri et al., 2004; Martin et al., 2005). Negli anni di scarica, quando la fioritura è debole, l'allegagione può aumentare fino al 10% (Martin et al., 2005). Normalmente si sviluppa un frutto per infiorescenza, ad eccezione di alcune cultivar caratterizzate da frutti più piccoli, come Koroneiki e Arbequina (Lavee, 1986; Conner e Fereres, 2005)

### 2.1.3 *Frutto*

Il frutto maturo è rappresentato da una drupa le cui forme e dimensioni dipendono sia dalla cultivar che dalle sue condizioni di allevamento. Generalmente, però, per le olive da olio, il diametro della drupa tende a non superare i 2-3 cm. Più in particolare, il frutto è costituito da un sottile esocarpo, da un mesocarpo piuttosto consistente e carnoso e da un endocarpo legnoso, al centro della drupa. Il mesocarpo è formato da cellule parenchimatiche ad alto contenuto in olio, il cui peso oscilla tra il 12 e il 25% del peso fresco, in base al tipo di cultivar e all'andamento della stagione presa in considerazione. La struttura più interna, l'endocarpo, è costituita da scleridi che si uniscono a formare un nocciolo dotato di una superficie a carattere fortemente rugoso. Su tale struttura punteggiata è possibile osservare canali che includono fasci vascolari a terminazione mesocarpale.

La curva di crescita del frutto dell'olivo ha un andamento a doppia sigmoide (Fig. 2), ovvero composta da due fasi distinte di crescita elevata e una fase intermedia che descrive una crescita poco sostenuta (Lavee, 1986; Rallo e Cuevas, 2001). Numerosi sono i fattori che influenzano tale andamento: ne rappresenta un esempio, il carico di frutti, così come le condizioni pedo-climatiche e fattori agronomici vari (Loupassaki et al., 1993).

L'accrescimento totale dell'oliva ha una durata che va dai 120 ai 200 giorni. Tale durata dipende dalla destinazione finale del prodotto e dalla combinazione varietà-ambiente (Rallo et al. 1994).

Il rapporto tra polpa e nocciolo varia nell'arco della crescita del frutto e indica quindi un diverso andamento della crescita delle diverse parti del frutto. Nella prima fase, questo rapporto corrisponde ad 1, poiché entrambe le componenti contribuiscono allo stesso modo allo sviluppo dell'intero frutto. Questa prima fase è caratterizzata da un'intensa attività di divisione cellulare, durante la quale avviene una forte selezione dei frutticini, molti dei quali cascolano a causa della competizione per le sostanze nutritive (Lavee, 1986; Rallo et al. 1994).

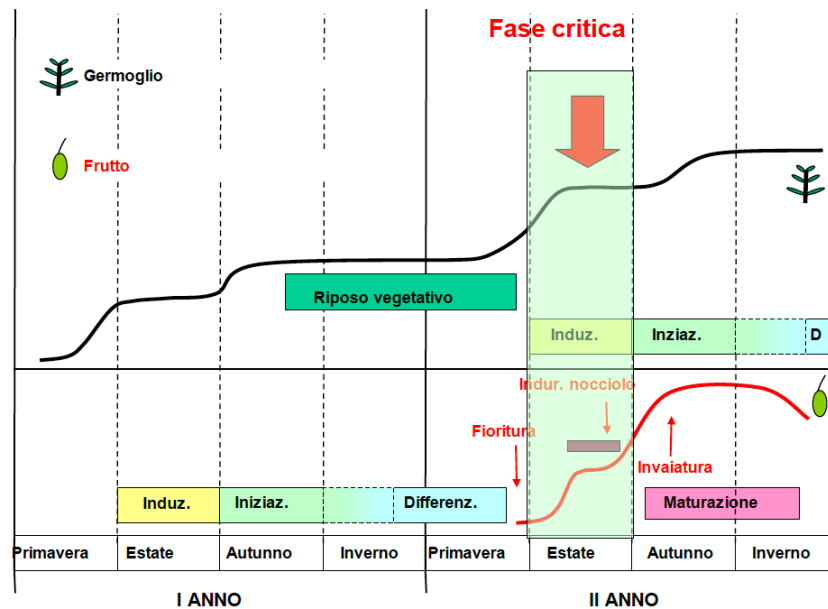
Nella seconda fase si assiste ad un rallentamento nell'accrescimento del volume del frutto, infatti, le cellule cessano la loro divisione e il nocciolo completa il suo processo di crescita (lignificazione) circa 60 giorni dopo la fioritura completa. A questo punto, la crescita del nocciolo termina, mentre quella della polpa (mesocarpo) continua il suo accrescimento.

La fase finale di sviluppo che va dai 60 ai 120 giorni circa dalla fioritura, è caratterizzata da un lungo periodo di espansione delle cellule del mesocarpo che accumulano acqua e olio al loro interno (Rapoport, 1999).

Secondo uno studio di Manrique e Rapoport (1999), in varietà a frutto medio-piccolo, circa il 10-20% del numero finale di cellule della polpa viene prodotto durante la seconda fase di

crescita, mentre, per quanto riguarda varietà a frutto grande, la percentuale sale fino al 30-40%. Le differenze tra le cultivar sono dovute ad un periodo più lungo di divisione cellulare nelle varietà a frutto grande (Rallo Morillo, 1994; Manrique, 1997).

Da un recente studio di Khosravi et al. (2021) è emerso che oltre ad una variazione stagionale delle dimensioni del frutto, ne esiste anche una giornaliera. In questo studio sono state monitorate le dimensioni dei frutti durante l'arco di una giornata ed è stato osservato che il diametro trasversale dei frutti, alla fine di ogni giornata, risultava maggiore rispetto a quello di partenza, osservato all'alba dello stesso giorno. Tale variazione circadiana è legata sia a fattori endogeni che a fattori esogeni.



*Figura 2 Ciclo vegeto-riproduttivo in olivo Fonte: dispense Lodolini E.M. (modificato da Rallo et al., 1994 e da Gucci e Cantini 2001)*

## Capitolo 3 GLI IMPIANTI AD ALTA DENSITÀ IN OLIVICOLTURA

Durante la prima metà degli anni '90, in Spagna, viene proposto un nuovo modello di impianto ad alta densità, poiché definito da densità di piantagione elevatissime (da 1.000 a 2.500 piante/ha) e dall'utilizzo, per la raccolta, di macchine scavallatrici. Questo modello mostra numerosi vantaggi, primo fra tutti la produzione, la quale raggiunge il suo massimo già al terzo anno di età della pianta. Dalla Spagna, questo sistema ha, successivamente, trovato largo impiego in tutti i paesi in cui si coltiva l'olivo.

Un impianto ad alta densità deve, in pochi anni, coprire i costi relativi alle spese di impianto e alle tecniche di coltura intensiva, piuttosto costose. Per fare in modo che ciò avvenga, sono fondamentali sia la regolarità che l'entità della produzione, oltre alla durata della fase produttiva (Tombesi, 2003). È opportuno che le piante, già dal secondo-terzo anno, abbiano produzioni superiori a 7-8 t di olive per ettaro e che mantengano produzioni elevate fino ad almeno 15 anni di età della pianta (Godini et al., 2006; Tombesi, 2006; Tous et al., 2007b).

Le tre varietà di olivo più utilizzate in questo modello sono Arbosana, Arbequina e Koroneiki, varietà produttive a sviluppo limitato. La distanza di piantagione è solitamente in un range che va da 3,5 m a 4,5 m tra le file e un range che va da 1,2 m a 2,0 m lungo la fila.

La raccolta avviene tramite macchine scavallatrici (fig. 3), le quali operano ad un'altezza massima di 3 metri con cime flessibili. Le operazioni eseguite sono quasi tutte completamente meccanizzabili (Lodolini, Neri et al. 2018; Baldini, 1986).

È importante che i frutti abbiano una crescita regolare, non influenzata dalla competizione con altri organi della pianta. È necessario dunque prevedere un apporto idrico regolato ed una fertilizzazione puntuale. La raccolta infine deve essere effettuata al raggiungimento di elevata qualità e quantità di olio, in modo da consentire un'elevata resa di raccolta tramite macchine scavallatrici (Tombesi, 2006; Tombesi et al., 2009).

Un tipico oliveto ad alta densità mostra, quindi, una struttura molto simile ad un moderno frutteto, dotato di impianto drenante e di irrigazione.



*Figura 3: Macchina scavalatrice durante la fase di raccolta (fonte: <https://agriculture.newholland.com/eu/it-it>)*

## Capitolo 4 LE ESIGENZE IDRICHE DELL'OLIVO

In olivicoltura, l'interesse per l'irrigazione ha riguardato principalmente le olive da mensa (Goldhamer, 1999). Al contrario, le olive da olio, tradizionalmente, vengono coltivate senza irrigazione. Nonostante questo, molte evidenze sperimentali hanno messo in luce che l'irrigazione è necessaria per una valorizzazione delle produzioni, sia dal punto di vista quantitativo che da quello qualitativo (Beede e Goldhamer, 1994; Moriana et al., 2003; Rapoport et al 2004).

Con l'irrigazione è possibile ottenere numerosi vantaggi, la cui entità è strettamente dipendente da fattori di natura diversa (climatici, pedologici e colturali, principalmente). In climi aridi, tipici del sud-Italia, tramite irrigazione, è possibile ottenere una produzione di olio raddoppiata. Per quanto riguarda, invece, climi più freschi, tipici dell'Italia centrale, l'aumento della produzione risulta più contenuto (Gucci, 2004).

È noto che l'olivo sia una pianta particolarmente resistente allo stress idrico, grazie ad adattamenti anatomici e ad una fisiologia che gli permette di mantenere inalterate le funzioni vitali, anche in condizioni estreme di stress. I vasi xilematici della pianta presentano un diametro piuttosto ridotto (Lo Gullo et al., 1990), tale caratteristica consente all'olivo un flusso traspirativo ad alti potenziali idrici, con meno problemi di cavitazione (Gucci, 2001). È noto che a -3,5 Mpa, solo il 5% dei vasi xilematici interrompe il flusso a causa dell'embolia (Salleo et al., 1999). Inoltre, l'apparato radicale della pianta possiede caratteristiche che le permettono di utilizzare l'acqua del terreno a potenziali idrici del suolo inferiori al punto di appassimento, con valore di -2,5 Mpa. Uno degli adattamenti dell'olivo è rappresentato, inoltre, dalla struttura della foglia, composta da un mesofillo compatto e duro, rivestito da un'abbondante e spessa cuticola. Sulla sua superficie inferiore, invece, essa presenta peli in quantità massiva, al fine di proteggere lo stoma. Gli stomi sono presenti in numero estremamente ridotto solo sulla parte inferiore della foglia, inseriti in piccole depressioni, in modo da non essere esposti direttamente verso l'esterno, grazie anche al fatto di essere ricoperti da un feltro di tricomi. L'utilità dei tricomi sta, innanzitutto, nella loro capacità di riflettere la luce, oltre alla loro azione di filtraggio della radiazione ultravioletta. Essi, inoltre, conferiscono all'olivo una

caratteristica tipica delle piante xeromorfe, ovvero il mantenimento di uno strato di aria umida sulla superficie fogliare (Barone e Di Marco, 2003).

L'olivo è una specie anisoidrica il cui potenziale idrico fogliare varia notevolmente sia durante il giorno che durante l'anno solare. Questa caratteristica lo rende resistente anche a valori molto negativi di potenziale idrico.

Le foglie, oltre ad avere una certa anatomia, mostrano determinate caratteristiche fisiologiche come un'elevata funzionalità dal punto di vista dell'attività fotosintetica e traspirativa, anche a potenziali idrici fogliari di -6, -7 Mpa grazie ad un'efficiente regolazione dell'attività stomatica che rende possibile la modulazione degli scambi gassosi a seconda della domanda evaporativa dell'atmosfera, riducendo, quindi, il flusso traspirativo. Infine, l'olivo presenta una spiccata capacità di reagire a condizioni di deficit idrico aumentando il rapporto tra radici e chioma e, quindi, aumentando il volume di suolo raggiunto dall'apparato radicale (Xiloyannis et al. 1996; Celano et al., 1999)

Tali meccanismi, seppur molto utili alla pianta, comportano un notevole dispendio di energia che porta ad una serie di svantaggi dal punto di vista produttivo. Infatti, un eccessivo dispendio di energia può portare ad un decadimento della produzione e ad un ridotto sviluppo vegetativo che può determinare una compromissione non solo alle produzioni dell'anno, ma anche a quelle delle annate successive (Beede e Goldhamer, 1994).

Per una corretta gestione irrigua, soprattutto quando si adotta una strategia irrigua in deficit, è importante tenere in considerazione il ciclo biennale dell'olivo (Fernandez e Moreno, 1999).

È importante, durante la fase di ripresa vegetativa, garantire una certa disponibilità di acqua e di sostanze nutritive per sollecitare la crescita vegetativa, la fioritura e l'allegagione. Quindi, a partire dalla fase di inizio di apertura delle gemme (a legno e a frutto), fino a completa fioritura, non dovranno esserci condizioni di deficit idrico, che possano influenzare qualità e quantità di fiori e, di conseguenza, dei frutti allegati (Spiegel, 1955).

Dall'inizio dell'accrescimento del frutto all'indurimento del suo nocciolo, i frutticini allegati possono manifestare una certa abscissione fisiologica. Tale evento è la fase più critica di tutto il ciclo produttivo e, pertanto, vanno assicurate, come già accennato in precedenza, buone condizioni idriche e nutrizionali (Rallo e Fernández-Escobar, 1985).

Durante la prima fase avviene, inoltre, l'accrescimento vegetativo che necessita che sia mantenuta una superficie fogliare adeguata a garantire di assimilare quantità nutritive sufficienti sia per la produzione dell'anno in corso, sia per la preparazione degli organi di produzione all'anno successivo (Samish e Spiegel, 1961).



La maggiore suscettibilità allo stress idrico è stata osservata durante la fase che va dalla maturazione del frutto fino alla sua raccolta, fase in cui si determinano le dimensioni finali dei frutti e l'accumulo di riserve nella pianta per affrontare l'anno successivo. In questo periodo avviene il processo di sintesi dei trigliceridi (inolizione) e di riempimento delle cellule.

#### 4.1 Variazioni del potenziale idrico fogliare

Il potenziale idrico ( $\psi_w$ ) fogliare dell'olivo è sottoposto a notevoli variazioni sia nel corso della giornata che nel corso della stagione. L'andamento giornaliero del  $\psi_w$  dell'olivo è indice sia dello stato idrico dei tessuti della pianta che della domanda evapotraspirativa dell'ambiente poiché, durante la giornata, gli stomi sono capaci di regolare il flusso traspiratorio solo parzialmente. Una marcata diminuzione giornaliera del  $\psi_w$  è dovuta a tre diversi fattori: la perdita d'acqua dai tessuti, le elevate resistenze idrauliche nel fusto e la rigidità delle pareti delle cellule che costituiscono la foglia. Durante la giornata, quindi, il  $\psi_w$  raggiunge valori prossimi al punto di perdita di turgore nelle ore più calde del giorno, nonostante ci siano buone condizioni di umidità del substrato. Il punto di perdita di turgore per la foglia si attesta intorno a valori di circa  $-3,0$   $-3,5$  MPa di  $\psi_w$  che corrispondono al 75-80% di contenuto idrico relativo (Lo Gullo e Salleo, 1988). In condizioni piuttosto estreme di deficit idrico, sono stati misurati potenziali idrici pari a  $-8$  Mpa. In tali condizioni e a tali valori, è stato osservato che le piante mantengono le loro capacità di recupero e reidratazione (Angelopoulos et al., 1996).

