



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

# MONITORAGGIO DELL' ACCRESCIMENTO DEL FRUTTO DI OLIVO (OLEA EUROPAEA)

TIPO TESI: sperimentale

Studente:  
MARIA – PELAGIA SALACHORI

Relatore:  
PROF. DAVIDE NERI  
Correlatore:  
VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2019 - 2020

# SOMMARIO

SOMMARIO .....	2
PREMESSA .....	4
INTRODUZIONE .....	5
1.1 Fisiologia e gestione dell'olivo .....	5
Ciclo vitale e fisiologia .....	5
Crescita del frutto .....	7
Gestione dell'olivo .....	8
1.2 Utilizzo della tecnologia digitale in olivicoltura .....	9
OBIETTIVO DELLA TESI .....	13
MATERIALI E METODI .....	14
RISULTATI E DISCUSSIONE .....	22
CONCLUSIONE .....	29
BIBLIOGRAFIA .....	31



## PREMESSA

L' Olivo (*Olea europaea* L.), dal punto di vista storico, è originario del Mediterraneo, ambiente ideale per la sua crescita, in seguito si è diffuso nel resto del mondo. È una specie molto longeva, in effetti, alcuni olivi tutt'ora in vita sono originari dei tempi antichi. L' olivo è molto importante nella vita sociale di ogni paese mediterraneo, sia nella mitologia che nella vita quotidiana. Inoltre, economicamente è da sempre usato come scambio di merci e come medicinale. [Pisante, 2009]

La produzione mondiale negli ultimi anni conta oltre 14 milioni di tonnellate di olive. Da questa produzione, 1.2 – 1.3 milioni di tonnellate vengono utilizzate come olive da mensa mentre la parte restante è destinata all'estrazione per la produzione dell'olio. Queste produzioni si ottengono soprattutto nei paesi mediterranei i quali producono il 98 % olio di oliva e l'80 % di olive da mensa [Fiorino, 2018]. Negli ultimi anni si registra un incremento mondiale di consumo di olio d'oliva, i paesi con maggiore consumo di olio di oliva sono l'Italia, la Spagna e la Grecia. [Pisante, 2009]

In seguito, cercheremo di introdurre e spiegare l'utilizzo dell'agricoltura di precisione nel campo dell'olivicoltura. Con agricoltura di precisione, che è un sistema spazio –temporale, si intende un sistema aziendale di regolazione automatica con l'utilizzo della tecnologia per la gestione del campo coltivato [Bonciarelli, 2010]. L'olivicoltura di precisione tende a rendere le tecniche di controllo più specifiche e più puntuali.

# INTRODUZIONE

## 1.1 Fisiologia e gestione dell'olivo

### *Ciclo vitale e fisiologia*

L' Olivo è una pianta sempreverde che segue un particolare percorso del ciclo annuale. Il Ciclo annuale inizia dopo il riposo invernale dell'albero il quale comincia nei mesi di novembre – dicembre e si conclude, negli areali italiani, tra la fine di febbraio e l'inizio di aprile, periodo in cui si osserva il germogliamento apicale e l'ingrossamento delle gemme ascellari dei rami di un anno. Con l'aumento della temperatura e l'allungamento del giorno, si verifica sui rami di un anno fertili la comparsa delle infiorescenze (mignolatura) che varia molto in base alle caratteristiche climatiche, ma che può andare da marzo fino a maggio-giugno periodo in cui si ha la fioritura. Con l'apertura dei fiori si hanno la fase di impollinazione e di allegazione dei frutti [Fontanazza, 2007].



Figura 1: Albero di Olivo. La colorazione dell'albero tende a verde scuro, Selva di Gallignano di Ancona, Ancona.

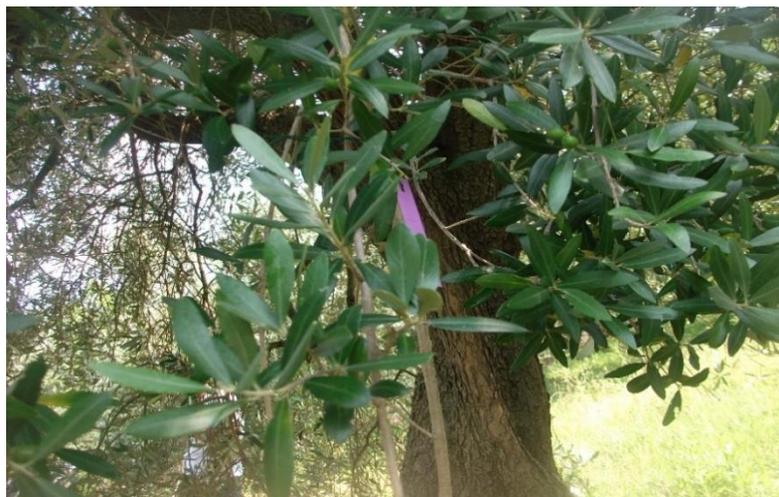


Figura 2: Albero di Olivo. La colorazione dell'albero tende ad una cromia argentata, Selva di Gallignano di Ancona, Ancona.

## *Crescita del frutto*

In seguito all'allegagione dei fiori di olivo, inizia la fase di crescita dei frutti. La fase ha inizio nel periodo primaverile e termina con la completa maturazione nel periodo autunnale – invernale. Allo scopo di stabilire il momento appropriato di varie azioni di gestione dell'oliveto (tra cui anche il giusto momento della raccolta dei frutti) è opportuno osservare le varie fasi della crescita del frutto.

Il processo di crescita segue un modello chiamato curva di crescita, questa può essere utile a prevedere le varie fasi fisiologiche del frutto, infatti la curva di crescita dell'oliva è caratterizzata da tre fasi. Nella prima fase la crescita è rapida poiché vi è moltiplicazione cellulare e sviluppo dell'embrione, in seguito la divisione cellulare rallenta e si ferma, nel mentre si ha l'indurimento del nocciolo. Nella terza fase si verifica la distensione cellulare, e la drupa torna a velocizzare la sua crescita, la terza fase si chiude con la maturazione, la drupa cambia colore dal verde a colori più scuri (più o meno tendenti al nero in base alla varietà) [Haggag, 2013]. La prima fase è caratterizzata dalla richiesta da parte della pianta di acqua e nutrienti, come per esempio l'azoto, la cui carenza porta nella caduta precoce dei frutticini.

L'ingrossamento del frutto della terza fase della curva di crescita prosegue fino ai mesi di ottobre – novembre ed è connesso con la disponibilità idrica del suolo. Dalla maturazione in poi si ha un abbassamento della qualità dell'olio determinato dalla riduzione dei componenti antiossidanti fino alla loro scomparsa mentre inizia la cascola delle drupe.

La crescita vegetativa inizia con l'apertura delle gemme in primavera, in estate, in corrispondenza delle alte temperature e della limitazione della disponibilità idrica, la crescita vegetativa rallenta o si ferma, per riprendere a ritmi più blandi a fine estate, periodo in cui dovrebbe avvenire l'induzione fiorale irreversibile [Fontanazza, 2007].

L'osservazione dettagliata della crescita dell'olivo può aiutare l'agricoltore o l'agronomo per prendere decisioni tecniche-agronomiche per la gestione o la raccolta delle olive. Il monitoraggio della crescita del frutto, inizialmente si è svolto su melo (*Malus domestica*), tale monitoraggio dovrebbe servire come potenziale indicatore fisiologico a supporto della programmazione dell'irrigazione. I sistemi di supporto alla decisione (DSSs – Decision Support Systems) sono stati implementati con sensori di umidità del suolo. Da questa analisi è stato dimostrato che i frutti hanno dei cicli circadiani in cui una parte segue una crescita rapida durante il tardo pomeriggio e nella notte e una seconda parte di rallentamento o anche di decrescita in quasi tutte per la maggior parte della giornata. [Boini, 2019]

Il frutto dell'olivo, a sua volta, attraversa periodi che assomigliano a quelli del melo. Ma in questo caso abbiamo due periodi di crescita veloce che si presentano la mattina presto e il tardo pomeriggio e un periodo di rallentamento che avviene durante il resto della giornata. Inoltre, dobbiamo prendere in considerazione anche altri fattori importanti come la temperatura e la competizione per le risorse idriche da parte delle specie formanti l'inerbimento [Moriando, 2019].

La descrizione di tutti gli stadi fenologici è univocamente riconosciuta tramite il sistema Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt, Chemische Industrie (BBCH) che è stato accettato dalla European Plant Protection Organization (EPPO). Il motivo per il quale è stato accettato è perché può descrivere gli stadi

fenologici di crescita verso un'ampia gamma di specie, tra cui anche l'olivo. La descrizione di questi stadi fenologici comprende la crescita del germoglio, delle foglie, dell'infiorescenza e della fioritura. In generale questi stadi di crescita vengono descritti in 8 stadi principali che a loro volta possono essere suddivisi in 32 stadi secondari. Dall'osservazione effettuata sugli alberi e in generale sulle specie si è visto che ogni specie segue un proprio percorso di crescita differente da quello di altre specie, inoltre i cicli di crescita possono differire di anno in anno. L'identificazione degli stadi fenologici svolge un ruolo importante nello stabilire le tecniche che servono per la gestione delle colture come l'applicazione di pesticidi ed il processo di irrigazione. [Sanz- Cortes, 2001]

### *Gestione dell'olivo*

Nella gestione dell'olivo e dell'oliveto rientrano anche le tecniche e le quantità di irrigazione, nutrizione e gestione delle patologie.

