



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA POTATURA A
DIVERSA INTENSITÀ DELL'OLIVO TRAMITE
TECNICHE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE

PRECISION AGRICULTURE ASSISTED ANALYSIS OF
DIFFERENT PRUNING INTENSITY ON OLIVE TREE

Studente:
FRANCESCO BELLUCCINI

Relatore:
PROF. DAVIDE NERI

Correlatore:
DOTT.SSA VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| SOMMARIO | 2 |
| PREMESSA | 4 |
| INTRODUZIONE..... | 5 |
| Aspetti generali della potatura dell'olivo | 5 |
| Basi fisiologiche della potatura | 6 |
| Ciclo riproduttivo dell'olivo..... | 8 |
| Alternanza di produzione | 10 |
| Epoca di intervento | 12 |
| Intensità di potatura..... | 12 |
| Cambiamenti climatici e agricoltura di precisione | 14 |
| OBIETTIVI DELLA TESI | 18 |
| CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI | 19 |
| 1.1 Zona di studio | 19 |
| 1.2 Descrizione della prova sperimentale..... | 21 |
| 1.3 Rilievi effettuati in campo..... | 22 |
| 1.3.1 Misurazione dei tempi impiegati e pesatura delle potature..... | 22 |
| 1.3.2 Quantificazione della produzione..... | 22 |
| 1.3.3 Rilievo tramite strumentazione LiDAR..... | 22 |
| 1.4 Elaborazione dei dati LIDAR..... | 23 |
| 1.4.1 Calcolo del volume reale delle chiome..... | 24 |
| 1.4.2 Estrazione dei dati volumetrici con metodo sperimentale | 25 |
| CAPITOLO 2 RISULTATI E DISCUSSIONE..... | 32 |
| 2.1 Tempi impiegati per la potatura | 32 |
| 2.2 Peso del materiale asportato | 32 |
| 2.3 Ricostruzione grafica delle nuvole dei punti tramite algoritmi..... | 35 |
| 2.3.1 Alpha Shape..... | 36 |
| 2.3.2 Convex Hull..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 2.3.3 Triangolazione di Delaunay | 38 |
| 2.3.4 Metodo Voxel Based..... | 39 |
| 2.4 Valutazione dei volumi ottenuti con i diversi approcci e delle loro differenze..... | 40 |
| 2.4.1 Valutazione della differenza di volume tra il pre e il post potatura. | 41 |
| 2.4.2 Valutazione dei singoli algoritmi e confronto tra i dati ottenuti | 43 |
| 2.5 Analisi delle produzioni | 45 |
| CAPITOLO 3 CONCLUSIONI | 46 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 48 |

PREMESSA

In Italia, l'olivicoltura è caratterizzata da una elevata frammentazione delle aziende e da una forte variabilità nella gestione della tecnica colturale. A questa situazione sono associati i risultati della destinazione della coltivazione dell'olivo nelle aree marginali, tipica del passato e il graduale abbandono degli oliveti a causa dell'aumento dei costi di produzione e della diminuzione della disponibilità di manodopera.

Le complicazioni dovute agli eventi estremi dei cambiamenti climatici con forti variazioni negli andamenti meteorologici annuali si traducono in maggiori difficoltà di gestione soprattutto per quanto riguarda difesa, risorse idriche e organizzazione della potatura.

L'ammodernamento del comparto olivicolo necessario a contenere i costi e la necessità di adattare la coltivazione ai mutamenti climatici possono essere raggiunti attraverso diversi mezzi, tra i quali l'agricoltura di precisione che sembra essere uno degli strumenti più interessanti per modulare la tecnica colturale ai cambiamenti climatici e per semplificare la gestione grazie ai sistemi di supporto alle decisioni.

La potatura è uno degli aspetti che incide maggiormente sul bilancio dell'azienda olivicola, seconda solamente alla raccolta. Una delle strade intraprese per la semplificazione delle operazioni di potatura è stato il passaggio dal vaso tradizionale, detto anche dicotomico, caratterizzato da forme geometriche molto precise, al vaso libero policonico, meno ordinato geometricamente, ma gestito con una potatura più semplice da applicare e soprattutto meno onerosa in termini di tempo. Le due forme di allevamento e le relative tecniche di gestione sono ad oggi le più diffuse, perché entrambe garantiscono comunque una certa produttività, ma necessitano comunque dell'introduzione di innovazioni per semplificare le operazioni manuali e ridurre i costi di produzione. Sono anche importanti sistemi di supporto alle decisioni da prendere in potatura per poter organizzare al meglio comprensori produttivi dove scarseggia la manodopera, soprattutto quella specializzata.