L'andamento del  $\psi_w$  e del contenuto idrico dei tessuti, su base giornaliera, è ciclico. Nelle prime ore del mattino, la traspirazione della chioma è maggiore rispetto all'assorbimento idrico da parte delle radici, quindi i tessuti vanno incontro ad una progressiva disidratazione.

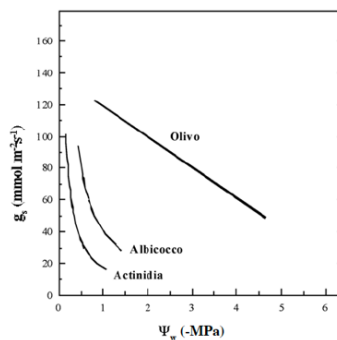
È stato dimostrato che, sottoposte a carenza idrica, le foglie di olivo possono arrivare a cedere il 60% della propria acqua al flusso traspiratorio (Xiloyannis et al., 1998). Al contrario, nelle ore pomeridiane e durante la notte, l'assorbimento di acqua da parte della pianta è maggiore rispetto alla sua traspirazione e, di conseguenza, i suoi tessuti vanno incontro a reidratazione. L'acqua che la pianta accumula durante la notte viene impiegata, durante il giorno, per sostenere, almeno parzialmente, l'attività traspiratoria e fotosintetica della chioma. Questo è indicato dal comportamento isteretico del rapporto tra consumo idrico e contenuto idrico dei tessuti (Zucchini et al., 2021; Khosravi et al., 2021; Gucci, 2006).

Tramite sensori appositi, è possibile misurare le escursioni giornaliere del diametro del fusto. Tale misurazione può essere utile alla gestione dell'irrigazione nell'oliveto, poiché, tali dati raccolti sono indicativi dello stato di stress dell'olivo, in maniera molto sensibile (Moriana et al., 2003).

## 4.2 Regolazione stomatica

Gli stomi dell'olivo caratterizzano unicamente la pagina inferiore della foglia matura sulla quale sono presenti in densità compresa tra 200 e 700 mm<sup>-2</sup>, a seconda della varietà considerata (Leva, 1977; Bartolini et al., 1979; Bonghi et al., 1987). La conduttanza stomatica ( $g_s$ ) è indicativa del grado di permeabilità della foglia allo scambio gassoso del vapore d'acqua verso l'atmosfera. Per quanto riguarda l'olivo, questo parametro presenta valori medi rispetto ad altre specie arboree da frutto in buone condizioni di disponibilità idrica nel suolo (Tognetti et al., 2002). Si può affermare, quindi, che, se la quantità d'acqua non è limitante, il tasso di traspirazione fogliare dell'olivo non è un fattore particolarmente basso. Per quanto riguarda, invece, l'efficienza di utilizzazione dell'acqua, quella dell'olivo è maggiore rispetto ad altre piante da frutto legnose. Sono noti, da pubblicazione di Bonghi e Palliotti (1994), valori compresi tra 5,5 e 9,6 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O rispetto a 3,2-4,4 per la vite e 2,3-3,5 per il pesco. In varietà diverse di olivo, inoltre, sono state osservate differenze di conduttanza stomatica e di efficienza di utilizzo dell'acqua (Chartzoulakis et al., 1999; Tognetti et al., 2002). Tra le caratteristiche dell'olivo vi è una tomentosità della superficie abassiale della foglia che fa sì che la resistenza allo strato limite sia elevata. Un fattore che riduce la resistenza dello strato limite è il vento: generalmente, si assiste ad un aumento di evaporazione proporzionale alla velocità del vento.

Nonostante una diminuzione della disponibilità idrica nel suolo, la  $g_s$  dell'olivo rimane piuttosto elevata e comunque superiore rispetto a quella che caratterizza specie quali l'albicocco e l'actinidia dotate di stomi molto suscettibili sia alla diminuzione di  $\psi_w$  (fig. 4) che all'aumento del deficit di pressione di vapore tra foglia e atmosfera (VPD). L'olivo è capace di tollerare un ampio intervallo di  $\psi_w$ , diversamente da albicocco e actinidia, che riescono a tollerare solo piccole variazioni. Inoltre, l'olivo mostra una minore pendenza della curva  $g_s/\psi_w$  rispetto alle altre due specie e ciò indica che i suoi stomi rimangono parzialmente aperti anche quando l'albero si trova in condizioni di severo deficit idrico (fig. 4). Questo

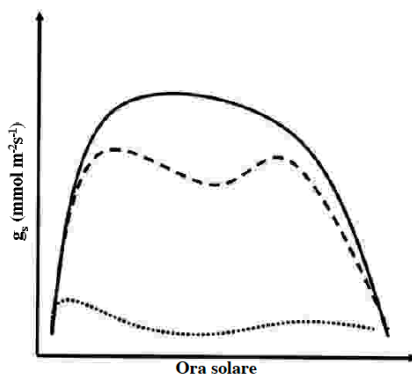


**Figura 4:** La relazione tra conduttanza stomatica ( $g_s$ ) e potenziale idrico fogliare ( $\psi_w$ ) misurato prima dell'alba di piante in vaso di actinidia, albicocco ed olivo. Fonte: Gucci, 2003.

permette di mantenere ad un certo livello l'attività fotosintetica e di termoregolazione della chioma (Angelopoulos et al., 1996; Moriana et al., 2002; Tognetti et al., 2002).

L'andamento diurno della  $g_s$  è fortemente influenzato dalla ridotta disponibilità di acqua nel suolo. In buone condizioni di irrigazione e a valori di VPD non particolarmente elevati, è possibile osservare l'andamento della  $g_s$  come una curva a campana asimmetrica, dove il massimo dell'apertura stomatica è osservabile nella parte finale del mattino (fig. 5). Al contrario, in condizioni di stress severo, la  $g_s$  mostra valori molto bassi per tutto il periodo diurno, mentre il punto massimo è osservabile nelle prime due ore dall'alba. In queste condizioni, si può assistere ad una leggera riapertura degli stomi nelle ultime ore pomeridiane.

È possibile osservare chiaramente questa tendenza ad una curva bimodale, se il grado di stress idrico è modesto (fig. 5), o in olivi irrigati in condizioni tipiche delle zone mediterranee, in cui VPD e temperatura assumono valori piuttosto elevati durante le ore centrali della giornata.



*Figura 5: Andamenti diurni tipici della conduttanza stomatica ( $g_s$ ) in piante di olivo in vaso. La linea intera indica piante irrigate con quantità di acqua pari all'evapotraspirato medio giornaliero, la linea spezzata piante irrigate con il 50% dell'evapotraspirato, e quella punteggiata piante non irrigate per 10 giorni. Fonte: Gucci, 2003*

Il livello di depressione nel grado di apertura stomatica durante le ore centrali del giorno dipende strettamente dal deficit idrico della pianta e dalle condizioni climatiche in cui essa cresce.

La diminuzione della conduttanza fogliare all'aumentare del VPD diminuisce in maniera lineare. Il coefficiente angolare della retta diminuisce progressivamente a livelli di deficit idrico elevato (Moriana et al., 2002). La conduttanza fogliare non risente di variazioni del VPD quando si osservano valori di potenziale idrico fogliare minori di -4 MPa (Moriana et al., 2002).

### 4.3 Disponibilità idriche e sviluppo del frutto

Gli effetti dell'irrigazione sono maggiormente osservabili in condizioni di clima arido e di prolungato deficit idrico.

Uno degli effetti più evidenti dell'irrigazione è quello osservato sulla crescita dei frutti. Si tratta, infatti, di uno strumento molto potente che permette di esercitare un controllo sull'accrescimento del frutto.

È noto come l'irrigazione sia un fattore chiave per sostenere l'accrescimento dell'oliva. Secondo numerosi studi, l'irrigazione è un intervento che porta ad un aumento sia delle dimensioni dell'intero frutto che del rapporto polpa-nocciolo (Lavee et al., 1990; Goldhamer et al., 1993; Inglese et al., 1999; Gucci et al., 2007 e 2009; Caruso et al., 2013).

La curva di crescita dell'oliva mostra un andamento pressoché lineare in condizioni irrigue (Costagli et al., 2003). In queste condizioni non si osserva il tipico rallentamento nella parte centrale che corrisponde alla fase di indurimento del nocciolo.

Lo scopo primario dell'irrigazione è quello di evitare stress idrici durante le fasi più sensibili del processo di accrescimento dei tessuti che compongono il frutto.

Secondo Beede e Goldhamer (1994) uno stress idrico si rende responsabile di una riduzione, spesso anche piuttosto marcata, delle dimensioni finali del frutto al momento della raccolta. In particolare, la scarsa disponibilità d'acqua influisce su processi differenti, in relazione alla fase in cui essa avviene: se la scarsità d'acqua avviene in una fase precoce di sviluppo del frutto (e quindi prima della fase di indurimento del nocciolo) l'effetto sarà una riduzione delle divisioni cellulari; al contrario, se avviene nella fase che segue l'indurimento, il processo che viene limitato è quello dell'espansione cellulare.

Gucci et al. (2002), invece, hanno osservato che un deficit idrico precoce si ripercuote, più che sul numero di cellule che costituiscono la polpa, sulle loro dimensioni.

È interessante osservare come un recupero dell'irrigazione dopo uno stress idrico avvenuto in fase precoce, determini una crescita preferenziale dell'endocarpo (processo noto come reversibilità) rispetto al mesocarpo. Ciò conferma il fatto che la pianta preferisce completare lo sviluppo di seme e nocciolo, rispetto a quello di olio e polpa. Da un punto di vista evolutivo, questo può essere spiegato dal fatto che seme e nocciolo sono indispensabili per perpetuare la specie e che la pianta ha finalità (riproduttive) differenti rispetto a quelle dell'uomo (economiche) (Gucci et al. (2002).

Sia secondo Costagli et al. (2003) che secondo Gucci et al. (2009) le dimensioni delle cellule che costituiscono il mesocarpo sono quelle ad essere maggiormente influenzate dall'irrigazione, sia nella fase che precede l'indurimento del nocciolo che in quella che lo

segue (in particolare, si osserva che uno stress idrico limita notevolmente il processo di espansione cellulare). Per quanto riguarda il numero di cellule, invece, esso non risulta influenzato dallo stato idrico, se si considera la prima fase di accrescimento dell'oliva. Dopo la fase di indurimento del nocciolo, invece, il numero di cellule risente fortemente dello stato idrico dell'olivo. Come già accennato, il rapporto polpa-nocciolo è un parametro che dipende fortemente dalle condizioni idriche. In particolare, sono i processi di accrescimento cellulari e tissutali ad avere conseguenze dirette su tale rapporto, che assume valori sempre più bassi all'aumentare dei livelli di deficit idrico.

Un'altra osservazione importante è quella riportata da Inglese et al., 1996; Costagli et al., 2003; Moriana et al., 2003; Rapoport et al., 2004 e Gucci et al., 2007, secondo i quali l'irrigazione non porta ad una riduzione dell'accumulo di olio all'interno del frutto. Nonostante alcuni autori abbiano registrato una resa più bassa (Berenguer et al., 2006; Alegre et al., 2002), questa sembra essere correlata, più che alla reale quantità di olio presente nella polpa, ad un'estraibilità minore dell'olio durante il processo di trasformazione.

Un altro fattore che influisce sull'effetto della disponibilità d'acqua sulle dimensioni dei frutti è il carico di frutti su ciascuna pianta. In condizioni irrigue questo fattore è legato alla dimensione del frutto in maniera inversamente proporzionale. Per contro, quando si assiste ad un marcato deficit idrico, tale relazione tende a diminuire fortemente o scomparire del tutto (Gucci et al., 2007).

Per quanto riguarda la relazione tra carico di frutti e contenuto d'olio nel mesocarpo, in letteratura esistono studi discordanti: mentre Lavee e Wodner (2004) hanno osservato, in due cultivar differenti, contenuti d'olio nel frutto comparabili in piante ad elevato e a basso carico, Gucci et al. (2007) riportano una diminuzione, nella polpa, del contenuto d'olio, in condizioni di carico produttivo crescente, piena irrigazione e senza differenze in termini di stress idrico.

Non sono stati osservati particolari effetti dell'irrigazione sull'acidità libera, sul numero di perossidi e sulla composizione in acidi grassi dell'olio. Ciò che subisce delle variazioni è, principalmente, il contenuto in fenoli, che determina le sensazioni organolettiche dell'olio: in particolare, esso diminuisce a maggiore disponibilità idrica (Servili et al., 2007).

#### **4.4 Irrigazione in condizioni di deficit**

Una caratteristica interessante dell'olivo è quella di mostrare una spiccata risposta all'irrigazione, anche quando il rifornimento d'acqua risulta limitato. Tale caratteristica rende possibili strategie irrigue in deficit che soddisfano parzialmente il fabbisogno idrico della pianta.

Tra le tecniche a maggiore diffusione, l'irrigazione in "deficit idrico controllato" è quella maggiormente applicata. In questo tipo di irrigazione, l'apporto irriguo viene ridotto in quelle che sono le fasi fenologiche meno critiche dal punto di vista della produzione. Per quanto riguarda le fasi critiche, invece, viene fornito un apporto idrico adeguato (Rapoport et al., 2004; Gucci et al., 2009).

Prove sperimentali condotte nella regione della Catalogna, in Spagna, hanno reso noto che volumi irrigui del 75% e del 50% dell'Etc applicati nella fase di indurimento del nocciolo non hanno avuto particolari conseguenze sulla produzione, se comparati a trattamenti di piena irrigazione. Una restituzione del 25% dell'Etc, invece, ha portato ad una diminuzione della produzione del 16%. Dal punto di vista del risparmio di acqua irrigua, tali prove hanno evidenziato una riduzione del volume stagionale, rispettivamente del 24%, del 35% e del 47% (Girona 2001).

Uno dei vantaggi di questa strategia di irrigazione sta nella riduzione della quantità di acqua utilizzata durante periodi in cui è importante utilizzarla per uso civile o per l'irrigazione di altre colture. Quindi, si tratta di una tecnica che consente di ottimizzare l'uso dell'acqua, permettendo di ridurre in maniera significativa i volumi stagionali di irrigazione.

È importante, però, sottolineare che sono necessari ulteriori studi per validare tale tecnica anche in ambienti diversi rispetto a quelli in cui sono state effettuate tali prove, anche in base alle diverse destinazioni del prodotto (consumo da mensa oppure olio) e alle diverse cultivar.

Nel caso dell'oliva da mensa, ad esempio, è importante che lo stress idrico applicato in fase di indurimento del nocciolo sia meno severo e di durata minore rispetto a quello applicato all'oliva per la produzione di olio. Questo, poiché, per quanto riguarda l'oliva da mensa, uno dei parametri fondamentali valutati in ambito commerciale, è rappresentato proprio dalla dimensione del frutto al momento della raccolta.

Un altro aspetto da tener presente è legato al fatto che, generalmente, la coltura consuma la riserva idrica prima di completare il suo ciclo produttivo. Quindi, occorrerà tenere sotto controllo il contenuto idrico del suolo così da individuare eventuali fasi critiche della coltura in cui applicare l'irrigazione di soccorso, se possibile.

Per quanto riguarda ambienti particolarmente aridi, e quindi dotati di scarsa disponibilità d'acqua, le uniche operazioni possibili durante l'anno saranno irrigazioni di soccorso (Lodolini, Neri et al. 2016). In questo scenario, è utile riuscire a prevedere interventi di questo tipo, nelle fasi fenologiche più sensibili di cui si è già ampiamente discusso in precedenza.

#### 4.5 Determinazione delle esigenze idriche dell'olivo (ETc) con kc sperimentali

Per poter calcolare i fabbisogni irrigui dell'oliveto è necessario stimare l'evapotraspirazione (ETc), calcolata attraverso l'equazione (1).