La gestione dell'irrigazione può influenzare in modo positivo sia l'albero che il frutto portando vantaggi di tipo quantitativo sul numero di infiorescenze, e di conseguenza il numero di olive che grazie all'irrigazione possono anche aumentare la propria pezzatura e di tipo qualitativo sull'olio prodotto dalle drupe. Nei costi di gestione dell'oliveto, la raccolta ricopre il ruolo principale. Il periodo di raccolta dipende da più fattori, tra i quali la cultivar, le zone di coltivazione, la carica della pianta e al livello di infestazione della mosca delle olive [Dag, 2011], in Italia l'epoca di raccolta va da ottobre a dicembre, con eccezioni che vanno ai primi mesi dell'anno.

Le cultivar dedicate alla produzione di olive da mensa sono invece raccolte da fine estate fino ai primi mesi autunnali.

Spesso è necessario anticipare la raccolta e rinunciare a piccoli quantitativi di olio per poter raggiungere determinate caratteristiche del prodotto, oppure per salvaguardare il prodotto da alterazioni chimiche ed organolettiche che possono essere provocate da insetti dannosi [Assam, 2003].

La resa in olio è un parametro che valuta l'efficienza fisiologica della pianta. Viene determinata in laboratorio tramite uno strumento che si chiama foss-let dopo che i frutti hanno terminato la loro essiccazione nella stufa. Il foss-let analizza il contenuto in olio che è presente dentro l'oliva e può essere calcolato sia su sostanza fresca che su sostanza secca.

Il quantitativo d'olio nella sostanza secca indica la quantità effettiva di olio che è presente nel frutto e aumenta fino ad un certo stadio per poi rimanere costante.

La resistenza al distacco si misura in campo con il dinamometro. Il dinamometro è composto da una piccola bilancia e da una fuoriuscita a forma di forchetta con cui si staccano le olive dal peduncolo. In pratica, si mette il dinamometro nelle olive che sono sul ramo e si fa pressione, se la bilancia mostra un valore inferiore a 4 N (Newton) significa che l'oliva ha raggiunto la maturazione ottimale. Con la maturazione, la forza di distacco diminuisce e le olive si staccano più facilmente fino a cadere autonomamente (cascola). Con cascola si intende la percentuale di frutti che cadono autonomamente sul

totale della produzione dell'albero. Se la cascola è precoce allora aumenta il rischio di perdita di prodotto per cui si deve effettuare una raccolta anticipata e tempestiva.

L'efficienza produttiva è un parametro che rappresenta la capacità produttiva della varietà, è espressa in grammi di olio prodotto per metro cubo di chioma e si calcola dopo aver ricostruito la produzione di olio. Per questo si calcola in base alla produzione raccolta al termine del campionamento in base al peso dei frutti raccolti e di quelli cascolati, considerando il peso unitario e il contenuto in olio dei frutti.

Infine, il rapporto polpa–nocciolo viene determinato dalla snocciolatura di un campione di olive, che serve per valutare la percentuale della polpa e quindi l'adattabilità della varietà alla trasformazione per olive da mensa.

I caratteri qualitativi possono essere caratterizzati dall'indice di invaiatura. L'indice di invaiatura indica il grado della colorazione della buccia e della polpa, momento in cui le olive passano dal colore verde al colore nero. Questo parametro serve perché le olive vengono classificate in classi in base alla loro colorazione che utilizzano un numero che appartiene all'indice di Jaén modificato, il numero 0 indica le olive completamente verdi, mentre il numero 1 indica le olive che sono invaiate meno del 50 % della loro superficie, il numero 2 indica le olive che sono invaiate più del 50 % della loro superficie e il numero 3 rappresenta le olive che sono invaiate completamente sulla buccia. Il numero 4 mostra le olive che sono invaiate meno del 50 % della polpa, mentre il numero 5 mostra le olive invaiate più del 50 % della polpa.

## **1.2 Utilizzo della tecnologia digitale in olivicoltura**

Da anni la tecnologia digitale viene utilizzata in molti settori, compresa l'agricoltura, per migliorare i risultati e rendere più rapido ed efficiente il lavoro dell'uomo. Nel settore dell'agricoltura la tecnologia ha contribuito al miglioramento delle colture in termini di qualità, sia del prodotto finale che della sostenibilità ambientale. In particolare, sono state sviluppate delle tecniche che ci permettono di raccogliere informazioni con le quali possiamo prendere delle decisioni per la produzione ma anche per effettuare delle operazioni automatiche. Queste tecniche rientrano nel campo dell'agricoltura di precisione.

Per agricoltura di precisione si intende l'utilizzo della tecnologia digitale per poter rendere gli interventi agronomici puntuali sia nel tempo che nello spazio. Per poter mettere in atto strategie gestionali di precisione è necessario quindi avere macchinari che ci consentano il monitoraggio puntuale delle variabili sia climatiche che di crescita della pianta stessa. In seguito, si potranno programmare gli interventi necessari in base ai dati raccolti tramite il monitoraggio.

I primi passi nell'agricoltura di precisione risalgono agli anni '60 con lo sviluppo dei satelliti che servivano per il rilevamento della superficie terrestre. Alcuni anni dopo, negli anni '70 i satelliti Landsat erano utilizzati per il rilevamento della umidità dalle colture e dal suolo basandosi sulla radiazione solare che si rifletteva sulle piante e sul suolo.

Grazie ai satelliti, si è poi potuto utilizzare il GPS (Global Positioning System). La localizzazione avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite e l'elaborazione dei segnali ricevuti da

parte del ricevitore. In questo modo lo strumento riceve dal satellite le coordinate del punto esatto in cui si trova.

Tra le tecniche di monitoraggio, per esempio, si utilizza la Image Analysis (Analisi dell'Immagine) che raccoglie le informazioni dalle immagini (della pianta, del frutto, del fiore, del ramo ed altre parti della pianta) e costruisce un modello previsionale sull'evoluzione della pianta o parte della pianta. Per esempio, è possibile osservare la crescita del frutto dell'olivo, come nello studio di Ponce (2018) che ha eseguito misurazioni su varietà di olivo spagnole (Picual e Arbequina). Tramite una macchina fotografica i frutti delle olive che sono posizionate sopra un telo di plastica di colore bianco sono stati fotografati. In seguito, attraverso un algoritmo è stata calcolata la crescita delle olive. Questo algoritmo è stato creato dal programma MATLAB che è un programma che svolge delle analisi e crea dei modelli e da un altro programma che è il Image processing toolbox. [Ponce, 2018].

Un altro esempio di monitoraggio utilizza la tecnologia del GPS per effettuare rilievi di campo misurando la posizione delle piante o l'evoluzione nel tempo del volume della chioma. Nel lavoro di Ramos (2007), piante di olivo sono state monitorate per la durata di un anno. È stato scelto il GPS perché ha il vantaggio di non richiedere una linea diretta tra il ricevitore che è mobile e la stazione di riferimento. Questo vantaggio è utile considerando la mancanza di visibilità attraverso gli alberi di olivo. La posizione delle piante di olivo ottenute nell'arco dell'anno sono stati rielaborati da un programma GIS (Geographic Information System). Attraverso il GIS è stato rilevato il movimento degli alberi che è stato correlato con i possibili fattori che possono influenzare questo movimento tra cui l'erosione. [Ramos, 2007]

Una recente tecnologia utile nel monitoraggio è il sistema LIDAR (light detection and ranging – rilevamento di raggio e luce) che si basa su una sorgente laser che emette degli impulsi di luce che colpiscono l'oggetto di interesse, che possono essere gli alberi di olivo. Poi, misurano il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso di luce e la ricezione della luce retrodiffusa, questo è necessario perché così il dispositivo è in grado di misurare la distanza dell'oggetto. Oltre alla distanza, i sistemi LIDAR hanno la capacità di determinare la geometria dell'oggetto. Grazie a programmi appositi e all'IA, le informazioni ricavate tramite i sistemi LIDAR possono essere usate per determinare con precisione il punto di distribuzione di pesticidi o fertilizzanti, in modo da distribuirli solo alle piante che ne hanno bisogno. [Rufat, 2015]

Infine, un metodo che permette di monitorare nel tempo determinati parametri relativi ad una pianta sono i dendrometri, strumenti che servono per misurare i valori biometrici di piante arboree. Vengono utilizzati per misurare la crescita, stabilire la necessità di irrigazione della coltura e verificare il momento ottimale per la raccolta. Recentemente i dendrometri sono stati adattati anche alla misurazione della crescita dei frutti e in questo caso si chiamano fruttometri.

I dendrometri o fruttometri si possono dividere in due categorie: i dendrometri a contatto e i dendrometri senza contatto.