(1)

$$ETc = ET0 \cdot kc \cdot kr$$

dove:

ETc= evapotraspirazione colturale (mm/gg)

ET0 = evapotraspirazione della coltura di riferimento (mm).

kc = coefficiente colturale

kr= coefficiente di copertura (% di copertura del suolo da parte della coltura)

Per poter risolvere l'equazione è importante conoscere il coefficiente colturale (kc), valore che permette di determinare quanto le caratteristiche della coltura influiscono sul fabbisogno idrico. Kc, quindi esprime la relazione che intercorre tra l'evapotraspirazione di una coltura che copre completamente il suolo e l'evapotraspirazione di riferimento (ET0). Il valore del kc è empirico, ovvero determinabile in maniera sperimentale, in base all'ambiente e alle condizioni di coltura della pianta. Tale valore, in particolare, dipende dai seguenti fattori: a) il periodo dell'anno considerato; b) le condizioni pedoclimatiche (ET0, tipo di suolo); c) le caratteristiche agronomiche di gestione dell'impianto (densità, età degli olivi, sviluppo e volume della chioma).

In letteratura, si trovano valori di kc in riferimento ad ambienti diversi. Tali valori presentano un valore minimo ed un valore massimo in base al periodo dell'anno considerato. Essi, infatti, coincidono con il massimo in primavera e in autunno, mentre si abbassano durante l'estate. Orgaz e Fereres (1997) suggeriscono valori di coefficiente colturale per l'olivo che variano da 0,45 a 0,70.

Per la stima dell'ETc è importante tenere in considerazione una caratteristica dell'olivo, ovvero che essa è un tipo di pianta che, in genere, tende a non ricoprire tutta la superficie del suolo che ha a disposizione, come fa una pianta erbacea. Per tale motivazione, in tale stima, bisogna considerare un coefficiente di riduzione, indicato con kr e che tiene conto della caratteristica appena descritta.

Il valore del coefficiente di riduzione (kr) tiene in considerazione lo stato di sviluppo della coltura, ovvero la superficie coperta dalla chioma degli alberi, e può assumere valori compresi tra 0 e 1: si osservano valori leggermente superiori a 0 per un impianto giovane mentre un

valore pari ad 1 si può osservare per un oliveto adulto e intensivo, in condizioni irrigue, caratterizzato da chiome che coprono più del 50% di suolo.

In mancanza di informazioni specifiche per l'olivo, risulta utilizzabile la relazione proposta per il mandorlo da Fereres et al. (1981) (2):

$$Kr = \frac{2 Sc}{100} \quad (2)$$

dove:

Sc = superficie coperta dalla proiezione della chioma (%);

il valore di Sc si calcola (3):

$$Sc = \frac{\pi D^2 N}{400} \quad (3)$$

dove:

D = diametro medio della chioma (m);

N = densità di piantagione (n° olivi ha-1)



## Capitolo 5 OBIETTIVO DELLA TESI

Questo lavoro di tesi ha l'obiettivo di valutare la risposta di piante di olivo, appartenenti alla cultivar "Piantone di Falerone" e allevate secondo il modello ad alta densità nella regione Marche, a tre diversi livelli di irrigazione.

I dati utilizzati per tale scopo si riferiscono all'annata 2021 e riguardano fasi diverse dello sviluppo della pianta. In particolare, sono state effettuate osservazioni relativamente alle fasi di allegagione, accrescimento del frutto e raccolta.

Le informazioni ricavate da questa attività di ricerca aprono a prospettive future di miglioramento delle tecniche di gestione dell'irrigazione nell'ambiente marchigiano, al fine di mettere a punto un processo adeguato di intensificazione culturale in olivicoltura.

## Capitolo 6 MATERIALI E METODI

### 6.1 Descrizione della varietà utilizzata

La varietà presa in considerazione per tale studio è una cultivar marchigiana, particolarmente diffusa nella provincia di Fermo, in un'area limitata compresa tra i comuni di Falerone e Montegiorgio, ed in zone interne della provincia di Macerata, fino ad altitudini anche piuttosto elevate. La pianta è un albero di media vigoria a portamento assurgente, caratterizzato da una chioma voluminosa ad elevata densità, rami assurgenti con numerose ramificazioni, internodi corti e foglie strette e allungate le cui pagine superiori mostrano un colore scuro. La pianta, inoltre, possiede una media capacità di radicazione. Essa presenta lunghe infiorescenze, con un numero medio di fiori pari a 23, una struttura rada e una media ramificazione del rachide (Pannelli et al., 2001).

Si tratta di una varietà autosterile la cui entrata in produzione è abbastanza precoce. Per quanto riguarda la sua produttività, invece, essa è media e generalmente alternante.

Il frutto (fig.6) è una drupa media a forma tendenzialmente cilindrica, di circa 2-2,5 g e di colore verde chiaro tendente al violaceo, ad inolizione precoce e la cui resa in olio può essere classificata come medio-elevata. La drupa, infatti, è definita da un elevato rapporto polpa-nocciolo (Pannelli et al., 2001).

A partire dalla fase iniziale della maturazione, il frutto è caratterizzato da una consistenza della polpa e da una resistenza al distacco a bassi livelli.

L'olio prodotto possiede tali caratteristiche: esso è fruttato, amaro e pungente, di colore giallo-verde, ad alto contenuto di polifenoli.

Questa cultivar mostra una media sensibilità al freddo e al cicloconio, e un'elevata sensibilità alla mosca (*Bactrocera oleae*) (Pannelli et al., 2001).



*Figura 6 Frutto della varietà Piantone di Falerone (Fonte:<https://www.fondazione Slow Food.com/it/arca-del-gusto-slow-food/olio-extravergine-di-oliva-piantone-di-falerone/>)*

## 6.2 Descrizione del sistema colturale

Il presente studio è stato condotto nel 2021 in un oliveto ad alta densità nell'azienda didattico-sperimentale dell'Università Politecnica delle Marche sita in Agugliano (AN), risalente al 2011 (figura 7), che si estende per circa 2,0 ettari ( $43^{\circ}54'88.4''$  N,  $13^{\circ}36'50.1''$  E, 85 m s.l.m.) e presenta un sesto d'impianto  $4,0\text{ m} \times 2,0\text{ m}$  (1250 alberi ha). È un oliveto sperimentale nato per valutare l'attitudine di diverse varietà locali, nazionali e internazionali alla coltivazione ad alta densità. Le piante che compongono tale oliveto presentano una forma di allevamento che va a formare una siepe.

Il terreno è a prevalenza argilloso e presenta una pendenza che, in alcuni punti, supera il 18%. Esso, inoltre, presenta un inerbimento tra i filari che viene gestito meccanicamente (trinciatura). Le concimazioni vengono fornite e modulate in base alle esigenze stagionali.

Le piante sono sorrette da un tutore leggero e le file sono caratterizzate da un'intelaiatura con pali di testata e fili metallici di collegamento che sostengono il sistema di irrigazione localizzata.

L'approvvigionamento dell'acqua avviene da un giacimento d'acqua nelle vicinanze dell'oliveto. L'acqua viene, poi, messa circolo per mezzo di un gruppo motopompa.



*Figura 7 Foto satellitare dell'oliveto sperimentale ad alta densità dell'università politecnica della Marche sito ad Agugliano (AN). Fonte Google Earth.*

### 6.3 Disegno sperimentale

Le prove sono state condotte su piante autoradicate della varietà Piantone di Falerone, la quale occupa, all'interno dell'oliveto sperimentale un intero filare.

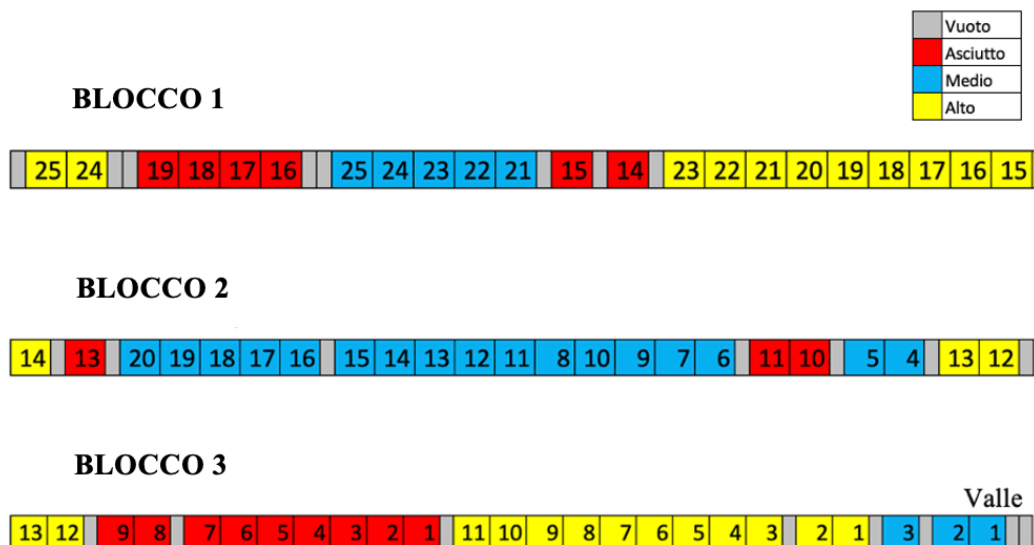
Le prove irrigue sono state divise in tre diversi trattamenti: regime irriguo asciutto, medio e alto. Considerata la poca disponibilità d'acqua, determinata dal fenomeno della siccità che ha contraddistinto l'annata 2021, e tenendo in considerazione che la fonte di approvvigionamento utilizzata era condivisa con altre produzioni, si è seguito un regime irriguo variabile (Tabella 1). In particolare, per il regime irriguo alto, è stato scelto un valore di evapotraspirato del 30% o del 15%, a seconda delle esigenze legato allo stadio fenologico, e mirando, comunque, ad un risparmio d'acqua. Il regime irriguo medio, invece, ha consistito nella restituzione della metà dell'acqua restituita con il regime alto.

Il filare è stato dotato di un sistema di irrigazione con due ali gocciolanti lungo il filare per la somministrazione d'acqua nei trattamenti irrigui medio ed alto (un'ala gocciolante per ciascun trattamento). I gocciolatori sono di tipo autocompensante da 4 l/ora, con 2 gocciolatori per pianta.

Al fine di ottenere dati rappresentativi, considerata la pendenza del terreno (>18%), il filare è stato suddiviso in 3 blocchi (uno a monte, uno centrale e uno a valle). Ciascun tipo di trattamento è stato applicato a 3 tipi di pianta (piccola, media e grande). La scelta di tale modello di studio non ha permesso di assicurare una randomizzazione totale, poiché era necessario assicurare che ogni trattamento fosse applicato a tutti e 3 i tipi di pianta in tutte e 3 le zone (monte, centro, valle), al fine di ottenere, come accennato, dati il più possibile rappresentativi.

Su 90 piante totali presenti lungo il filare, ne sono state selezionate 19 per il regime asciutto, 25 per il regime medio e 25 per il regime alto.

Di ciascuna pianta è stato scelto un ramo misto di 1 anno e un ramo in fase vegetativa, precedentemente etichettati, e sui quali sono stati effettuati rilievi con cadenza di circa dieci giorni. I dati ottenuti sono stati, infine, tabulati e analizzati.

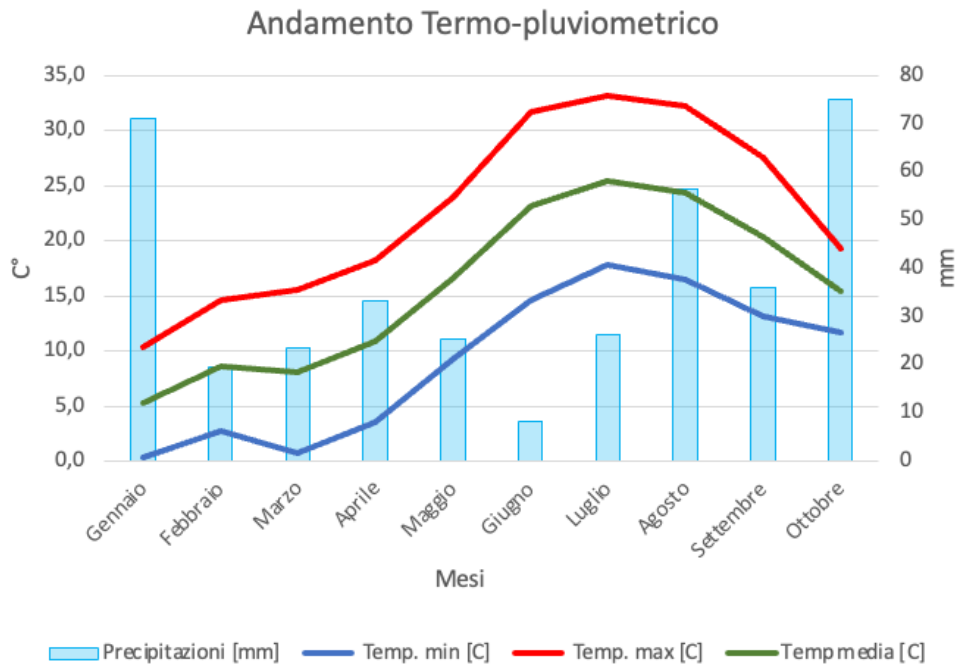


*Figura 8 Disegno sperimentale delle prove irrigue effettuate sulla cv. Piantone di Falerone in un oliveto ad alta densità sito ad Agugliano (AN). In giallo le piante trattate ad alto regime irriguo, in azzurro le piante a regime medio e infine in rosso le piante a regime asciutto.*

#### 6.4 Andamento termico e pluviometrico

Il grafico della figura 9 descrive l'andamento termo-pluviometrico nel periodo compreso tra il 1° gennaio 2021 e il 12 ottobre 2021. Risulta evidente che, in tale periodo, è stata raggiunta la temperatura media più bassa in assoluto nel mese di marzo, in cui il valore minimo ha rasentato i 0°C. Per quanto riguarda, invece, la temperatura media più alta, essa è stata rilevata durante il mese di luglio in cui è possibile osservare un picco vicino ai 35°C.

Si può osservare che, durante i mesi più caldi, sono state rilevate scarse precipitazioni per i mesi di giugno e luglio mentre il mese di agosto mostra un elevato livello di precipitazioni. Tale valore così alto è principalmente dovuto alle precipitazioni verificatesi durante due giornate, in particolare, le cui precipitazioni, da sole, hanno contribuito alla maggior parte dei mm rilevati. Valori molto alti relativi alle precipitazioni sono stati riscontrati anche nel mese di ottobre e nel mese di gennaio. Il valore più basso di precipitazioni è stato rilevato durante il mese di giugno.



*Figura 9 Andamento termico e pluviometrico. Temperature minima, media e massima, e precipitazione riferite al periodo: 01/02/2021-12/10/2021. Dati forniti dalla Protezione civile-regione Marche (Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-pluviometrico) rilevati presso le stazioni di Montepolesco.e Agugliano.*

### 6.5 Determinazione delle esigenze idriche

L'oliveto preso in esame presenta un suolo con una tessitura di tipo argilloso. Grazie a questa informazione è stato possibile calcolare la percentuale di acqua disponibile mediante la seguente formula (4):

$$0,44 \text{ cm}^3 \text{ (CIC)} - 0,21 \text{ cm}^3 \text{ (PA)} = 0,23 \text{ cm}^3 = 23\% \text{ (AD)} \quad (4)$$

Dove:

CIC= Capacità idrica di campo

PA= Punto di appassimento

AD= Acqua disponibile

Il coefficiente ottenuto (AD) è, quindi, stato utilizzato per calcolare l'acqua disponibile nell'oliveto sperimentale. Considerando una profondità del campo pienamente esplorata dalle radici dell'olivo pari a circa 50 cm, è stata calcolata l'acqua disponibile per ettaro. Innanzitutto, è stato calcolato il volume (5) del suolo per ettaro e successivamente è stato calcolato il suo prodotto con il coefficiente precedentemente ottenuto (AD) (6):

(5)

$$10000 \text{ m}^2 (\text{superficie}) \cdot 50 \text{ cm (profondità)} = 5000 \text{ m}^3 (\text{volume suolo})$$

(6)

$$5000 \text{ m}^3 \cdot 23\% = 1150 \text{ m}^3 (\text{AD per ettaro})$$

Attraverso i dati forniti dalla centralina meteo del dipartimento DIISM di ingegneria dell'Univpm, situata a 40 m dall'oliveto, è stato possibile calcolare i valori di evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET0). Questo dato è stato preso in considerazione a partire dal 1° gennaio 2021. Sottraendo all'AD (1150 m<sup>3</sup> = 115 mm) l'ET0 ed aggiungendo le precipitazioni, è stato stimato che l'esaurimento dell'AD è avvenuto intorno alla fine del mese di maggio.

Il primo intervento irriguo è avvenuto il 4 giugno, per poter evitare severi stress idrici.

I fabbisogni irrigui delle piante sono stati calcolati settimanalmente. Sono stati utilizzati i valori di ET0 medio giornaliero della settimana precedente, tenendo in considerazione eventuali precipitazioni avvenute. Le quantità d'acqua da restituire alle due diverse tesi irrigue (tabella 1) sono state calcolate sulla base di tali valori, in modo da rispettare le percentuali stabilite.

**Tabella 1** Volume di acqua distribuito (mm) a regime medio e alto e durata dell'intervento irriguo.

<b>Data irrigazione</b>	<b>Regime alto (mm)</b>	<b>ET0 accumulato restituito (%)</b>	<b>Regime medio (mm)</b>	<b>ET0 accumulato restituito (%)</b>	<b>Ore di irrigazione regime alto (h)</b>	<b>Ore di irrigazione regime medio (h)</b>
04/06/2021	4	30	2	15	4:00	2:00
07/06/2021	4	30	2	15	4:00	2:00
10/06/2021	1	15	0	7,5	1:00	00:00
14/06/2021	5,88	30	2,9	15	5:50	2:55
16/06/2021	3	30	1,5	15	3:00	1:30
22/06/2021	1,25	15	0,675	7,5	1:15	0:40

25/06/2021	4	30	2	15	4:00	2:00
28/06/2021	3	30	1,5	15	3:00	1:00
29/06/2021	3,1	30	1,55	15	3:10	1:35
04/07/2021	4	15	2	7,5	4:00	2:00
08/07/2021	2	15	1	7,5	2:00	1:00
14/07/2021	4,25	15	2,175	7,5	4:15	2:35
05/08/2021	5	15	2,50	7,5	5:00	2:30
17/08/2021	6,5	15	3,25	7,5	6:30	3:15
19/08/2021	3	15	1,5	7,5	3:00	1:30
16/09/2021	8	15	4	7,5	8:00	4:00
Totale	61,98		30,99		62:00	30:00

## 6.6 Rilievi

I rilievi in campo sono stati effettuati, ogni 10 giorni, nel periodo intercorso tra il 21 maggio 2021 e il 12 ottobre 2021, su rami precedentemente etichettati.

Nel corso del primo rilievo (21 maggio 2021) è stato conteggiato il numero di infiorescenze. Nei rilievi avvenuti successivamente alla fase di allegazione è stato monitorato il numero di olive. I dati ottenuti durante questi rilievi sono stati utilizzati per valutare l'allegazione, calcolando la differenza tra il numero di infiorescenze e il numero di olive, ancora presenti sui rami considerati.

A partire dal 12 giugno 2021 fino al 12 ottobre 2021 è stato valutato l'accrescimento dei frutti tramite la misurazione del loro diametro equatoriale e longitudinale, utilizzando un calibro digitale.

Per valutare l'accrescimento vegetativo è stato monitorato, nel periodo che va dal 21 maggio 2021 al 12 ottobre 2021, il numero dei nuovi nodi formati.

Le misurazioni dei parametri relativi a tasso fotosintetico netto (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica ( $g_s$ ) e concentrazione sottostomatica di  $CO_2$  ( $C_i$ ) sono state condotte utilizzando un analizzatore portatile di  $CO_2$  a flusso aperto (ADC L*C*i pro, BioScientific Ltd). È stato effettuato un rilievo a luglio, uno ad agosto ed, infine, uno a settembre. Il rilievo effettuato a luglio ha interessato tre fasce orarie (8:00-9:30; 11:20-12:40; 17:20-18:00), invece, i rilievi di agosto e settembre sono stati effettuati in una fascia oraria compresa tra le 12:00 e le 13:00. Per la misurazione sono state scelte 6 piante per trattamento suddivise, a loro volta, in 2 piante per zona (monte, centro e valle). Le foglie selezionate per la misurazione erano ben



esposte alla luce, espanse e non danneggiate. La prova è stata condotta utilizzando luce artificiale con valori di PPFD tra 800 e 900.

Al momento della raccolta è stata valutata la forza al distacco per mezzo di un dinamometro.

Per la raccolta (14 ottobre 2021) è stato utilizzato un abbacchiatore elettrico (Olivion Pellenc), delle reti per la raccolta e cassette da 25 kg. Direttamente in campo, è stata pesata la produzione per pianta; per ogni pianta sono stati inoltre raccolti 20 frutti, come campione da analizzare in laboratorio mediante la misurazione del peso fresco e del peso secco (polpa più nocciolino) di ciascuna drupa, tramite una bilancia elettronica di precisione. Per l'analisi del peso secco, le olive sono state essiccate in una stufa ventilata.

Partite di frutti provenienti da ciascuno dei trattamenti messi a confronto, sono state molite subito dopo la raccolta, presso un frantoio privato. È stata, quindi, calcolata la resa in olio. Infine, sono stati valutati i parametri qualitativi (acidità libera, n° perossidi, K232, K270, ΔK, polifenoli totali e analisi sensoriale) affidandosi al Centro Agrochimico Regionale A.S.S.A.M..

## Capitolo 7

# RISULTATI

### 7.1 Allegazione e accrescimento vegetativo

I rilievi del 12 giugno 2021 (Tabella 2) hanno permesso di evidenziare che, in piante della cv. Piantone di Falerone sottoposte a trattamento a regime di irrigazione alto, il numero di ovari che si accrescono dopo l'impollinazione per infiorescenza risulta maggiore rispetto a quello osservato in piante sottoposte a regime asciutto e medio. Tali risultati sono statisticamente significativi poiché mostrano un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

*Tabella 2 N° ovari che si accrescono dopo impollinazione per infiorescenze di piante della cv. Piantone di Falerone irrigata secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). Dati riferiti al 12 giugno 2021. I valori rappresentano medie  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$*

Varietà	Regime di irrigazione	Ovario ingrossato per infiorescenza (n)
Piantone di Falerone	Regime asciutto	0,64 $\pm$ 0,42 ab
	Regime medio	0,48 $\pm$ 0,30 b
	Regime alto	0,80 $\pm$ 0,52 a

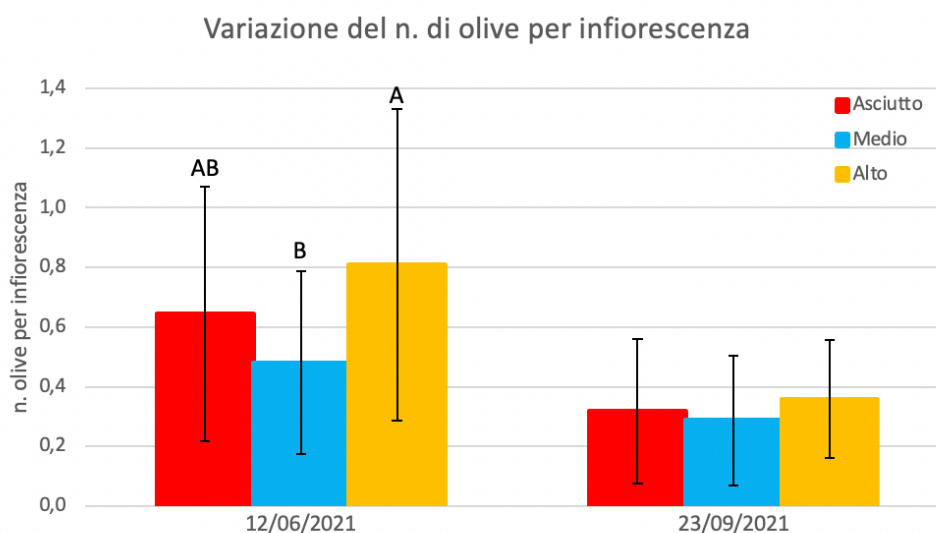
I valori contenuti nella Tabella 3 si riferiscono a rilievi effettuati il 23 settembre 2021. I valori riferiti ai frutti allegati per infiorescenza sono stati ottenuti calcolando il rapporto tra il numero di olive rilevato e il numero di infiorescenze presenti sul ramo preso in esame. Per quanto riguarda, invece, i valori in percentuale in riferimento ai frutti allegati per fiore, essi sono stati ottenuti calcolando il rapporto tra i valori precedentemente calcolati (numero dei frutti allegati per infiorescenza) espressi in percentuale e il numero medio di fiori per infiorescenza (n. medio=23,38 $\pm$ 0,73).

Le piante appartenenti alla cultivar Piantone di Falerone, sottoposte ad alto regime di irrigazione, mostrano un numero maggiore di frutti allegati per infiorescenza rispetto sia alle piante trattate a medio regime che a quelle a regime asciutto.

**Tabella 3** Percentuale di frutti allegati per infiorescenza, percentuale fiori allegati della cv. Piantone di Falerone irrigata secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). Dati riferiti al 23 settembre 2021. I valori rappresentano medie  $\pm$  deviazione standard.

Varietà	Regime di irrigazione	Frutti allegati per infiorescenza (n)	Percentuale fiori allegati (%)
Piantone di Falerone	Regime asciutto	0,32 $\pm$ 0,24	1,35 $\pm$ 1,03
	Regime medio	0,29 $\pm$ 0,22	1,22 $\pm$ 0,92
	Regime alto	0,36 $\pm$ 0,20	1,53 $\pm$ 0,84

Nel grafico in Figura 10 sono inclusi i dati illustrati nelle tabelle precedenti (Tabella 2; Tabella 3). Esso mostra una panoramica della variazione del numero di olive per infiorescenza osservata durante la stagione.



**Figura 10** Variazione del n. di olive per infiorescenza dal periodo di ingrossamento dell'ovario al periodo di allegazione della cv. Piantone di Falerone irrigata secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). I valori rappresentano medie  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano medie diverse con un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

I valori in Tabella 4 sono stati ottenuti da rilievi effettuati nel periodo che va dal 12 giugno 2021, fino al 12 ottobre 2021. Tali valori mostrano il numero di nuovi nodi osservati su rami con e senza produzione, dal momento dell'irrigazione. In generale, è possibile osservare che, rami produttivi appartenenti a piante trattate a regime di irrigazione alto presentano un numero maggiore di nuovi nodi rispetto a quelli di piante sottoposte a regime medio e a regime asciutto. In particolare, si assiste ad un aumento di poco più del 50% del numero di nuovi nodi relativi a piante trattate a regime alto rispetto ai nuovi nodi osservati su piante a regime asciutto.

Tali risultati sono significativi dal punto di vista statistico, livello di significatività  $P \leq 0,05$ . Tale risultato statistico è indicato in tabella (Tabella 4) mediante lettere minuscole (b,ab, a).

Anche per quanto riguarda i rami vegetativi, quindi senza olive, è stato rilevato un numero maggiore di nodi a livello di piante irrigate a regime alto, seguite, anche in questo caso, da piante irrigate a regime medio ed infine, da piante a regime asciutto. In questo caso, i valori ottenuti non mostrano differenze statisticamente significative .

*Tabella 4 N° nodi nuovi formati in rami con e senza produzione su cv. Piantone di Falerone secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). I valori rappresentano medie  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$*

<b>Varietà</b>	<b>Regime di irrigazione</b>	<b>Nodi nuovi rami produttivi (n°)</b>	<b>Nodi nuovi rami non produttivi (n°)</b>
<b>Piantone di Falerone</b>	Regime asciutto	0,75 $\pm$ 0,71 b	2,11 $\pm$ 1,27
	Regime medio	1,28 $\pm$ 1,17 ab	2,28 $\pm$ 1,90
	Regime alto	1,48 $\pm$ 0,96 a	2,33 $\pm$ 2,29

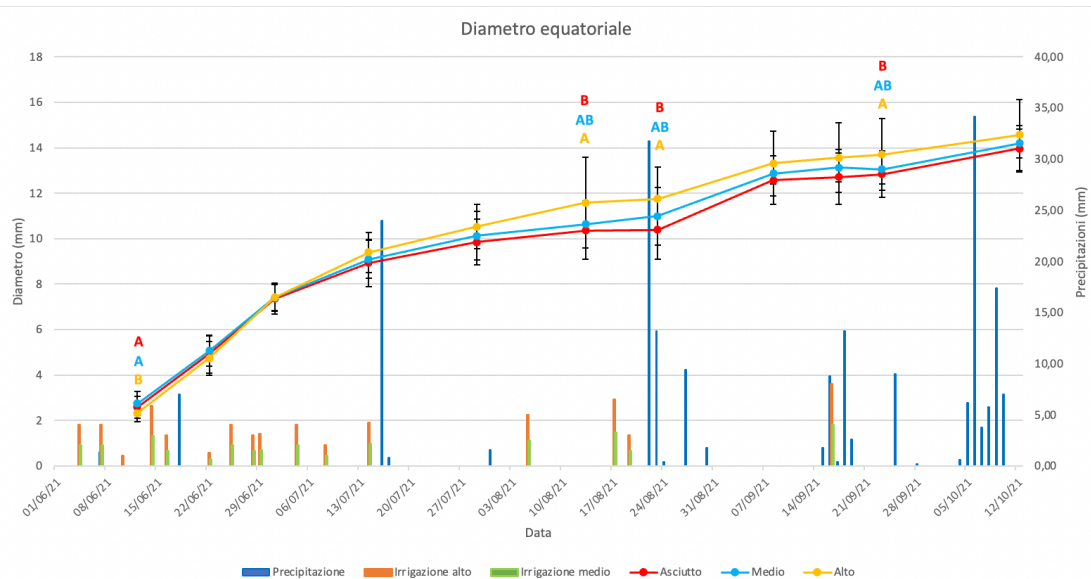
## 7.2 Accrescimento del frutto

Il grafico (fig. 11) mostra l'andamento del diametro equatoriale misurato in un periodo che va dal 12 giugno 2021 al 12 ottobre 2021. È possibile notare che, nel primo rilievo effettuato i frutti a mostrare un diametro equatoriale maggiore sono quelli di piante coltivate a regime asciutto, seguiti da quelli di piante coltivate a regime irriguo intermedio e alto. Si tratta di un risultato statisticamente significativo ( $P < 0,05$ ) pur se di limitata entità in valore assoluto.

Le curve mostrano un andamento costante nei rilievi successivi, fino al 13 agosto 2021 dove è possibile osservare un netto distacco della curva relativa al regime alto rispetto alle altre due (i dati mostrano un livello di significatività  $p \leq 0,05$ ). In particolare, la curva in azzurro (relativa al regime irriguo medio) si attesta tra quella indicata in giallo (relativa al regime irriguo alto) e quella in rosso (relativa al regime asciutto). Tali posizioni vengono così mantenute da metà luglio fino al 12 ottobre 2021, fine del periodo preso in esame.