I dendrometri a contatto hanno la caratteristica di essere in contatto con il tronco degli alberi perché in questo modo, possono misurare il diametro del tronco o del ramo. A questa tipologia appartengono i calibri, i nastri che servono per misurare il diametro, la levetta Biltmore ed i quadranti. Invece i dendrometri senza

contatto possono effettuare delle misurazioni a distanza e in questa tipologia quelli che sono più comunemente utilizzati sono i dendrometri ottici. I dendrometri ottici contengono un calibro ottico che utilizza due linee parallele di luce che servono per visualizzare i punti nel tronco che rappresentano il diametro dell'albero. A differenza dei dendrometri a contatto, i dendrometri senza contatto sono più efficienti e possono risparmiare circa 35 – 40 % nel tempo di misurazione. I dati prelevati da questi dendrometri vengono scaricati direttamente su un computer. [Wang, 2008]

I calibri ed i nastri misuratori sono i più comuni e tradizionali strumenti che servono per misurare la crescita della pianta. Il nastro misuratore è avvolto attorno all'albero e può misurare la circonferenza della pianta e deve essere avvolto intorno all'asse perpendicolare. I numeri che sono nel lato destro devono essere mantenuti verso l'alto, così si riduce il rischio della lettura errata su scala.

I calibri offrono un modo veloce di misurare gli alberi. Sono costituiti da un braccio fisso, da un braccio mobile e da una scala che indica i cm o i mm. Il braccio fisso è posizionato lungo un lato dell'albero ed all'altezza desiderata. Mentre il braccio mobile è posizionato a filo contro l'altro lato dell'albero e la scala viene letta direttamente. In generale, i calibri devono essere posizionati perpendicolarmente all'asse del tronco e si deve fare attenzione alla stabilità della posizione del calibro per non avere degli errori di lettura.

Nella foto seguente possiamo vedere un calibro che serve per misurare la dimensione dei frutti.



Figura 3: Calibro utilizzato per misurare i frutti di olivo.

In particolare, per il monitoraggio della crescita dei frutti sono molto utili i trasduttori di spostamento lineare (LVDTs – linear variable displacement transducers) possono monitorare continuamente ed accuratamente il diametro dello stelo. Sono attaccati all'oggetto da misurare con un apposito supporto. Permette una

misurazione accurata e puntuale nel tempo in modo da poter individuare le modifiche nell'arco di poche ore e monitorare la dimensione dei frutti e la loro evoluzione durante la giornata. [Kaur, 2014]

Gli strumenti manuali (nastri e calibri) hanno il vantaggio di essere altamente affidabili ma hanno lo svantaggio di richiedere molto tempo ed energie per le misurazioni. Quindi solitamente sono possibili solo poche misurazioni durante il ciclo di crescita di un frutto. I dentrometri ottici hanno invece il vantaggio di effettuare misurazioni automatiche che possono quindi monitorare il parametro misurato nel tempo anche con intervalli molto brevi (ore o addirittura minuti). Sono però strumenti che richiedono una taratura ed un adattamento ad ogni specie di frutto e necessitano quindi una valutazione dell'accuratezza delle misurazioni prima di poterli utilizzare come strumenti di monitoraggio in agricoltura di precisione.

## OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo principale del lavoro di tesi è stato quello di mettere a punto un metodo di monitoraggio automatico e continuo dell'accrescimento del frutto dell'olivo.

Conoscere la curva di crescita dell'oliva in modo puntuale (la curva specifica dei frutti di un particolare oliveto) oltre a fornire importanti informazioni sullo stato di salute della pianta e sull'andamento stagionale della maturazione, potrebbe permettere di valutare la necessità di interventi irrigui e in seguito di individuare il momento ideale per la raccolta.

Le misurazioni manuali tramite calibro sono state affiancate da misurazioni effettuate da un dendrometro. In questo modo è stato possibile valutare il lavoro svolto automaticamente dai dendrometri confrontandolo con le misure manuali.

Il monitoraggio dell'accrescimento dell'olivo si basa sulla curva di crescita delle olive che serve per verificare i periodi di ridotta e forte attività di crescita. La curva di crescita viene divisa in varie fasi che mostrano l'andamento evolutivo del frutto dell'olivo.

## MATERIALI E METODI

Il seguente lavoro di tesi è stato svolto nel periodo Giugno-Settembre 2019 con osservazioni in campo con cadenza settimanale durante il periodo dell'accrescimento del frutto.

Sono state prese in considerazione dieci piante di due diverse varietà di olivo (Frantoio, Leccino) dell'oliveto a gestione biologica di Gallignano di Ancona dell'azienda didattica sperimentale "P. Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche (coordinate 43,567997, 13,426465).

L'oliveto si espande su un'area di circa 1 ettaro, è in pendenza ed esposto a sud-est, presenta un impianto di circa 7 m x 7 m e le chiome sono gestite a vaso policonico.

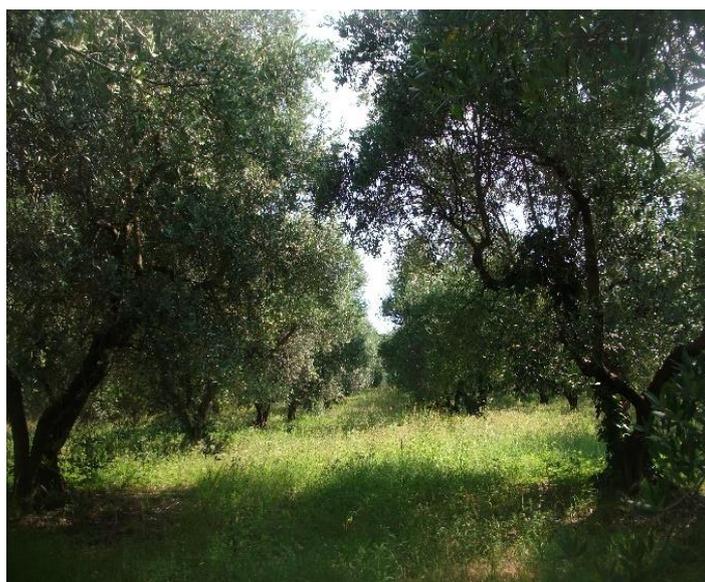


Figura 4: Oliveto dell'azienda didattica sperimentale "P. rosati" sito a Gallignano di Ancona (AN)

Le varietà utilizzate per la sperimentazione (Frantoio e Leccino) sono di origine toscana, ma ben diffuse anche a livello nazionale e internazionale grazie alle loro caratteristiche produttive ed alla facilità di propagazione, inoltre si adattano bene a diverse condizioni climatiche. [Alfei, 2007].

La varietà Frantoio è cultivar originaria della Collina fiorentina, è una varietà autofertile, entra precocemente in produzione e presenta una produttività elevata e costante. Presenta una vigoria elevata ed ha un portamento espanso, ma è sensibile all'occhio di pavone ed alla mosca olearia. Dimostra una buona tolleranza al freddo. Il frutto è di dimensioni elevate e ha una forma ovale. Con la maturazione, il colore passa dal verde – chiaro con le lenticelle che sono appena evidenti al nero – violaceo più o meno intenso.

La varietà Leccino è originaria della Toscana, è una varietà autofertile, entra precocemente in produzione e presenta una produttività elevata e costante. Si tratta di una pianta vigorosa con il portamento espanso. Tollera molto bene il freddo, l'occhio di pavone e la rogna, ma presenta un'alta sensibilità alla mosca delle olive. I frutti di questa varietà hanno la forma ovale e sono riuniti a grappoli di due o tre, a maturazione il colore del frutto passa dal verde – intenso al nero – corvino. [Alfei, 2003]

Per la prova sperimentale sono state selezionate 10 piante. Di ogni pianta è stato considerato un ramo misto, segnato con un cartellino. Il giorno 7 Giugno è stato rilevato lo stadio di fioritura dei 10 rami presi in esame, di ogni infiorescenza si sono contati i fiori chiusi, i fiori aperti e i fiori che avevano finito la fioritura.

In seguito, si sono misurati i diametri trasversali (dal 05/07/2019 al 16/10/2019) e i diametri longitudinali (dal 12/07/2019 al 16/10/2019) delle olive presenti in suddetti rami.

Per quattro rilievi sono state raccolte 30 olive da tutto il campo (escludendo i rami in prova) e, in laboratorio, son stati analizzati:

- Diametro trasversale;
- Diametro longitudinale;
- Peso fresco.

Il giorno 1/08/2020 è stata valutato l'avvenuto indurimento del nocciolo utilizzando un comune coltello da cucina (figura 8).

Per il peso fresco si è utilizzata una bilancia di precisione professionale della “Gibertini” modello CRYSTAL serie 100 CAL (figura 6).

Per le misure dei diametri si è utilizzato un calibro digitale dell'azienda Metrica (figura 5).



Figura 5: Calibro utilizzato per misurare i diametri dei frutti.



Figura 6: Bilancia di precisione professionale da laboratorio CRYSTAL serie 100 CAL.



Figura 7: Ottenimento dei dati per il peso del frutto.

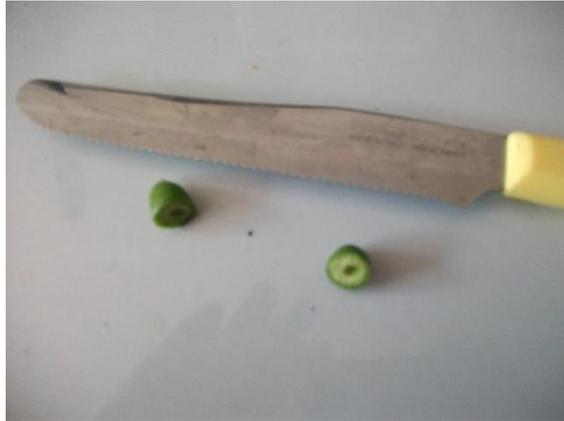


Figura 8: Coltello da cucina utilizzato per l'analisi dell'indurimento del nocciolo.