Nel periodo compreso tra il 13 agosto e il 23 agosto, inoltre, è importante evidenziare un abbassamento della curva relativa al diametro dei frutti di piante irrigate a regime asciutto. Tale diminuzione non si osserva, invece, nelle altre due curve, la cui crescita, in questo periodo, subisce solo un arresto. Nel periodo immediatamente successivo a quello appena discusso si osserva una crescita di tutte e tre le curve, fino all'ultima decade di settembre, in cui si assiste nuovamente ad un calo delle curve relative al trattamento a regime irriguo medio e al trattamento asciutto. Tali risultati sono statisticamente significativi (livello di significatività  $P \leq 0,05$ ).

Dopo questa fase la crescita riprende per tutti i trattamenti e procede fino al 12 ottobre 2021 in maniera costante.

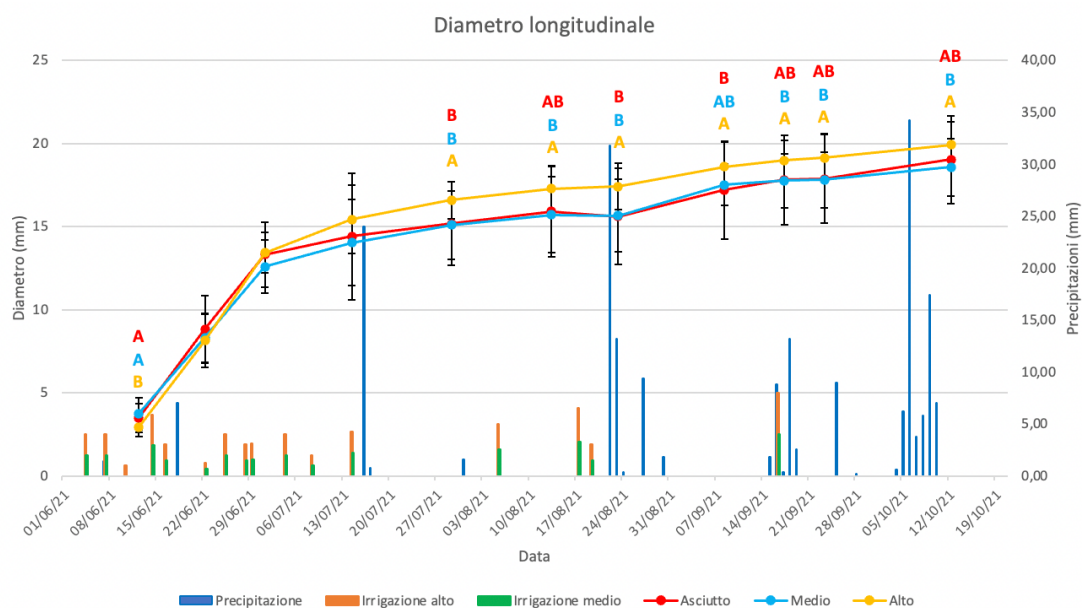


**Figura 11** Confronto dell'andamento del diametro equatoriale su frutti della cv. Piantone di Falerone irrigata secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). Le barre blu verticali indicano i livelli delle precipitazioni avvenute giornalmente. Le barre rosse e verdi indicano le irrigazioni effettuate. Media  $\pm$  deviazione standard per il diametro equatoriale. Irrigazioni e precipitazioni somma mm in 24h. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

Il grafico (fig. 12) mostra l'andamento del diametro longitudinale misurato in un periodo che va dal 12 giugno 2021 al 12 ottobre 2021. Le curve relative ai tre diversi trattamenti mostrano una forte crescita iniziale seguita da una crescita più lenta.

Innanzitutto, si può osservare che nel primo rilievo risulta maggiore il diametro longitudinale di frutti relativi al trattamento a regime asciutto. Risulta invece minore il diametro longitudinale dei frutti di piante irrigate a regime medio e alto, rispettivamente. Le differenze sono significative con livello di  $P < 0,05$ . A partire dal 14 luglio 2021 si osserva un netto e significativo ( $P < 0,05$ ) distacco a favore della curva relativa al trattamento a regime alto rispetto alle altre due che, in alcuni punti, risultano quasi coincidenti e, in generale, mostrano un andamento molto simile.

Il distacco della curva relativa al diametro longitudinale dei frutti di piante sottoposte a trattamento ad alto regime rispetto alle altre due, continua ad essere osservato per tutto il periodo preso in esame.



**Figura 12** Confronto dell'andamento del diametro longitudinale su frutti della cv. Piantone di Falerone irrigata secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). Le barre blu verticali indicano i livelli delle precipitazioni avvenute giornalmente. Le barre rosse e verdi indicano le irrigazioni effettuate. Media  $\pm$  deviazione standard per il diametro longitudinale. Irrigazioni e precipitazioni somma mm in 24h. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0.05$ .

La tabella 5 mostra i valori relativi al peso fresco e secco dei frutti, misurati in laboratorio tramite una bilancia elettronica di precisione. Il peso fresco espresso in grammi risulta maggiore per frutti provenienti da piante sottoposte a regime irriguo alto. Tale valore è seguito, in ordine decrescente, da quello relativo a frutti provenienti da piante irrigate a regime medio ed infine, da frutti ottenuti da piante sottoposte a regime asciutto. Si tratta di risultati statisticamente rilevanti poiché il livello di significatività risulta  $P \leq 0,05$ . Gli stessi risultati, anch'essi statisticamente significativi ( $P \leq 0,05$ ), sono stati ottenuti dall'analisi del peso secco.

Nell'ultima colonna della tabella 5 sono indicati i valori relativi all'acqua contenuta nell'intero frutto, espressi in percentuale. Tali percentuali indicano un maggior contenuto d'acqua in olive provenienti da piante sottoposte a trattamento irriguo ad alto regime, seguite da olive di piante a regime asciutto ed infine, da frutti di piante a regime medio. Si tratta di risultati significativi dal punto di vista statistico ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabella 5** Peso fresco frutto, peso secco frutto della cv. *Piantone di Falerone* secondo diversi regimi irrigui ad *Agugliano (AN)*. Media  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

Varietà	Regime di irrigazione	P.F. frutto (g)	P.S. frutto (g)	% acqua nell'oliva intera
<b>Piantone di Falerone</b>	Regime asciutto	2,53 $\pm$ 0,81 c	1,03 $\pm$ 0,34 b	59,4 $\pm$ 3,6 b
	Regime medio	2,83 $\pm$ 0,63 b	1,18 $\pm$ 0,26 a	58,2 $\pm$ 3,7 c
	Regime alto	3,02 $\pm$ 0,70 a	1,21 $\pm$ 0,33 a	60,0 $\pm$ 3,6 a

### 7.3 Scambi gassosi

Al fine di valutare le differenze tra i diversi trattamenti idrici, dal punto di vista degli scambi gassosi, sono stati misurati quattro diversi parametri ( $CO_2$  sottostomatica, traspirazione, conduttanza stomatica, fotosintesi netta) nella giornata del 29 luglio, in tre diverse fasce orarie (Figura 13).

Il grafico in alto a sinistra (a) mostra i livelli di  $CO_2$  sottostomatica ( $C_i$ ) rilevati in piante sottoposte ai tre diversi regimi irrigui, nelle tre diverse fasce orarie considerate. In particolare, si osserva, nella fascia oraria 8-9:30, un valore piuttosto elevato di  $C_i$  relativo alle piante sottoposte a regime asciutto. Tale valore tende ad abbassarsi nel corso della giornata. Per quanto riguarda, invece, il trattamento irriguo ad alto regime, nelle prime due fasce orarie considerate, si osservano valori più bassi rispetto a quelli osservati nelle piante sottoposte a regime asciutto. Tale valore si innalza nuovamente nell'ultima fascia oraria (17:20-18:00), rispetto a quello relativo a piante a regime irriguo asciutto. Valori rilevati a livello di piante sottoposte a regime irriguo medio risultano più elevati nella prima fascia oraria considerata e tendono ad abbassarsi gradualmente e lievemente nel corso della giornata.

Il grafico in alto a destra (b) offre una panoramica di come cambiano i livelli di traspirazione ( $E$ ) delle piante sottoposte a diversi trattamenti irrigui, nel corso della giornata. In generale, si può osservare che la fascia oraria in cui sono stati rilevati valori più alti di traspirazione è quella centrale della giornata, per tutti e tre i regimi idrici considerati, con  $E$  più alti osservati in piante sottoposte a regime irriguo asciutto e medio.

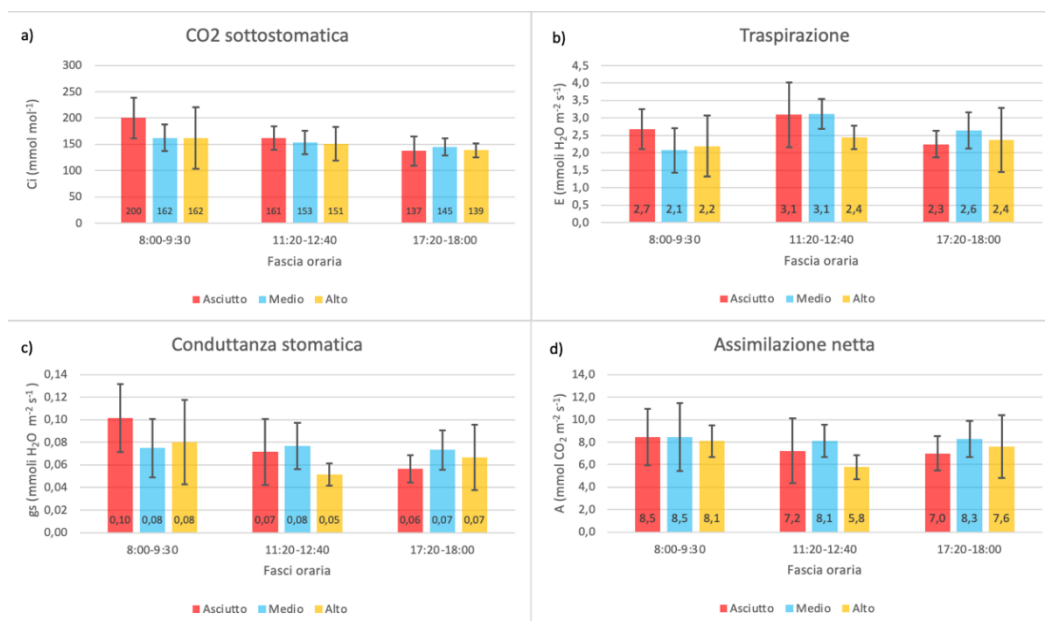
Nel grafico in basso a sinistra (c) sono rappresentati i dati relativi alla conduttanza stomatica ( $g_s$ ) rilevati per i tre diversi gruppi di piante studiate, nelle tre fasce orarie prese in esame. I valori di  $g_s$  più elevati si osservano in piante sottoposte a regime irriguo asciutto



durante la prima fascia oraria analizzata (8:00-9:30). Tale numero tende ad abbassarsi nel corso della giornata. Non sono state rilevate, invece, particolari differenze durante l'arco della giornata, per quanto riguarda la conduttanza stomatica di piante sottoposte a regime irriguo medio ed alto.

È importante sottolineare che, dal punto di vista statistico, tale analisi mostra una deviazione standard piuttosto elevata.

Il grafico in basso a destra (d) è relativo ai livelli di assimilazione netta (A) misurati per ciascun gruppo sperimentale di piante, in tre diverse fasce orarie della giornata. Nella prima fascia oraria presa in considerazione (8:00-9:30), i livelli di A rilevati risultano essere paragonabili per tutti e tre i regimi idrici studiati. Durante la giornata, si può osservare un leggero calo dei valori registrati a livello delle piante a regime irriguo asciutto, mentre, per quanto riguarda gli altri due regimi studiati non si osservano particolari variazioni.

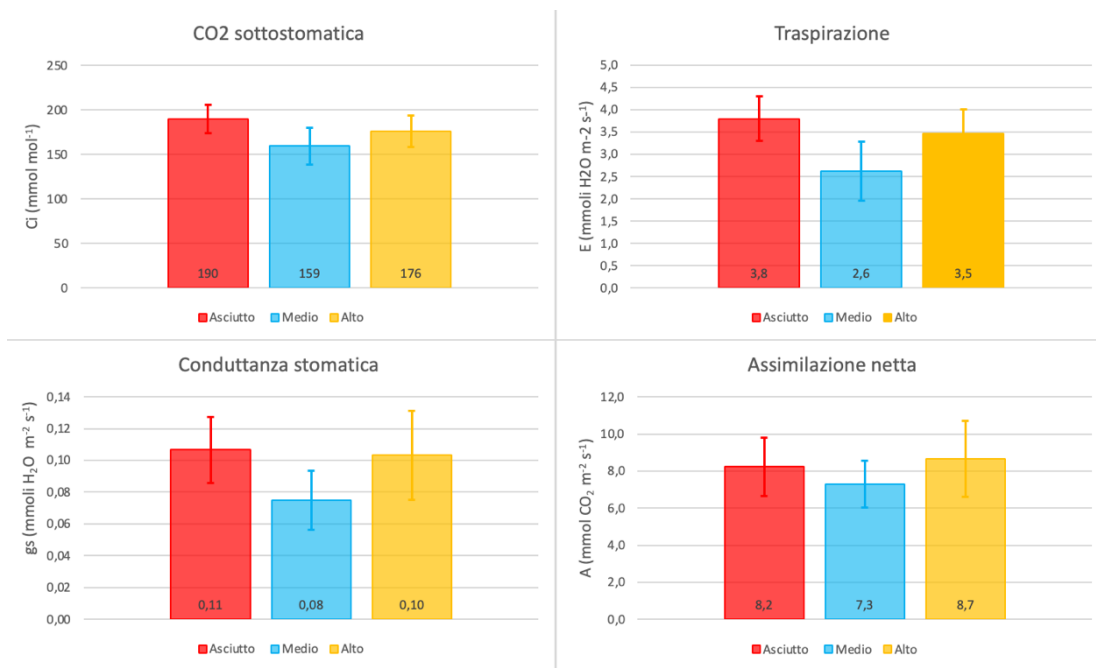


**Figura 13** CO<sub>2</sub> sottostomatica, traspirazione, conduttanza stomatica e assimilazione netta della cv. Piantone di Falerone secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). I dati sono stati raccolti il 29 luglio 2021 in tre diverse fasce orarie: 8:00-9:30; 11:20-12:40; 17:20-18:00. Media ± deviazione standard.

Nel grafico (fig.14) sono rappresentati i dati della misurazione degli scambi gassosi effettuata il 13 agosto tra le 12:00 e le 13:00. In alto a sinistra (a) sono rappresentati i valori di CO<sub>2</sub> sottostomatica misurati nei tre gruppi di piante considerati. Si può osservare che piante sottoposte a regime irriguo asciutto sono caratterizzate da un valore di Ci maggiore rispetto a quello misurato negli altri due gruppi. Tali dati risultano statisticamente significativi poiché è stato calcolato un valore di  $P \leq 0,05$ .

Nel grafico b) e nel grafico c) sono illustrati i valori relativi a due parametri strettamente correlati tra loro dal punto di vista fisiologico: traspirazione e conduttanza stomatica. Si può, infatti, osservare che un elevato livello di E corrisponde ad un livello, anch'esso elevato, di gs. E e gs sono maggiori per quanto riguarda il gruppo di piante sottoposte a regime irriguo asciutto.