Il diametro trasversale di due olive di un'unica pianta è stato seguito in continuo con il dendrometro modello DEX70 dell'azienda Dynamax In (Houston, Texas). Il dendrometro è costituito da due barre di alluminio che sono fissate ad una fascia flessibile in acciaio inossidabile su cui sono fissati gli estensimetri. La fascia flessibile è larga 25,4 mm e il suo spessore è di 0,76 mm. Il sensore è fissato avvitando un bullone con un'incudine curvo all'estremità attraverso una delle barre di alluminio che premono il frutto tra le incudini. I quattro estensimetri, che sono due per lato, sono collegati in una disposizione nel ponte Wheatstone completa e sono fissati nel mezzo della banda flessibile. [Link, 1998] (figura 10).

Lo strumento fornisce i dati solo sotto forma di incremento o decremento del diametro e non fornisce il valore attuale del diametro [Raur, 2014].



Figura 9: Dendrometro DEX70 posizionato nel campo sperimentale assieme alla fotocamera e ai pannelli fotovoltaici.

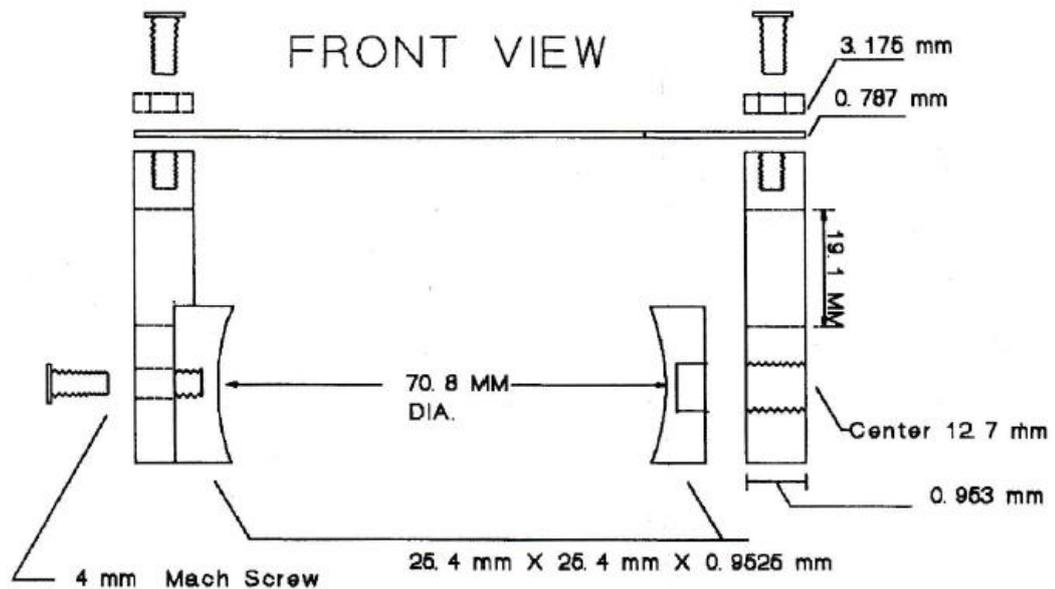


Figura 10: Diagramma del dendrometro DEX70 utilizzato nel campo sperimentale.

L'impianto registra i dati ogni ora ed i valori misurati sono salvati in cloud due volte al giorno.



Figura 11: Dendrometro DEX70 che viene posizionato il frutto dell'olivo.

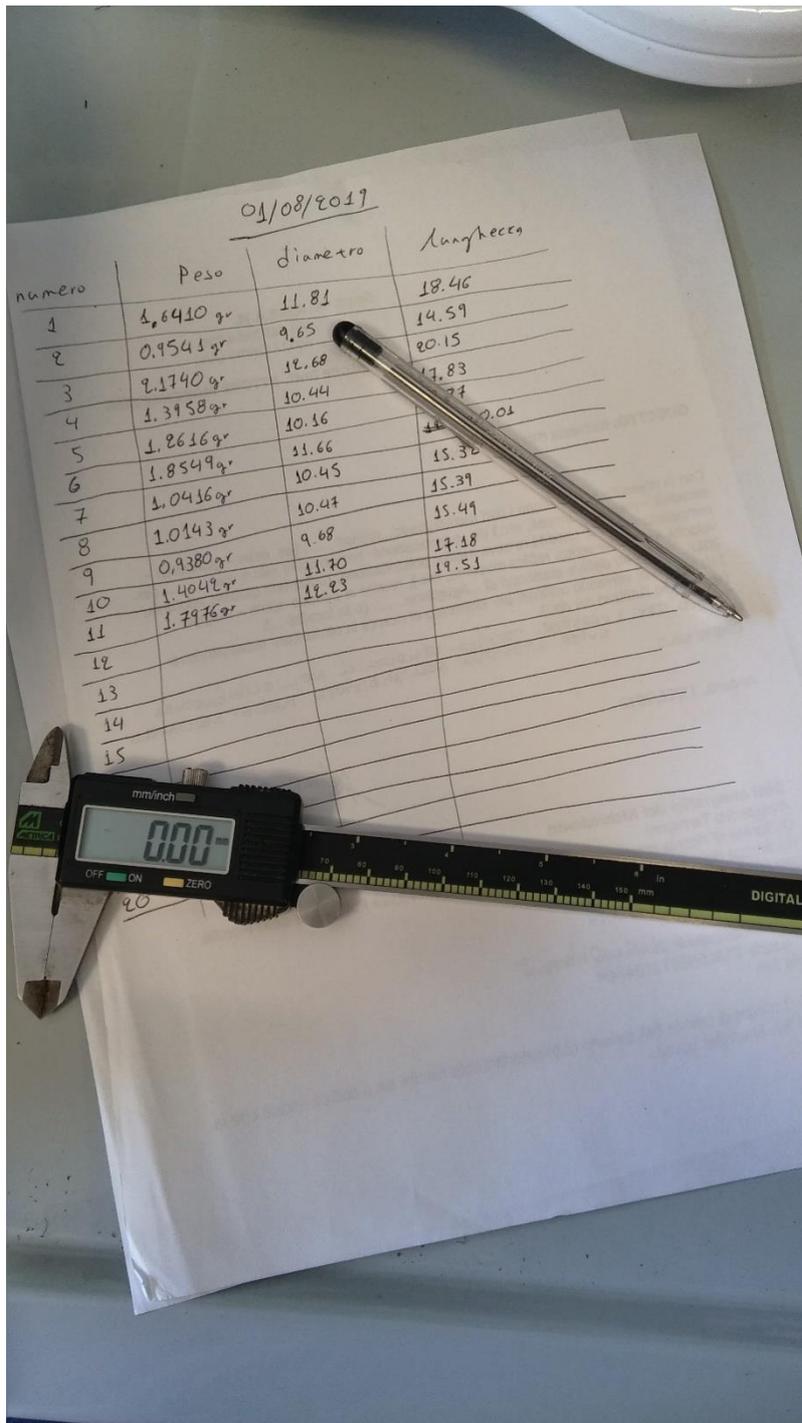


Figura 12: Calibro utilizzato nel laboratorio per l'ottenimento dei dati necessari per la crescita del frutto.



Figura 13: Dendrometro, modello DEX70 in cui è posizionato un frutto.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dalle ricerche condotte nel campo sperimentale, durante una stagione produttiva, hanno mostrato che la fase di fioritura per l'anno 2019, in questa località, è avvenuta attorno alla prima decade di giugno (figura 14), infatti al 7 Giugno poco più di 300 fiori analizzati erano ancora chiusi, mentre poco più di 150 fiori analizzati erano aperti e circa 80 fiori avevano già terminato la fioritura (più del 50 % dei fiori si erano già aperti). Si può dire che questo è un giorno di piena fioritura per i campioni analizzati seguendo la scala BBCH (Sanz – Cortes et al., 2002).

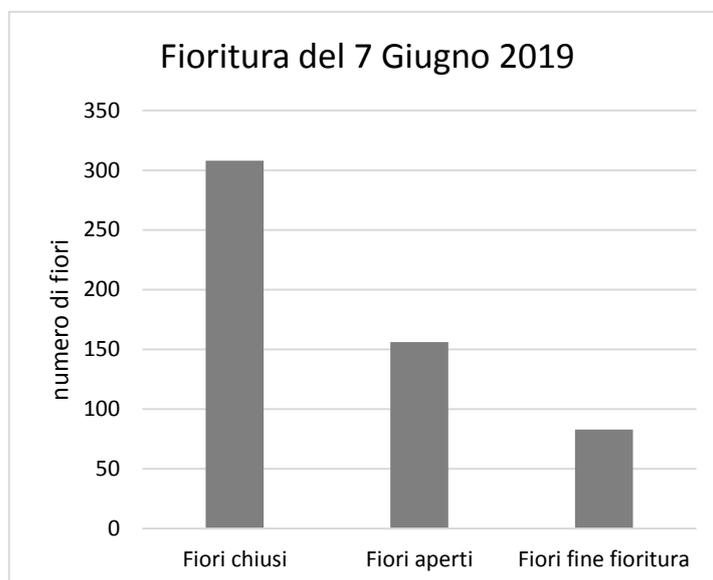


Figura 14: Fioritura del 7 giugno 2019

Dal giorno di piena fioritura inizia più o meno la crescita dei frutti delle olive prese in esame. Sebbene non siano state mai misurate prima del 5 luglio si può immaginare una crescita più rapida rispetto a quella registrata dopo.