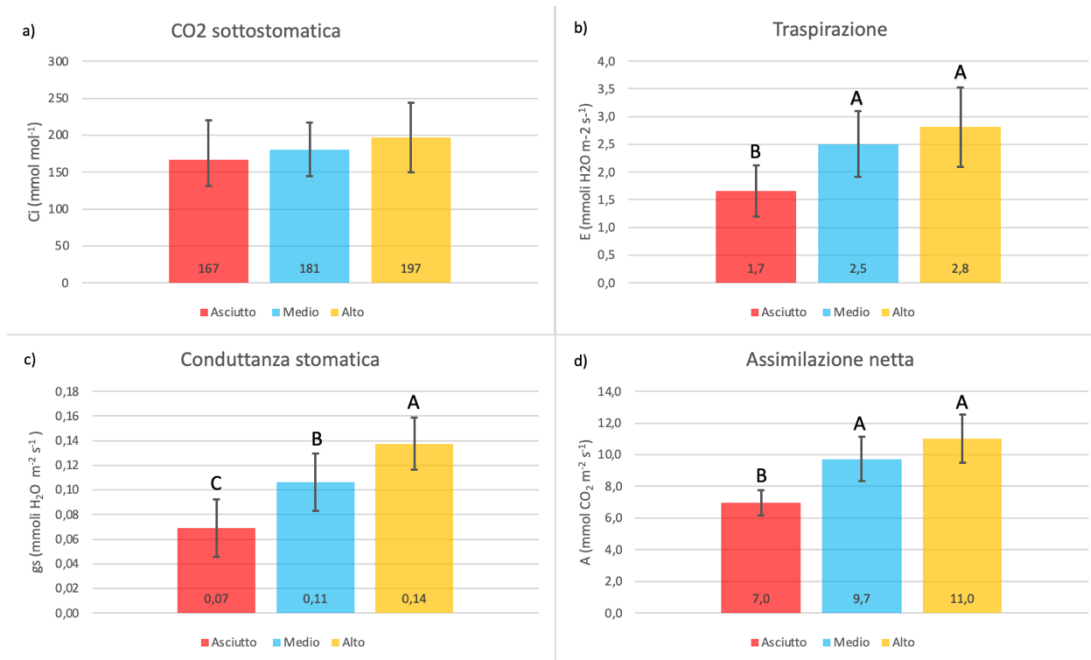
Il grafico in basso a destra (d) mostra i valori di assimilazione netta (A) osservati nei tre gruppi presi in esame. Si evidenzia un livello maggiore di A registrato in piante sottoposte a trattamento irriguo alto.



**Figura 14** CO<sub>2</sub> sottostomatica, traspirazione, conduttanza stomatica e assimilazione netta della cv. Piantone di Falerone secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). I dati sono stati raccolti il 13 agosto 2021 tra le 12:00 e le 13:00. Media  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

Nel grafico di figura 15 sono illustrati i risultati della misurazione degli scambi gassosi effettuata il 17 settembre tra le 12 e le 13. In figura 15-a è possibile osservare i valori relativi alla CO<sub>2</sub> sottostomatica registrati nei diversi gruppi sperimentali. Un valore maggiore di C<sub>i</sub> è stato misurato a livello di piante irrigate ad alto regime. Valori più bassi sono stati registrati nel gruppo irrigato a regime medio, seguiti dai valori osservati in piante sottoposte a regime irriguo asciutto.

Nei grafici b), c) e d) risulta evidente un aumento dei valori osservati all'aumentare del livello di irrigazione relativo ai tre gruppi di piante presi in esame. Tali risultati sono riconducibili alla correlazione esistente, dal punto di vista fisiologico, tra i tre diversi parametri misurati. Si tratta, inoltre, di risultati da considerare statisticamente significativi: essi mostrano, infatti, un livello di  $P \leq 0,05$ .



**Figura 15** CO<sub>2</sub> sottostomatica, traspirazione, conduttanza stomatica e assimilazione netta della cv. Piantone di Falerone secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). I dati sono stati raccolti il 17 settembre 2021 tra le 12:00 e le 13:00. Media  $\pm$  deviazione standard. Lettere differenti indicano un livello di significatività  $P \leq 0,05$ .

#### 7.4 Raccolta e analisi sensoriale

In tabella 6, sono contenuti i valori riferiti al parametro di resistenza al distacco, utile per stimare l'epoca di raccolta. Tali misurazioni, espresse in grammi, hanno permesso di determinare che i frutti di piante irrigate ad alto regime mostrano una resistenza al distacco significativamente maggiore rispetto a quelli di piante sottoposte a regime asciutto e a regime intermedio. Tutti i valori relativi alla resistenza al distacco hanno una significatività statistica, attestata dal valore di  $P \leq 0,05$ .

Inoltre, in tabella 6, è possibile osservare i valori, espressi in kg, relativi alla produzione media di olive per pianta, e la resa in olio, espressa in percentuale. La produzione ottenuta da piante sottoposte ad irrigazione ad alto regime risulta lievemente maggiore rispetto a quella relativa a piante irrigate a medio regime che, a sua volta, è più alta rispetto alla produzione evidenziata per piante sottoposte a regime asciutto.

Al contrario, le piante sottoposte a trattamento irriguo a medio regime hanno una resa in olio maggiore rispetto a quella di piante sottoposte ad irrigazione ad alto regime e rispetto a quella ottenuta da piante trattate a regime asciutto la cui resa è la più bassa.

*Tabella 6 Resistenza al distacco, produzione di olive per pianta, resa in olio della cv. Piantone di Falerone secondo diversi regimi irrigui ad Agugliano (AN). Media  $\pm$  deviazione standard.*

Varietà	Regime di irrigazione	Resistenza al distacco (g)	Produzione di olive per pianta (kg)	Resa in olio (%)
Piantone di Falerone	Regime asciutto	651 $\pm$ 154 b	4,31 $\pm$ 2,28	12%
	Regime medio	605 $\pm$ 167 b	4,94 $\pm$ 2,17	14,28%
	Regime alto	710 $\pm$ 164 a	4,99 $\pm$ 2,52	13,95%

La qualità dell'olio ottenuto da piante a diversi regimi idrici è stata valutata analizzando cinque diversi parametri, i cui valori ottenuti sono rappresentati in tabella 7.

Si può notare come tutti gli oli rientrano negli standard richiesti per la commercializzazione di olio extravergine, con piccole differenze tra i regimi irrigui, i perossidi per esempio aumentano con l'aumentare dei volumi irrigui, mentre i polifenoli diminuiscono.

*Tabella 7 Valutazione dei parametri qualitativi. I valori in tabella rappresentano i dati rilevati dalle analisi di laboratorio e i valori massimi consentiti dal Reg CEE 2568/91 per rientrare nella classe merceologica olio extravergine (dopo il segno ≤). Dati analizzati dal centro agrochimico regionale A.S.S.A.M.*

Varietà Piantone di Falerone	Regime asciutto	Regime medio	Regime alto
Acidi grassi liberi (g ac.oleico/100g)	0,23≤0,80	0,20≤0,80	0,21≤0,80
N° perossidi (meq. oss/kg)	7,7≤20,0	9,7≤20,0	13,8≤20,0
K232	1,90≤2,5	2,02≤2,5	2,27≤2,5
K270	0,15≤0,22	0,16≤0,22	0,15≤0,22
ΔK	0,001≤0,01	0,002≤0,01	0,003≤0,01
Polifenoli totali (mg/kg a. caffeico)	562	486	458

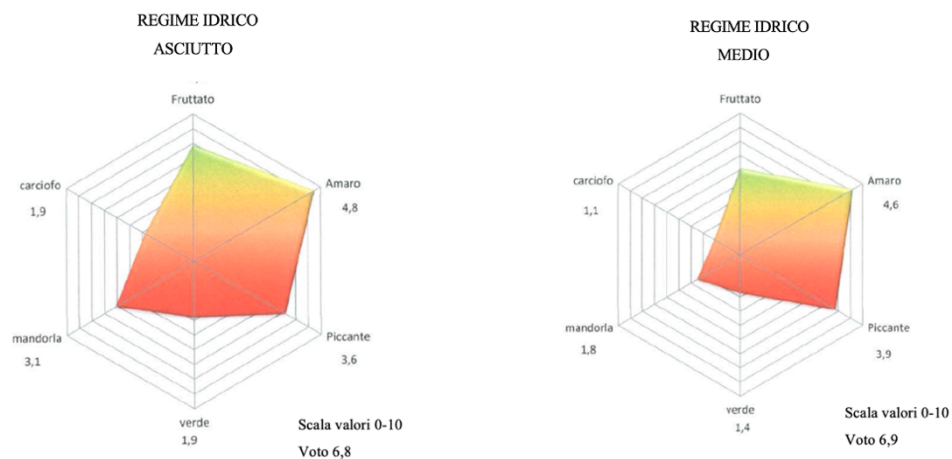
La tabella 8 mostra le caratteristiche organolettiche dei diversi tipi di olio provenienti da trattamenti irrigui differenti. Tali caratteristiche sono state suddivise in attributi positivi e attributi negativi. Per quanto riguarda gli attributi positivi, l'olio proveniente da un regime irriguo medio risulta il più fruttato e il più amaro, se paragonato agli altri tipi di olio. Invece, l'olio proveniente da piante a regime asciutto è stato valutato come il più piccante. Sia l'olio del trattamento a regime asciutto che l'olio del trattamento a medio regime non hanno mostrato caratteristiche negative.

*Tabella 8 Valutazione organolettica degli oli ottenuti dai vari trattamenti irrigui. Analisi sensoriale effettuata presso il centro agrochimico regionale A.S.S.A.M. (capo panel Barbara Alfei).*

Varietà Piantone di Falerone		Regime asciutto	Regime medio
<b>ATTRIBUTI POSITIVI</b>	Mediana fruttato	3,1	4
	Mediana amaro	4,6	4,8
	Mediana piccante	3,9	3,6
<b>ATTRIBUTI NEGATIVI</b>	Mediana riscaldo/morchia	0	0
	Mediana muffa/umidità/terra	0	0
	Mediana rancido	0	0
	Mediana fieno secco	0	0
	Mediana altri difetti	0	0
<b>Classe merceologica secondo Reg CEE 2568/91 e s.m.i.</b>		EXTRAVERGINE	EXTRAVERGINE

I grafici a radar in alto (Figura 16) mostrano graficamente i dati contenuti nella tabella 8. In base a questi valori, a ciascun tipo di olio extravergine è stato assegnato un voto in base 10.

In particolare, l'olio di piante a regime irriguo intermedio è stato valutato con un voto di 6,9 mentre all'olio di piante a regime asciutto è stato attribuito un voto di 6,8.



**Figura 16** Grafico radar che rappresenta l'analisi sensoriale degli oli ottenuti dal trattamento irriguo a regime asciutto e medio. Analisi sensoriale effettuata presso il centro agrochimico regionale A.S.S.A.M. (capo panel Barbara Alfei).

## Capitolo 8

# DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati relativi all'ingrossamento dell'ovario per infiorescenza, mostrati nel capitolo precedente in Tabella 1, hanno evidenziato come un apporto irriguo ad alto regime possa influenzare positivamente questo fenomeno. La nostra ipotesi sull'esistenza di tale correlazione è supportata dal fatto che il primo trattamento irriguo è stato effettuato in data 4 giugno 2021, 8 giorni prima del rilievo dei dati relativi all'ingrossamento dell'ovario.

L'allegagione rilevata il 23 settembre 2021, periodo in cui la cascola dei frutti sembrava essersi stabilizzata, non è risultata correlata al volume irriguo (Tabella 3).

Analisi effettuate su rami misti di un anno e rami vegetativi (Tabella 4) in crescita hanno permesso di evidenziare come la quantità d'acqua restituita alla pianta possa influenzare la crescita di nuovi nodi. In particolare, si può dedurre che un differente apporto irriguo non abbia particolari effetti sul numero di nuovi nodi rilevati a livello di rami vegetativi. Al contrario, ottimi risultati sono stati ottenuti dall'analisi di rami misti di un anno, in cui è stato osservato un raddoppio dei nodi nel regime irriguo alto rispetto a quello asciutto. Tale risultato è interessante perché dimostra che l'irrigazione può rappresentare un ottimo strumento per controllare il fenomeno dell'alternanza, tipico dell'olivo. L'irrigazione in deficit idrico può, infatti, aiutare a generare un buon compromesso tra l'attività vegetativa e quella riproduttiva dell'olivo. In base a questo principio, una buona strategia per limitare l'alternanza potrebbe essere quella di fornire un maggiore apporto irriguo all'olivo durante l'anno di carica per far sì che la porzione vegetativa del ramo misto non abbia limitazioni nella sua crescita, soprattutto nella fase iniziale, dovute ad una competizione dei frutti per i nutrienti. Tale accorgimento determinerà potenzialmente una maggiore produzione durante l'anno successivo, in quanto saranno presenti più nodi e quindi più punti di differenziazione a fiore. Durante l'anno di scarica, invece, per evitare un'eccessiva crescita vegetativa, che porterebbe di nuovo ad una carica eccessiva durante l'anno successivo, una buona strategia potrebbe essere quella di fornire un esiguo apporto idrico all'olivo. Questo accorgimento, oltre a determinare una limitazione dell'alternanza, consentirebbe un notevole risparmio di acqua.

L'effetto dell'irrigazione sulla crescita dei frutti è stato studiato misurando i valori relativi al diametro equatoriale e longitudinale delle olive raccolte (figura 11 e 12). In generale, è possibile dedurre che un apporto idrico più elevato determini la produzione di frutti caratterizzati da un diametro equatoriale e da un diametro longitudinale maggiori. Alcune fasi dell'analisi hanno, però, mostrato delle eccezioni rispetto a quanto appena affermato: nelle prime fasi di crescita del frutto è stato osservato che i frutti di piante sottoposte ad alto regime irriguo hanno un diametro sia equatoriale che longitudinale minore rispetto a frutti di piante appartenenti agli altri gruppi sperimentali. Per interpretare questo comportamento occorre tenere in considerazione un altro parametro, l'ingrossamento dell'ovario. Un'irrigazione ad alto regime corrisponde ad un numero maggiore di ovari ingrossati rispetto a quello osservato per gli altri due regimi idrici considerati. Probabilmente il numero di ovari ingrossati influisce sulla prima fase di crescita del frutto, ovvero la fase di divisione cellulare. Tale ipotesi potrebbe essere confermata dal fatto che le dimensioni dei frutti trattati ad alto regime irriguo aumentano nuovamente ad avvenuta cascola (Lavee, 1986; Rallo et al. 1994).

Le curve relative al diametro equatoriale e al diametro longitudinale mostrano un andamento simile in cui risulta evidente una leggera depressione registrata, in entrambe le curve, nella parte intermedia. Dalla letteratura, è noto che, in una tipica curva di crescita di frutti di piante sottoposte a stress idrico, tale depressione corrisponde alla fase di indurimento del nocciolo, in cui i processi di divisione cellulare subiscono un arresto (Lavee, 1986; Rallo e Cuevas, 2001).

Si può osservare, però, che condizioni più vicine a quelle irrigue (alto regime) determinano curve di crescita più lineari, in cui, anche la depressione precedentemente descritta risulta meno visibile rispetto a quella osservata nelle altre curve.

È noto che la fase che precede la depressione corrispondente alla fase di indurimento del nocciolo, è quella in cui avviene il processo di divisione cellulare. In tale fase si osserva un innalzamento maggiore della curva di crescita relativa al trattamento ad alto regime irriguo. Da questa osservazione si può dedurre che tra i fattori implicati nella maggiore crescita dei frutti di piante trattate ad alto regime irriguo, una maggiore divisione cellulare sia stata fondamentale (Beede e Goldhamer 1994).