Per quanto riguarda le olive prelevate in campo ed analizzate in laboratorio si può notare come le curve di crescita dei diametri trasversale e longitudinale siano quasi parallele, ma analizzando le curve delle percentuali sulla dimensione finale si nota come il diametro trasversale incrementi la velocità di crescita nel finale (figura 16). La drupa inizialmente cresce più allungata e poi si espande trasversalmente durante la fase terminale di accumulo dell'olio.

Il peso fresco mostra, invece due andamenti distinti, il primo, con un angolo maggiore che va dal 18 luglio al 1° agosto ed il secondo andamento con angolo minore dal 1° agosto al 29 ottobre (figura 17). Si può

ipotizzare che la prima parte della curva evidenzi la prima fase di crescita di distensione del frutto dopo l'indurimento dell'endocarpo legnoso (vedi cap. 1.1)

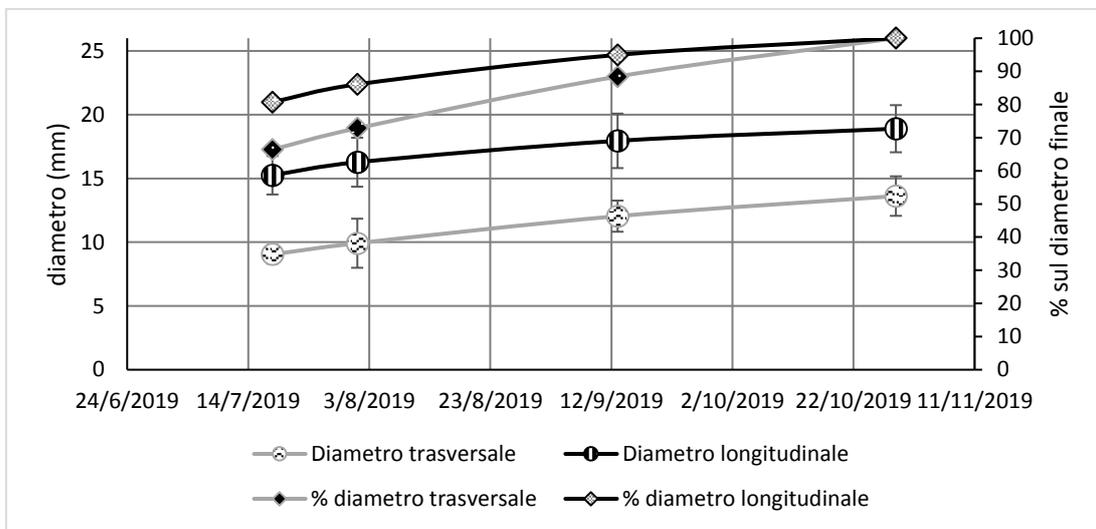


Figura 15 Diagramma dell'andamento della crescita delle olive misurate in laboratorio.

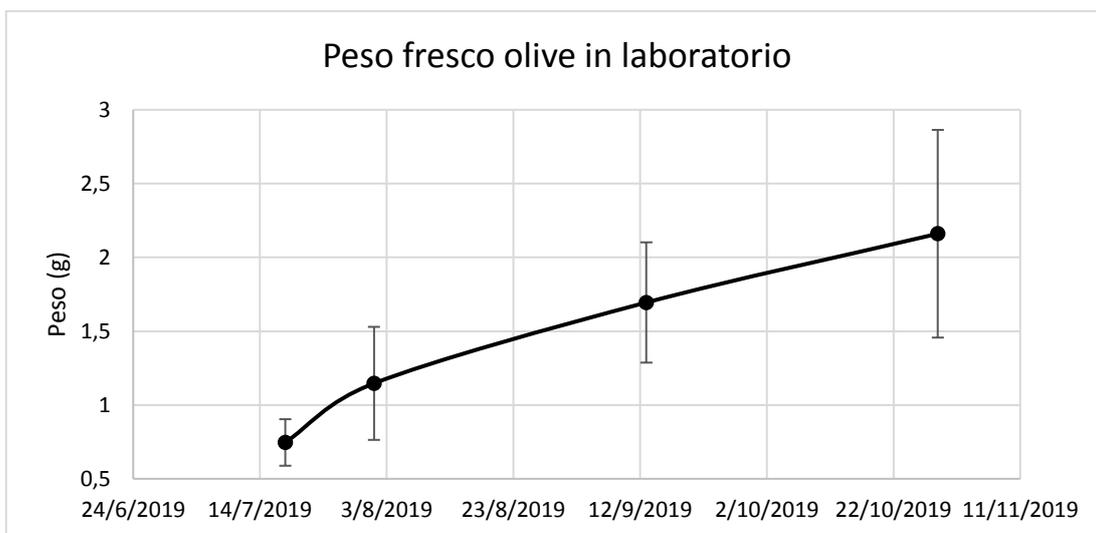


Figura 16 Diagramma del peso fresco delle olive in laboratorio.

La popolazione di olive misurate in campo mostra come il diametro trasversale sia sempre minore rispetto a quello longitudinale (figura 18), mentre l'andamento di crescita appare simile. Quando si analizza l'andamento della crescita in percentuale sul diametro finale si nota come il diametro trasversale, in proporzione, aumenti la velocità di crescita nell'ultimo periodo (figura 19).

L'andamento segue il modello di crescita tipico dei frutti a drupa, infatti si può notare fino alla metà di luglio come la crescita dei diametri sia rapida per poi rallentare, fino a bloccarsi durante tutto il mese di agosto. Da settembre la crescita riprende fino al momento della raccolta avvenuta il 22 Ottobre 2019 (figura 18).

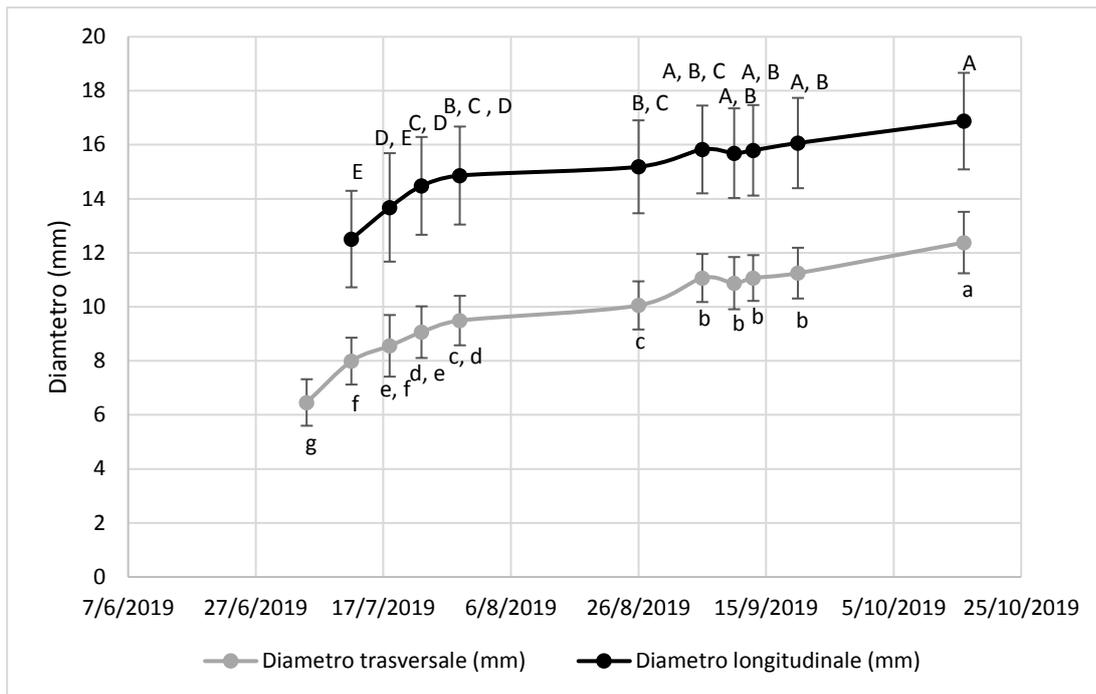


Figura 17 Andamento del diametro trasversale e longitudinale misurati in campo, lettere diverse indicano medie significativamente diverse (test Turkey  $\alpha = 0,05$ , media $\pm$ dev.st.)