La fase finale della curva corrisponde, invece, alla fase di espansione cellulare caratterizzata da un accumulo di acqua e olio nel mesocarpo (Rapoport, 1999), e in questo caso il regime idrico più elevato ha comportato un maggiore diametro (longitudinale ed equatoriale).



I risultati ottenuti in tabella 5, riguardanti il peso fresco del frutto, confermano il fatto che un apporto idrico maggiore abbia portato a frutti con peso maggiore. Infatti, i frutti di piante irrigate ad alto regime hanno ottenuto, in termini di peso fresco, risultati maggiori rispetto a regimi intermedio e asciutto. Così come per il peso fresco, anche il peso secco risulta più elevato per l'irriguo. Questa osservazione è indicativa del fatto che il frutto si trovava in uno stadio in cui le sue dimensioni non erano più influenzate unicamente dal contenuto in acqua, ma piuttosto da un accumulo di sostanza secca e olio.

I risultati ottenuti monitorando le dimensioni del frutto e infine il loro peso ci permettono, quindi, di affermare che l'irrigazione ha un'influenza non indifferente su questi parametri. Il che apre la strada a possibili applicazioni future che prevedono di esercitare un controllo sulla crescita dei frutti mediante l'irrigazione.

I risultati dell'analisi di quattro diversi parametri relativi agli scambi gassosi delle piante prese in considerazione (Figura 13), non hanno mostrato differenze significative tra i diversi regimi irrigui nelle due prime date di analisi, 29 luglio e 13 agosto, anche se è visibile una tendenza a valori maggiori di traspirazione per le piante in asciutta. I risultati ottenuti dall'analisi degli stessi quattro parametri, rilevati il 17 settembre 2021 (fig.15), ha condotto, invece, a conclusioni significative che ci permettono di formulare delle ipotesi su quanto i diversi regimi idrici possano influenzare tali parametri. Risulta, infatti, subito evidente che il gruppo a regime asciutto si trovi in una condizione di stress idrico. Tale evidenza è deducibile principalmente dai valori di conduttanza stomatica piuttosto bassi, indice di un elevato grado di chiusura degli stomi che si ripercuote inevitabilmente sui processi di fotosintesi e traspirazione, i cui valori risultano anch'essi più bassi rispetto a quelli osservati per gli altri due regimi idrici. Le piante sottoposte agli altri due regimi (medio ed alto) hanno, invece, mostrato buoni livelli di tali parametri e ciò indica che queste piante non si trovassero in condizioni di stress idrico. Si deduce che l'applicazione di un certo regime di irrigazione alle piante, seppur intermedio, sia sufficiente a consentire una buona funzionalità della pianta dal punto di vista fotosintetico. Tale risultato è particolarmente vantaggioso dal punto di vista della resa in olio: l'inolizione avviene, infatti, proprio durante il periodo in cui è stato effettuato questo rilievo.

I dati osservati in tabella 6 mostrano la produzione di olive per pianta e la resa in olio. Tali osservazioni hanno messo in evidenza come i diversi regimi idrici considerati non abbiano condotto a risultati molto discostanti tra loro, in termini di quantità di olive prodotte per pianta. Il dato interessante è quello relativo alla resa in olio, che indica come una restituzione d'acqua a medio regime abbia reso possibile il raggiungimento del livello più alto di produzione. Questa informazione ci lascia ipotizzare che durante la fase di inolizione, potrebbe essere

sufficiente fornire acqua a regime intermedio per ottenere il miglior risultato produttivo, oltre a consentire un notevole risparmio d'acqua.

Da una valutazione qualitativa dell'olio (tabella 7), invece, è stato possibile osservare come i parametri relativi ad acidità libera e agli indici spettrofotometrici non subiscano particolari variazioni in base ai diversi regimi idrici. Al contrario, l'olio ottenuto da piante irrigate ad alto regime ha mostrato un numero di perossidi più elevato rispetto agli altri.

In letteratura, esistono numerosi studi discordanti sulla probabile influenza dell'irrigazione su questi parametri (Tovar et al., 2002; Berenguer et al., 2006; Stefanoudaki et al. 2009; Caruso et al. 2013). Ciò determina solo una parziale conferma del presente studio.

La minore disponibilità d'acqua sembra, invece, aver influenzato il contenuto in polifenoli totali aumentandone la concentrazione per il trattamento a regime asciutto. A conferma di questo risultato troviamo in letteratura gli studi di Caruso et al. (2013), Garcia et al., (2013) e Servili et al., (2007). L'effetto dell'irrigazione sul contenuto in polifenoli trova una delle sue spiegazioni nello studio di Tovar et al. (2002) che identificano la causa di una loro ridotta concentrazione in una diluizione delle componenti idrosolubili durante la fase di estrazione del processo di trasformazione dell'olio.

Un'ultima valutazione è stata quella relativa alle caratteristiche organolettiche dell'olio, effettuata mediante un'analisi sensoriale. Da questa analisi è evidente che gli oli provenienti dai trattamenti a regime asciutto e medio non mostrano attributi negativi. Per quanto riguarda, invece, l'olio proveniente da trattamento a regime alto, esso non ha mostrato grandi differenze qualitative rispetto all'olio ottenuto da regimi irrigui di media dose.

L'analisi sensoriale ha, infine, permesso di valutare gli oli ottenuti dai diversi trattamenti irrigui, dal punto di vista qualitativo. In particolare, l'olio del trattamento a medio regime è stato valutato come fruttato medio, di tipo erbaceo, con sentori di mandorla e carciofo, note di piccante di intensità medio-leggera e amaro medio. A tale olio è stato attribuito un voto di 6,9 in base dieci ed è stato, quindi, classificato come extravergine.

L'olio ottenuto da piante sottoposte a regime asciutto è stato, invece, descritto, dal punto di vista sensoriale, come fruttato medio-leggero, di tipo verde, con sentori di mandorla e carciofo, note di piccante di intensità medio-leggera e amaro medio. A tale olio è stato attribuito un voto di 6,8 ed è stato anch'esso classificato come olio extravergine.

In conclusione, il presente studio ha condotto a risultati interessanti per l'applicazione e la gestione dell'irrigazione in un oliveto ad alta densità della cultivar Piantone di Falerone nella regione Marche. Dallo studio è emerso che l'applicazione di un deficit idrico controllato determina effetti positivi in diversi stadi della crescita del frutto fino alla produzione finale di

olio. Si è osservata, inoltre, una buona crescita vegetativa dei rami misti, osservazione che può risultare utile nella limitazione del fenomeno dell'alternanza, tipico dell'olivo. In particolare, si può concludere che, nella regione Marche, sono sufficienti tra i 400-600 m<sup>3</sup> di acqua per un'ottima efficienza produttiva, razionalizzando, allo stesso tempo, l'utilizzo dell'acqua irrigua.

## Capitolo 9 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2010). L'ulivo e l'olio, coordinamento scientifico di Michele Pisante, Paolo Inglese, Giovanni Lercker. Collana Coltura&cultura, ideata e coordinata da R. Angelini, Bayer CropScience, Ed. Script, Bologna.
- Alegre, S., Maesal, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J., Tovar, M.J. (2002). Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) for oil production. *Acta Horticulturae*, 586, 259–262.
- Androulakis, I. I., and Loupassaki, M. H. (1990). Studies on the self-fertility of some olive cultivars in the area of Crete. *Acta Hortic.* 286, 159–162. doi: 10.17660/ActaHortic.1990.286.30
- Angelopoulos K., Dichio B., Xiloyannis C., 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *J. Exper. Bot.* 47: 1093-1100.
- Angiolillo A., Mencuccini M., and Baldoni L., (1999). Olive genetic diversity assessed using amplified fragment length polymorphisms. *Theoretical and Applied Genetics*, 98: 411-421.
- Ateyyeh, A., Stosser, R., and Qrunfleh, M. (2000). Reproductive biology of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar “Nabali Beladi”. *J. Appl. Bot.* 270, 255–270.
- Ayerza, R., and Coates, W. (2004). Supplemental pollination—increasing olive (*Olea europaea*) yields in hot, arid environments. *Exp. Agric.* 40, 481–491. doi: 10.1017/S0014479704002133
- Baldini. 1986. Arboricoltura generale. Ed. Clueb, Bologna.
- Barone E, Di Marco L- Morfologia e ciclo di sviluppo. Dipartimento di Colture Arboree (2003) Fiorino/p.012-035/cap02
- Beede, R.H., Goldhamer, D.A. (1994). Olive irrigation management. In ‘Olive production manual’. University of California, Oakland, California, USA, Pub. 3353.

- Ben Dhiab, A., Ben Mimoun, M., Oteros, J., Garcia-Mozo, H., Domínguez-Vilches, E., Galán, C., et al. (2017). Modellazione della previsione olivicola in Tunisia. *Teor. appl. Climato.* 128, 541–549. doi: 10.1007/s00704-015-1726-1
- Berenguer, M.J., Vossen, P.M., Grattan, S.R., Connell, J.H., Polito, V.S. (2006). Tree irrigation level for optimum chemical and sensory propoerties of olive oil. *HortScience*, 41, 427–432.
- Besnard G, Rubio de Casas R, Christin P-A, Vargas P. Phylogenetics of *Olea* (Oleaceae) based on plastid and nuclear ribosomal DNA sequences: Tertiary climatic shifts and lineage differentiation times. *Ann Bot.* 2009; 104:143–60.
- Bongi G., Palliotti A., 1994. Olive. In: *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. vol. I: Temperate Crops (a cura di B. Schaffer e P.C. Andersen). CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 165-177.
- Breton, C. M., Farinelli, D., Koubouris, G., and Bervillé, A. (2016). A model based on S-allele dominance relationships to explain pseudo self-fertility of varieties in the olive tree. *Euphytica* 210, 105–117. doi: 10.1007/s10681-016-1708-0
- Breton, C. M., Farinelli, D., Shafiq, S., Heslop-Harrison, J. S., Sedgley, M., and Bervillé, A. J. (2014). The self-incompatibility mating system of the olive (*Olea europaea* L.) functions with dominance between S-alleles. *Tree Genet. Genomes* 10, 1055–1067. doi: 10.1007/s11295-014-0742-0
- Caruso, G., Rapoport, H.F., Gucci, R. (2013). Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrig Sci* 31: 37-47.
- Celano G., B. Dichio, G. Montanaro, V. Nuzzo, A.M. Palese and C. Xiloyannis. (1999) Distribution of dry matter and amount of mineral elements in irrigated and non-irrigated olive trees. *Acta Horticulturae* 474: 381-384.
- Chartzoulakis K., Patakas A., Bosabalidis A.M., 1999. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Env. Exp. Botany* 42: 113-120.
- Conner, D. J. and E. Fereres. 2005. 'The physiology of adaptation and yield expression in olive'. *Horticultural Reviews*, 31: 155-229.

- Costagli G., Gucci R., Rapoport H.F. (2003). Growth and development of fruits of olive ‘Frantoio’ under irrigated and rainfed conditions. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78, 119–124.
- Cuevas, J. (2005). “Incompatibilidad polen-pistilo” in *Las variedades de olivo cultivadas en España (libro II: variabilidad y selección)*. ed. L. Rallo (Sevilla: Junta de Andalucía, Mundi-Prensa y COI).
- Cuevas, J., Rallo, L., and Rapoport, H. (1994). Initial fruit set at high temperature in olive, *Olea europaea* L. *J. Hort. Sci.* 69, 665–672. doi: 10.1080/14620316.1994.11516498
- Díaz, A., Martín, A., Rallo, P., Barranco, D., and de la Rosa, R. (2006). Self-incompatibility of Arbequina and Picual olive assessed by SSR markers. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 131, 250–255. doi: 10.21273/JASHS.131.2.250
- Fabbri A., Bartolini G., Lombardi M. and Kailis S.G.. (2004). Olive Propagation Manual. Landlinks, Collingwood, Vic.
- Falisticco E, Tosti N -Indagine citogenetica in *Olea europaea* L. *Giornale di genetica e allevamento* (1996) 3:235-238
- FAO 1999: olive germplasm: cultivar and world-wide collection Fernández J. E., e Moreno F., 1999. Water use by olive tree. *Journal of Crop Production*. pp. 101-162.
- Farinelli, D., Breton, C., Koubouris, G., Famiani, F., Villemur, P., and Bervillé, A. (2018). Reply to Saumitou-Laprade et al. (2017) “controlling for genetic identity of varieties, pollen contamination and stigma receptivity is essential to characterize the self-incompatibility system of *Olea europaea* L”. *Evol. Appl.* 11, 1465–1470. doi: 10.1111/eva.12633.
- Fernández-Escobar, R. and G. Gómez-Valledor. (1985). Cross-pollination in ‘Gordal Sevillana’ olives. *HortScience* 20(2): 191-192.
- Ferrara, E., Lorusso, G., and Lamparelli, F., 1999: a study of floral biology and the technological features of seven olive cultivars of figgerent origins. *Acta Hort.* 474, 279-283
- García, J. M., Cuevas, M. V., Fernández, J. E. (2013). Production and oil quality in ‘Arbequina’ olive (*Olea europaea*, L.) trees under two deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, 31(3), pp. 359-370.

- Girona i Gomis J., 2001. Strategie di deficit irriguo controllato. Atti del Corso Internazionale “Gestione dell’acqua e del territorio per un’olivicultura sostenibile” – Napoli, 24-28 Settembre, pp. 138-148.
- Godini A., Camposeo S. e Scavo V. 2006. Gli aspetti agronomici dell’olivicultura superintensiva. *L’Informatore Agrario*. 1:65-67.
- Goldhamer, D.A., Dunai, J., Ferguson, L. (1993). Water use requirements of Manzanillo olives and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Hort.* 474:369-372.
- Griggs, W., Hartmann, H., Bradley, M., Iwakiri, B., and Whisler, J. (1975). Olive pollination in California. *Calif. Agric. Exp. Station. Bull.* 869, 1–50.
- Gucci R., (2001). Relazioni idriche dell’olivo. Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico, Napoli 24-28 settembre 2001, pp. 60-64.
- Gucci, R., Costagli, G., Rapoport, H.F. (2002). L’effetto del periodo di deficit idrico sullo sviluppo del frutto di olivo. Atti delle VI Giornate Scientifiche SOI, Spoleto 23-25 aprile 2002.
- Gucci, R., Lodolini, E.M., Rapoport, H.F. (2007). Productivity of olive trees with different water status and crop load. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 82:648–656.
- Gucci, R., Lodolini, E.M., Rapoport, H.F. (2009). Water deficit-induced changes in mesocarp cellular processes and the relationship between mesocarp and endocarp during olive fruit development. *Tree Physiol* 29:1575–1585.
- Gucci, R.(2006). Implications of water relations on irrigation management of olive trees.
- Haberman, A., Bakhshian, O., Cerezo-Medina, S., Paltiel, J., Adler, C., Ben-Ari, G., et al. (2017). A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. *Plant Cell Environ.* 40, 1263–1280. doi: 10.1111/pce.12922
- Iannotta, N., Bati, C.B., Perri, L., and Tocci, C., 1999: Interfertility tests using different pollinizers for the “Carolea” cultivar (*Olea Europaea* L.). *Acta Hort.* 474, 237-239
- Inglese, P., Barone, E., Gullo, G. (1996). The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv. Carolea. *Journal of Horticultural Science*, 71, 257–263.
- Inglese, P., Gullo, G., Pace, L.S. (1999). Summer drought effects on fruit growth, ripening and accumulation and composition of ‘Carolea’ olive oil. *Acta Hort.* 474:269-273.