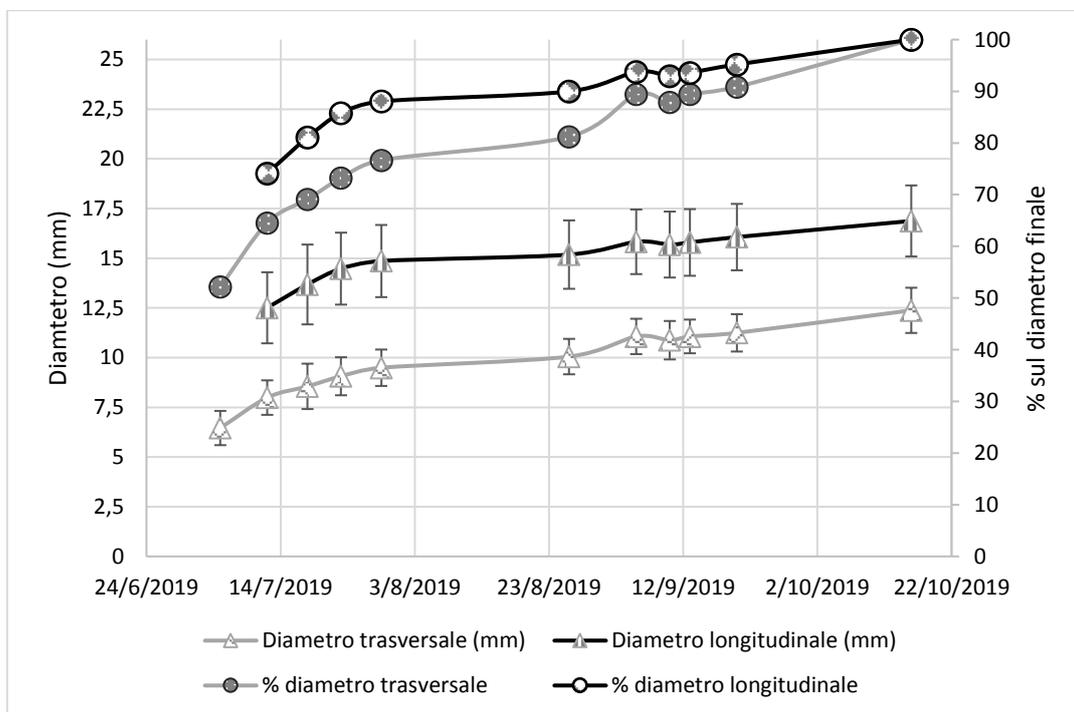


Figura 18 Andamento della crescita dei diametri (come nella figura 14) e della percentuale sul diametro finale della popolazione di olive misurate in campo

L'utilizzo dei dendrometri con misure orarie denota come l'andamento stagionale si possa dividere in diverse fasi, una che dura fino a fine luglio con crescita rapida e ridotte oscillazioni giornaliere; la seconda fino ad inizio settembre con crescita più lenta ma con forti variazioni giornaliere alternate a periodi di uno-due

giorni (in un caso di cinque) con limitate oscillazioni giornaliere; e l'ultima a cominciare dai primi di ottobre con crescita molto rallentata o assente e limitatissime oscillazioni giornaliere fino alla completa maturazione e alla raccolta (figura 20). I due frutti, sebbene con diametri di circa 2 mm di differenza, seguono un andamento parallelo. L'andamento giornaliero mostra una distensione maggiore serale-notturna e una decrescita dalla fine della mattinata fino alle prime ore dopo mezzogiorno (figura 21).