- Johnson LA. Una rassegna della famiglia delle Oleaceae . Contributi dell'erbario nazionale del New South Wales. 1957; 2 :397–418
- Kasasbeh, M. F. A., Ateyyeh, A. F., and Qrunfleh, M. M. (2005). A study on self- and cross-pollination of three olive cultivars in Jordan. *Agric. Sci.* 32, 222–228.
- Kassa, A., Konrad, H. e Geburek, T. (2019). Diversità molecolare e flusso genico all'interno e tra diverse sottospecie di olivo selvatico (*Olea europaea* L.): una rassegna. *Flora* 250, 18–26. doi: 10.1016/j.flora.2018.11.014
- Khosravi, Arash, Matteo Zucchini, Veronica Giorgi, Adriano Mancini, and Davide Neri. 2021. "Continuous Monitoring of Olive Fruit Growth by Automatic Extensimeter in Response to Vapor Pressure Deficit from Pit Hardening to Harvest" *Horticulturae* 7, no. 10: 349. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100349>
- Koubouris, G. C., Breton, C. M., Metzidakis, I. T., and Vasilakakis, M. D. (2014). Self-incompatibility and pollination relationships for four Greek olive cultivars. *Sci. Hortic.* 176, 91–96. doi: 10.1016/j.scienta.2014.06.043
- Koubouris, G. C., Metzidakis, I. T., and Vasilakakis, M. D. (2009). Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. *Environ. Exp. Bot.* 67, 209–214. doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.06.002
- Lavee, S. (1986). Olive. In: Handbook of Fruit Set and Development, (a cura di Monselise, S. P.). CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA, pp. 261-76.
- Lavee, S. 1996. 'Biology and physiology of the olive', p. 59-110. In: IOOC (Ed.). World Olive Encyclopaedia. International Olive Oil Council, Madrid, Spain.
- Lavee, S., Nashef, M., Wodner, M., Harshemesh, H. (1990). The effect of complementary irrigation added to old olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Souri' on fruit characteristics, yield and oil production. *Advances in Horticultural Science*, 4, 135–138.
- Lavee, S., Wodner, M. (2004). The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea*) cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae*, 99, 267–277
- Leva, A.C. (1977). Influenza dello stato nutritivo sul numero degli stomi nelle foglie di olivo. *Rivista della Ortoflorofrutticoltura Italiana* 61: 405-408.



- Lewis, D. (1942). The physiology of incompatibility in plants. The effect of temperature. *Proceeding of the Royal Society*, 131, 13-26
- Lo Gullo M.A. Salleo S., (1990). Wood anatomy of some trees with diffuse and ring porous wood: some functional and ecological interpretation. *Giornale Botanico Italiano* 124: 601-613.
- Lo Gullo M.A., Salleo S., 1988. Different strategies of drought resistance in three Mediterranean sclerophyllous trees growing in the same environmental conditions. *New Phytol.* 108: 267-76.
- Lodolini EM, Polverigiani S, Sirugo M., Neri D. 2018. Damage to several olive cultivars by two over-the-row harvesters in high-density orchards. *Acta Horticulturae* 1199 415-420
- Lodolini EM, Polverigiani S., Grasselli, Neri D. 2018. Pruning management in a high-density olive orchard in central Italy. *Acta Horticulturae* 1199 385-390.
- Lodolini E. M., Neri D. in *Acta Horticulturae* 949- 191-198 (2012) How growth and reproduction cycles affect alternate bearing in Olive.
- Lodolini EM, S. Polverigiani, S. Ali, M. Mutawea, M. Qutub, F. Pierini, D. Neri. 2016. Effect of complementary irrigation on yield components and alternate bearing of a traditional olive orchard in semi-arid conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(2), e1102, 10 pages (2016) eISSN: 2171-9292 <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016142-8834WOS:000382568100023>
- Lodolini EM, Ali S, Mutawea M, Qutub M, Arabasi T, Pierini F, Neri D., 2014. Complementary irrigation for sustainable production in olive groves in Palestine. *Agricultural Water Management*, 134: 104-109. WOS:000331416100011
- Loupassaki, M., Perica, S., Androulakis, I., (1993). Seasonal changes in the olive fruit and the effects of Summer-applied nitrogen and potassium. *Adv. Hort. Sci.* 7: 65-68.
- Loureiro J, Rodriguez E, Costa A, Santos C- Nuclear DNA content estimations in wild olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea* var. *sylvestris* Brot.) and Portuguese cultivars of *O. europaea* using flow cytometry. *Genetic Resources and Crop Evolution* (2007) 54:21-25
- Lumaret R, Ouazzani N. *Genetica vegetale. Antichi ulivi selvatici nelle foreste mediterranee. Natura.* 2001; **413** :700

- Manrique, T. Pautas y procesos celulares en el crecimiento de la aceituna. Tesis de Master. Universidad de Córdoba, 1997, 95 p.
- Manrique, T., Rapoport, H.F. (1999). Crecimiento del mesocarpo en seis variedades de aceituna. VIII Congreso Nacional de Ciencia Hortícolas. Murcia, Abril, 126-131.
- Marchese, A., Marra, F. P., Caruso, T., Mhelembe, K., Costa, F., Fretto, S., et al. (2016a). The first high-density sequence characterized SNP-based linkage map of olive (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) developed using genotyping by sequencing. *Aust. J. Crop. Sci.* 10, 857–863. doi: 10.21475/ajcs.2016.10.06.p7520
- Marchese, A., Marra, F. P., Costa, F., Quartararo, A., Fretto, S., and Caruso, T. (2016b). An investigation of the self- and inter-incompatibility of the olive cultivars “Arbequina” and “Koroneiki” in the Mediterranean climate of Sicily. *Aust. J. Crop. Sci.* 10, 88–93. doi: 10.1016/j.ccc.2010.06.004
- Martin, G. C., L. Ferguson and G. S. Sibbett. 2005. 'Flowering, pollination, fruiting, alternate bearing, and abscission', p. 49-54. In: Sibbett, G.S., Ferguson, L., Coviello, J.L., and Lindstrand, M. (Eds.). Olive Production Manual. University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, California.
- Mookerjee, S., Guerin, J., Collins, G., Ford, C., and Sedgley, M. (2005). Paternity analysis using microsatellite markers to identify pollen donors in an olive grove. *Theor. Appl. Genet.* 111, 1174–1182. doi: 10.1007/s00122-005-0049-5
- Moriana A., Orgaz F., Pastor M., Fereres E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128: 425-31.
- Moriana A., Villalobos E.J., Fereres E., 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell Envir.* 25: 395-405.
- Moutier, N. (2002). Self-fertility and inter-compatibilities of sixteen olive varieties. *Acta Hort.* 586, 209–212. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.586.38
- Mulas M- *Olea europaea* L. var *sylvestris*. In: Cervelli C Le specie arbustive della macchia (2005)
- Neri D., Massetani F., Giorgi V. – La potatura. Edagricole (2009) Capitolo l'olivo.

- Orlandi, F., Sgromo, C., Bonofiglio, T., Ruga, L., Romano, B., and Fornaciari, M. (2010). Spring influences on olive flowering and threshold temperatures related to reproductive structure formation. *HortScience* 45, 1052–1057. doi: 10.21273/hortsci.45.7.1052
- Rallo L., Cuevas J., (2001). Fructification y producción. In “El cultivo del olivo”, Ch. 5 (Barranco D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L.). Coed. Mundi-Prensa, Junta de Andalucía. Pp: 35-60.
- Rallo L., Fernández-Escobar, R., (1985). Influence of cultivar and flower thinnig within the inflorescence on competition among olive fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(2): 303-308.
- Rallo morillo, P. El papel de los procesos celulares en el crecimiento del fruto en cinco cultivares de olivo (*Olea europaea* L.). Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba, 1994, 105 p.
- Rapoport, H. F. Botánica y morfología. En: BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., RALLO, L. *El cultivo del olivo*. 3ª ed. Madrid: Junta de Andalucía y Ed. Mundi-Prensa, 1999, pp. 35-60.
- Rapoport, H. F., Costagli, G., Gucci, R. (2004). The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1), pp. 121-127
- Reale S., Doveri S., Diaz A., Angiolillo A., Lucentini L., Pilla F., Marin A., Donini P., and Lee D., (2006). SNP-based markers for discriminatine olive (*Olea europea* L.) cultivars. *Genome*, 49: 1193-1205
- Rohwer JG. Die Frucht- und Samenstrukturen der Oleaceae . *Bibliotheca Botanica*. 1996; 148 :1–177
- Salleo S., Nardini A., (1999). Ecofisiologia di *Olea europaea* Hoffm. Et Link: verso un modello predittivo dell’adattamento all’aridità. *Olivo&Olio* 2: 70-79.
- Samish R.H., Spiegel P., (1961). The use of irrigation in growing olives for oil production. *The Israel Journal of Agricultural Research* 11(2): 87-95.
- Sánchez-Estrada, A., and Cuevas, J. (2018). ‘Arbequina’ olive is self-incompatible. *Sci. Hortic.* 230, 50–55. doi: 10.1016/j.scienta.2017.11.018

- Saumitou-Laprade, P., Vernet, P., Vekemans, X., Billiard, S., Gallina, S., Essalouh, L., et al. (2017a). Elucidation of the genetic architecture of self-incompatibility in olive: evolutionary consequences and perspectives for orchard management. *Evol. Appl.* 10, 867–880. doi: 10.1111/eva.12457
- Seifi, E., Guerin, J., Kaiser, B., and Sedgley, M. (2011). Sexual compatibility and floral biology of some olive cultivars. *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.* 39, 141–151. doi: 10.1080/01140671.2011.560165
- Selak, G. V., Cuevas, J., Goreta Ban, S., Pinillos, V., Dumicic, G., and Perica, S. (2014b). The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in “Oblica” olive (*Olea europaea*) cultivar. *Ann. Appl. Biol.* 164, 85–94. doi: 10.1111/aab.12082
- Selak, G. V., Perica, S., Goreta Ban, S., and Poljak, M. (2013). The effect of temperature and genotype on pollen performance in olive (*Olea europaea* L.). *Sci. Hortic.* 156, 38–46. doi: 10.1016/j.scienta.2013.03.029
- Selak, G., Perica, S., Ban, S. G., Radunic, M., and Poljak, M. (2011). Reproductive success after self-pollination and cross-pollination of olive cultivars in Croatia. *HortScience* 46, 186–191. doi: 10.21273/hortsci.46.2.186
- Servili, M., Esposto, S., Lodolini, E.M., Selvaggini, R., Taticchi, A., Urbani, S., Montedoro, G.F., Serravalle, M., Gucci, R. (2007). Irrigation effects on quality, phenolic composition and selected volatiles of virgin olive oil cv. Leccino. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6609-6618.
- Sibbett, G. S. and J. Osgood. 2005. 'Site selection and preparation, tree spacing and design, planting, and initial training'. p. 49-54. In: Sibbett, G.S., Ferguson, L., Coviello, J.L., and Lindstrand, M. (eds.). Olive Production Manual. University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, California
- Spiegel P., (1955). The water requirement of the olive tree, critical periods of misture stress and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. XIVth Intrnational Horticultural Congress. Netherlands. H. Veenman & Zonen (Wageningen-Netherlands) Publishers: 1363-1373.
- Stefanouadaki, E., Williams, M., Chartzoulakis, K., & Harwood, J. (2009). Effect of irrigation on quality attributes of olive oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(15), pp. 7048-7055.

- Suárez, C., Castro, A. J., Rapoport, H. F., and Rodríguez-García, M. I. (2012). Morphological, histological and ultrastructural changes in the olive pistil during flowering. *Sex. Plant Reprod.* 25, 133–146. doi: 10.1007/s00497-012-0186-3
- Taslimpour, M. R., and Aslmoshtaghi, E. (2013). Study of self-incompatibility in some Iranian olive cultivars. *Crop Breed. J.* 3, 123–127. doi: 10.22092/CBJ.2012.100458
- Tognetti R., Costagli G., Minocci A., Gucci R., 2002. Stomatal behaviour and water use efficiency in two cultivars of *Olea europaea* L. *Agric. Medit.* 132: 90-97.
- Tombesi A. 2006. Planting systems, canopy management and mechanical harvesting. Second Interational Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala:307-316.
- Tombesi A., (2003). Biologia florale e di fruttificazione, pp. 35-53. In Fiorino P. (ed.), *Olea. Trattato di olivicoltura*, Ed agricole, Bologna, pp. 461.
- Tombesi A., Farinelli D., Ruffolo M., Scatolini G. e Siena M. 2009. Un triennio di raccolta meccanica per promuovere l'olivicoltura in Umbria. *Acta Italus Hortus.* 1:26-30.
- Tombesi, A., P. Proietti and G. Nottiani. (1986). Effect of water stress on photosynthesis, transpiration, stomata resistance and carbohydrate level in olive trees. *Olea* 17: 35-40.
- Tous J., Romero A., Hermoso J.F. e Mallén N. 2007b. The hedgerow system for olive growing. *In Agricultura, Revista Agropecuaria*. Editorial Agrícola Espanola S.A., Madrid; Spain, pp 360-367.
- Tovar, M. J., Romero, M. P., Alegre, S., Girona, J., Motilva, M. J. (2002). Composition and organoleptic characteristics of oil from Arbequina olive (*Olea europaea* L) trees under deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(15), pp. 1755-1763.
- Trentacoste, E. R., Puertas, C. M., Sadras, V. O. (2010). Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). *European journal of agronomy*, 32(4), pp. 249-254.
- Wallander E, Albert VA. Phylogeny and classification of Oleaceae based on rps16 and trnL-F sequence data. *American Journal of Botany.* 2000;87:1827–1841
- Williams, R. R. (1970). Factors affecting pollination in fruit trees. In *Physiology of tree crops*. (Luckwill, L. C. and Cutting, C. V., Eds). Academic Press, New York and London, 193-208.

- Wu, S.-B., Collins, G., and Sedgley, M. (2002). Sexual compatibility within and between olive cultivars. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 77, 665–673. doi:10.1080/14620316.2002.11511554
- Xiloyannis C., Dichio B., Nuzzo V., Celano G., 1998. L'olivo: pianta esempio per la sua capacità di resistenza in condizioni di estrema siccità. In *Seminari di Olivicoltura, Accademia Nazionale Olivo e dell'Olio, Spoleto (PG): 79-111.*
- Xiloyannis C., Gucci R., Dichio B., (2003). Irrigazione. *Olea: Trattato di Olivicoltura. Il Sole 24 ORE Edagricole S.r.l., 365-389.*
- Xiloyannis, C., B. Dichio, V. Nuzzo and G. Celano. (1996). L'olivo: pianta esempio per la sua capacità di resistenza in condizioni di estrema siccità. *Seminari di Olivicoltura. Spoleto, 7 and 28 June. pp. 79-111.*
- Zucchini, M.; Khosravi, A.; Giorgi, V.; Mancini, A.; Neri, D. Is There Daily Growth Hysteresis versus Vapor Pressure Deficit in Cherry Fruit? *Horticulturae* 2021, 7, 131. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7060131>

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il mio relatore, il prof. Davide Neri per avermi permesso, con questa tesi, di assaporare, una piccola parte della sua passione per l'olivicoltura che mi ha trasmesso durante il suo corso.

Ringrazio la mia correlatrice, la dottoressa Veronica Giorgi, per il suo contributo fondamentale alla stesura di questa tesi.

Desidero fare un ringraziamento particolare al dottor Matteo Zucchini, guida disponibile e competente, figura di aiuto costante durante sia la fase sperimentale che la fase di scrittura di questa tesi. Grazie per l'infinita, e non scontata, pazienza.

Ringrazio la mia famiglia per avermi sostenuto durante tutta la mia carriera universitaria e Angela per essermi stata sempre vicino e avermi sopportato.

Agli amici "di giù", ai miei Panzoni un grande grazie per i momenti di leggerezza e di distrazione dallo studio. Ai miei amici universitari, per avermi affiancato durante questi anni lontano da casa, con la promessa di non perderci.

Grazie

Francesco