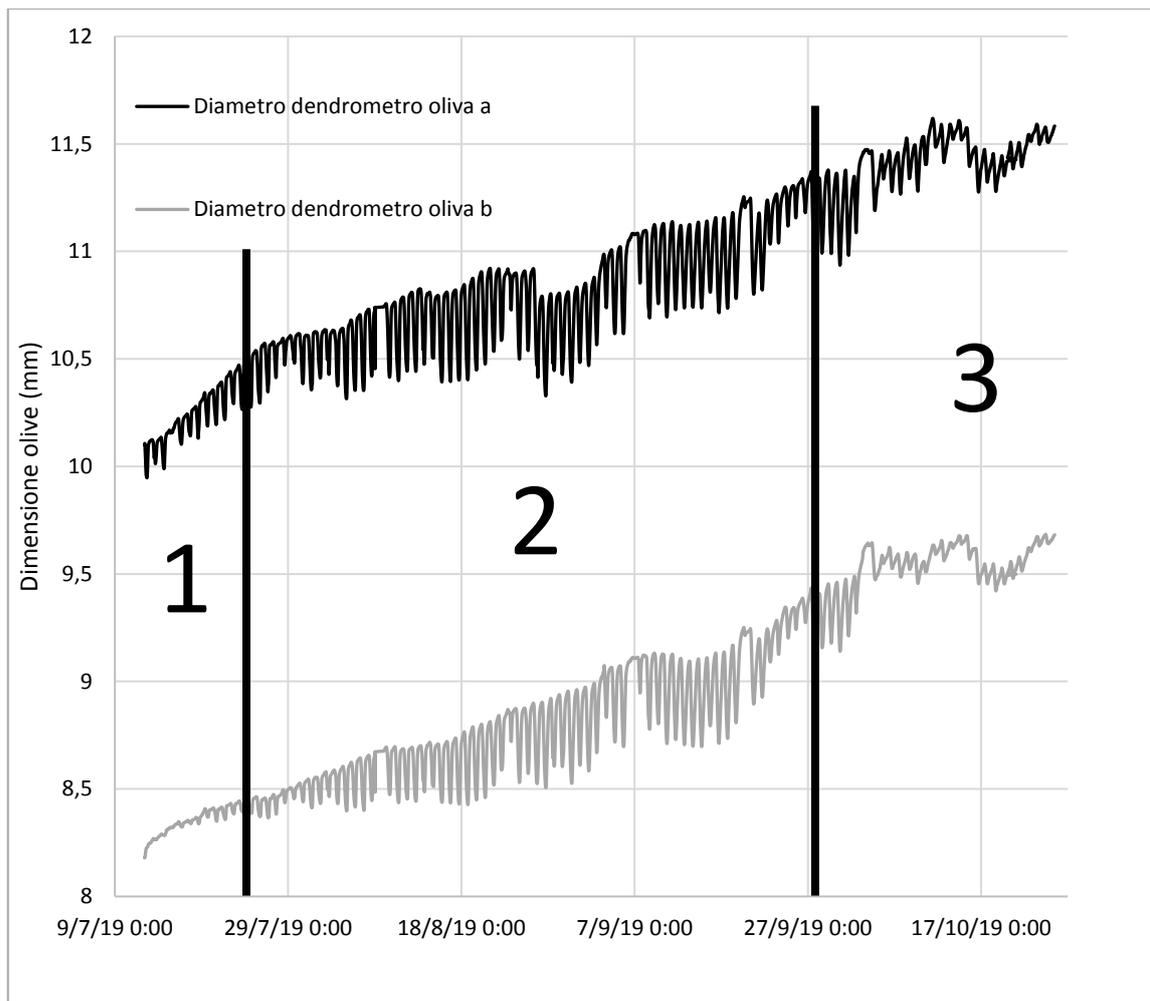


Figura 19 Diametro di due olive misurate con dendrometro

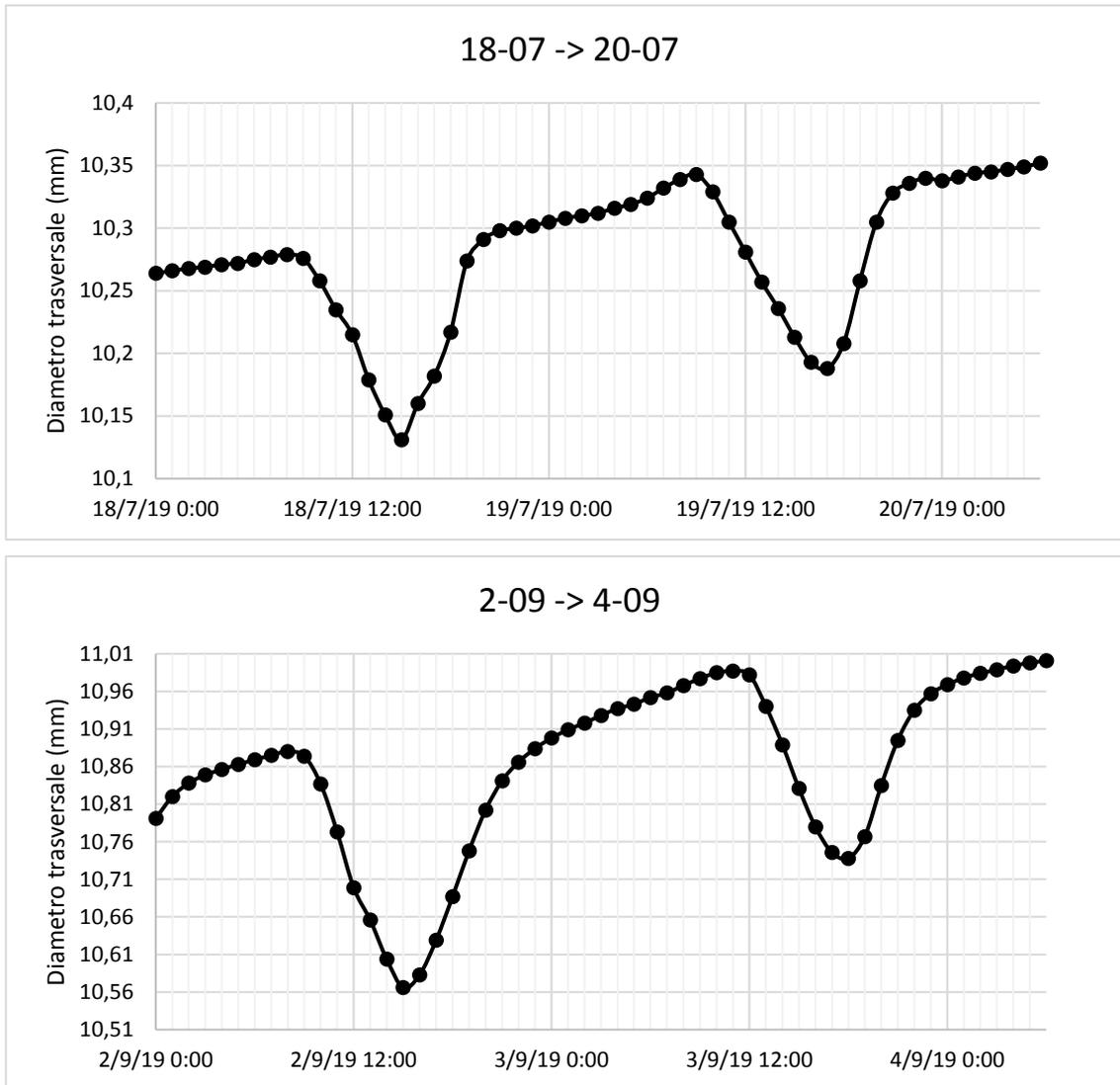


Figura 20 Crescita giornaliera misurata dal dendrometro

Creando una curva dell'andamento in percentuale sul diametro finale, si nota come l'andamento dei due frutti sia molto simile, con un leggero anticipo nell'oliva (a) che raggiunge il 90-93% già ad agosto, mentre l'oliva (b) raggiunge tale quota solo a fine agosto, inizio settembre (figura 22). Tutte e due le olive proseguono poi in maniera quasi sincrona, sebbene con leggere differenze.

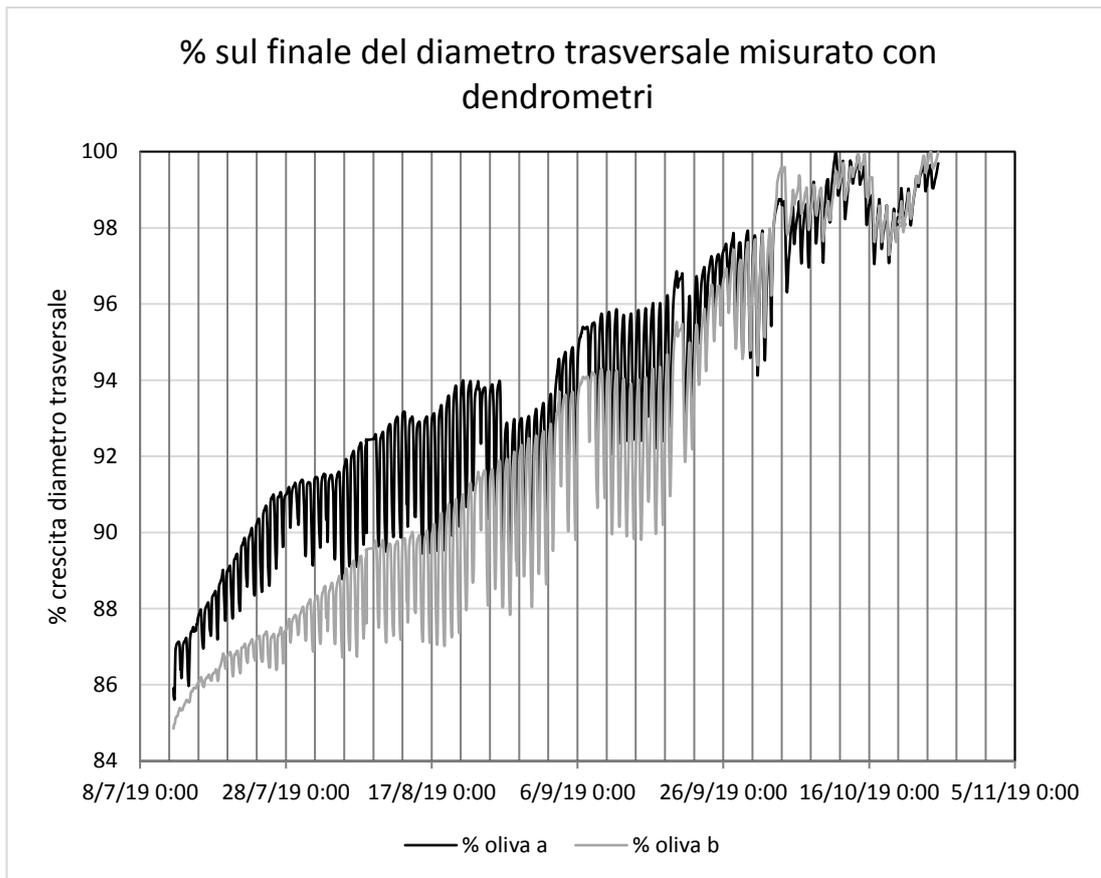


Figura 21 Diagramma della percentuale del diametro misurato con i dendrometri.

Confrontando le misurazioni fatte con dendrometro e manualmente su una popolazione di frutti si nota come gli andamenti siano poco sovrapponibili (figura 23). La migliore corrispondenza dei dati misurati dai dendrometri è dimostrata nei giorni attorno al 10 agosto, quando i sensori indicano un blocco e una piccola decrescita del diametro così come i dati misurati a mano indicano una stasi. Il fenomeno è visibile anche rapportando la crescita in percentuale sul valore di crescita finale (figura 24), grafico che mostra come il dendrometro sottostimi il diametro in crescita.

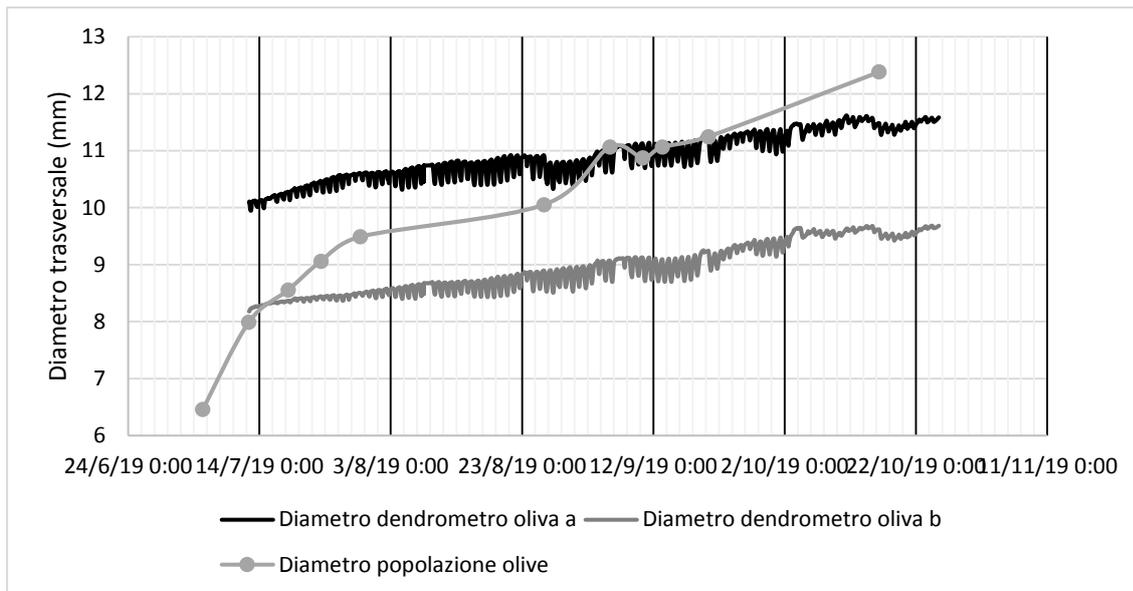


Figura 22 confronto tra curva di crescita misurata manualmente e con dendrometri

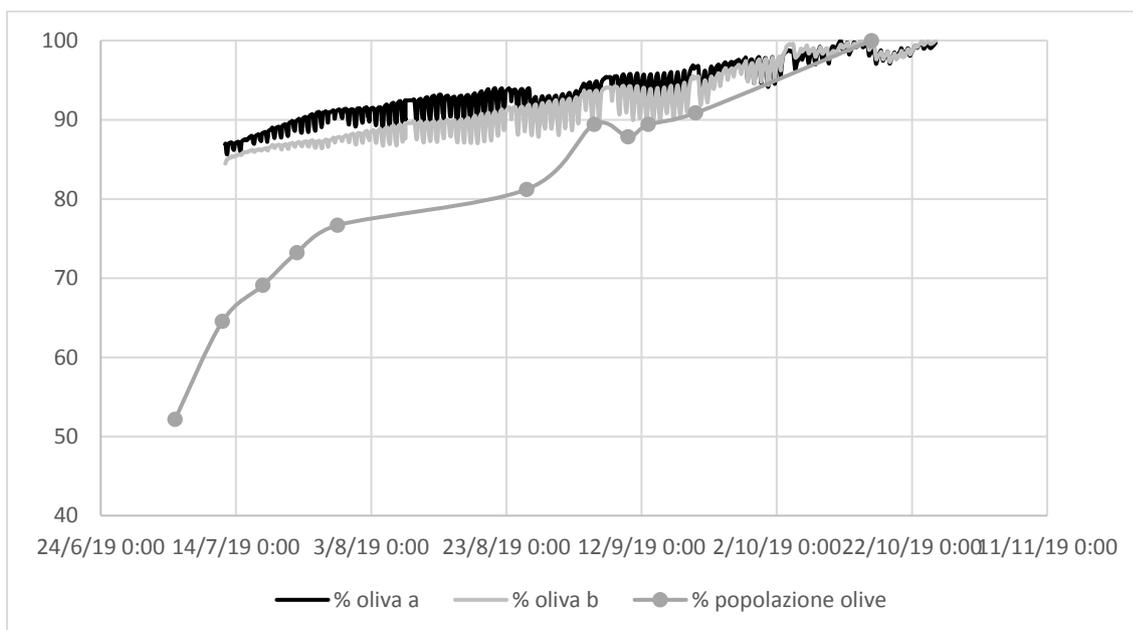


Figura 23 confronto tra curva di crescita in percentuale, rapportata al diametro maggiore, sia per le misurazioni manuali che con i dendrometri

## CONCLUSIONE

Il seguente lavoro della tesi è stato condotto nel periodo tra l'inizio di luglio e l'inizio di ottobre.

L'obiettivo della tesi era il monitoraggio dell'accrescimento del frutto dell'olivo con l'utilizzo di nuove tecnologie. L'Olivo (*Olea europaea* L.) appartiene alla famiglia delle Oleaceae e presenta una notevole diversità genetica di cui Frantoio sono state oggetto di studio della presente tesi.

Il frutto dell'Olivo nelle Marche segue un ciclo di crescita che inizia nel periodo primaverile e termina con la completa maturazione nel periodo autunnale. Possiamo dividere lo sviluppo del frutto in quattro fasi. Nella prima fase abbiamo la crescita dell'embrione e la moltiplicazione cellulare di tutto il frutto. Questa fase è seguita dal rallentamento della crescita in dimensioni del frutto con indurimento del nocciolo. Nella terza fase abbiamo la ripresa dell'attività con la distensione cellulare ed un incremento dell'accrescimento del frutto. Durante la terza fase abbiamo anche il cambiamento del colore della polpa del frutto che diventa nero, a cui segue l'ultima fase di maturazione completa che termina con al cascola del frutto.

Esiste un'ampia gamma di metodi per monitorare l'accrescimento del frutto dell'olivo. Noi ci siamo concentrati sull'utilizzo di due metodi quello manuale con calibro di precisione e quello tecnologico con estensimetri (dendrometri o fruttometri) automatici.

Prendendo in considerazione i risultati ottenuti da entrambi i metodi utilizzati per il monitoraggio abbiamo osservato la curva di crescita del frutto dell'olivo. I dati evidenziano alcune sostanziali differenze. In particolare, gli estensimetri mostrano una sottostima delle dimensioni finali e un ritmo di crescita ridotto rispetto alle misure manuali. D'altra parte, gli estensimetri forniscono dati orari, fondamentali per descrivere l'andamento di crescita giornaliero. In questo modo è stato possibile descrivere la distensione delle dimensioni del frutto dalle prime ore della sera fino al mattino dopo. È stata rilevata invece una brusca riduzione della dimensione del frutto nelle ore più calde della giornata. Questo potrebbe rivelarsi uno strumento utile per l'agricoltore per differenziare i trattamenti irrigui seguendo i cicli circadiani della pianta stessa, come già avviene seguendo il ciclo stagionale (Fernandes, 2018).

Se da una parte il sistema dei dendrometri ha un costo iniziale importante dall'altra si deve valutare che se si volesse seguire l'andamento di crescita delle proprie olive manualmente, i costi devono prevedere 1 o 2 dipendenti che una volta a settimana rilevano i dati per circa 30-50 olive.

L'utilizzo dei dendrometri rimane quindi promettente per la capacità di rilevamento oraria e continuativa. Dal presente lavoro di tesi risulta chiaro che necessita di ulteriori tarature per poter migliorare le misure.



## BIBLIOGRAFIA

Alfei B., Pannelli G., Ricci A., 2016. Olivicoltura coltivazione, olio e territorio, Ed. Edagricole

Alfei B., Pannelli G., 2007. Guida alla razionale coltivazione dell'olivo, ASSAM

Alfei B., Appignanesi P., Girolomini L., Romagnoli E., Marcello S., 2003. Mignola: varietà del territorio di del territoio di Cingoli. Provincia di Macerata, Assessorato all'Agricoltura di Cingoli, Assam

Baldini E., 2001. Arboricoltura generale, Ed.Clueb

Bonciarelli F., Bonciarelli U., 2010. Agronomia, Ed. Edagricole scolastico

Boini A., Manfrini L., Bortolotti G., Corelli / Gappadelli L., Morandi B., 2019. Monitoring fruit daily growth indicates the onset of mild drought stress in apple, *Scientia Horticulturae*

Caruso T., Proietto P., 2011. Modelli d'impianto, forme di allevamento e criteri di potatura per la nuova olivicoltura. Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio spoletto, collana divulgativa dell'Accademia Volume IV.

Cimato A., Cantini Cl., Sani G., 2001. L'olivo in toscana: il germoplasma autoctono, A.R.S.I.A.

Cox S., 2002. Information technology the global key to precision agriculture and sustainability, *Computers and Electronics in Agriculture* pp 93 – 111

Dag A., Kerem Z., Yogeve N., Zipori I., Lavee S., Ben – David E., 2011. Influence of time harvest and maturity index on olive oil yield and quality, *Scientia Horticulturae* pp 358 – 366

Escolà A., Martínez – Casanovas J.A., Rufat J., Arbonès A., Sanz R., Sebè F., Arnò J., Masip J., Pascual M., Gregorio E., Ribes – Dasi M., Villar J.M., Rosell – Polo J.R., 2015. A mobile laser scanner for tree crops: point cloud generation, information extraction and validation in an intensive olive orchard. *Precision Agriculture*

Estornell J., Ruiz L.A., Velàquez – Martí B., Lòpez – Cortès I., Salazar D., Fernández – Sarria A., 2015. Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete – return LIDAR data. *Biomass and Bioenergy*

Fiorino P., 2018. *Olea Trattato di olivicoltura*, Ed. Edagricole

Fontanazza G., 2007 – 2008. *Manuale di olivicoltura*, ARUSIA, Ed. Nuova Promoedit srl

Gertsis A., Fountas D., Arpasanu I., Michaloudis M., 2013. Precision agriculture application in a high density olive grove adapted for mechanical harvesting in Greece, *Procedia technology* pp.152 – 156

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 Physiology* pp 1575 - 1585

Laila Haggag F., Shanin M.F.M., Genaidy E.A.E., Mustafa N.S., 2013. Growth curve of fruit development stages of three olive cultivars, *Middle East Journal of Applied Sciences* pp 24 – 30

Link S. O., Thiede M. E., van Bavel M. G., 1998. An improved strain – gauge device for continuous field measurement of stem and fruit diameter, *Journal of Experimental Botany* pp.1583 – 1587

Moriando M., Leolini L., Brilli L., Dibari C., Tognetti R., Giovannelli A., Rapi B., Battista P., Caruso G., Gucci R., Argenti G., Raschi A., Centritto M., Cantini C., Bindi M., 2019. A simple model simulating development and growth of an olive grove, *European Journal of Agronomy* pp 129 – 145

Neri D., Massetani F., Giorgi V., 2009. *La Potatura*, Ed. Edagricole

Pisante M., Inglese P., Lecker G., 2009. *L' ulivo e l'olio*, collana *Coltura & Cultura*, Bayer CropScience, Ed. Script.

Piepoli M.G., Cardone A., Antonicelli M., Bulzis P.S., De Castro F., Savino V.N., 2009. Quaderno olivicoltura – l' olivicoltura in puglia, evoluzione del comparto e produzioni qualità, Ed: Centro di ricerca e sperimentazione in Agricoltura “ Basile Caramia” di Locorotondo

PM 7/24 (4) *Xylella fastidiosa*, 2019. European and Mediterranean Plant Protection Organization, Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, pp 175 – 227

Pollini A., 2006. Manuale di Entomologia applicata, Ed. Edagricole, Ozzano dell' Emilia

Ponce J. M., Aquino A., Millán B., Andújar J. M., 2018. Olive – fruit mass and size estimation using image analysis and feature modeling, *Sensors*

Ramos M.I., Gil A.J., Feito F.R., García – Ferrer A., 2007. Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements, *Science Direct, Computer and electronics in Agriculture*

Ramandeep Kaur, 2014. A Comparison of different measurement technologies for plant's height and diameter determination. *IOSR Journal and Communication Engineering* pp 72 – 76

Sanz – Cortès F., Martínez – Calvó J., Badenes M.L., Bleiholder H., Hack H., Llàcer G., Meier U., 2002. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europea*), *Association of Applied Biologists* pp 151 – 157

Wang Junming, Sammis W. Ted, 2008. New inexpensive dendrometers for monitoring crop tree growth. *Innovations in Irrigation Conference*