INTRODUZIONE

Aspetti generali della potatura dell'olivo

La potatura di produzione è una delle pratiche agronomiche più importanti ed onerose nella coltivazione dell'olivo, sia a causa del suo forte impatto sul livello produttivo a breve e lungo termine, sia a causa dell'impatto sul carico di lavoro complessivo e sul bilancio economico dell'azienda. Negli anni si è assistito ad una certa evoluzione delle forme di allevamento dell'olivo passando da impianti molto radi, piante molto grandi e caratterizzate da dicotomie sulle branche principali e secondarie, richiedenti tempi di potatura molto lunghi (Dias, et al., 2012), a impianti più intensivi caratterizzati da forme e sestri di impianto più contenuti, strutturalmente semplici come il vaso policonico (Pannelli & Gucci, 2011), fino ad arrivare ad oliveti ad elevata densità disposti a formare una parete vegetativa uniforme (Lodolini et al 2018). È inoltre cambiata la redditività dell'azienda olivicola, a causa di una diminuzione dei redditi dovuta all'aumento dei costi di produzione, soprattutto riguardanti le operazioni di raccolta e potatura, e ad una diminuzione della manodopera disponibile (Fraga, et al., 2021). Tutto ciò ha necessariamente comportato l'esigenza di semplificare le operazioni di potatura rendendole il più agevoli possibile, semplici da attuare e veloci, in un'ottica di ridurre i costi (Dias, et al., 2012). Allo stesso tempo si è assistito ad una trasformazione delle tecniche di potatura che mirano ad assecondare il naturale comportamento della pianta, quindi sfruttano al meglio alcune caratteristiche intrinseche della pianta d'olivo come la forte azione di controllo dello sviluppo vegetativo determinata dalla presenza di cime. Bisogna comunque attribuire un valore agli oliveti più antichi o preesistenti, impostati con forme tradizionali, perché essi hanno un alto valore storico e paesaggistico; quindi, l'obiettivo è quello di perseguire l'innovazione della coltivazione dell'olivo ricercando nuove tecniche e mezzi di gestione sfruttando ad esempio l'agricoltura di precisione e, allo stesso tempo, valutare l'attuabilità di queste tecniche innovative per la gestione di impianti preesistenti, valorizzandoli.

Quando si attua la potatura di produzione nell'olivo devono essere tenuti in considerazione alcuni punti fondamentali per garantire il più possibile la longevità dell'impianto e la sua produttività, aspetti riconducibili al raggiungimento di una situazione di equilibrio vegeto

riproduttivo (Pannelli & Gucci, 2011). Gli obiettivi sono il contenimento delle dimensioni degli alberi, il mantenimento della forma di allevamento impostata e il rinnovo delle strutture riproduttive (Neri, 2020), in modo da evitare l'eccessivo invecchiamento della chioma e ottenere una struttura in cui la luce si diffonde in modo ottimale senza rischi di ombreggiamenti permanenti. La gestione della distribuzione della luce all'interno della chioma è fondamentale a causa della sua influenza sui processi fotosintetici a carico delle foglie e sulla differenziazione a fiore, ma soprattutto per evitare che un eccessivo ombreggiamento della parte bassa, la zona più agevole per la raccolta e la distribuzione dei trattamenti fitosanitari, ne comporti il progressivo deperimento a favore della zona più alta della chioma esposta maggiormente alla luce (Caruso & Proietti, 2011).

Basi fisiologiche della potatura

Il ciclo vitale di una pianta è distinto in stadi e fasi, caratterizzati da una diversa rigidità e diversa morfologia degli organi (Zucconi, et al., 1996). Gli stadi sono rigidi, cioè non possono essere alterati attraverso la tecnica colturale, mentre le fasi possono essere influenzate dalla gestione agronomica. L'ontogenesi del ciclo vitale, ovvero la sua descrizione, può essere espressa attraverso un modello che mette in relazione la sua evoluzione con la variazione del rapporto aereo radicale A/R (Zucconi, et al., 1996). Nel primo stadio del ciclo vitale, lo stadio di giovanità, questo rapporto è a favore dell'apparato radicale (a/R) (Zucconi, 2003) con forte attitudine vegetativa e assenza di produzione. In natura, per piante di olivo cresciute da seme, questo periodo dura all'incirca 15 anni (Lodolini & Neri, 2012), mentre in piante coltivate, derivanti da talea, micropropagazione o innesto, questa fase si riduce di molto. In questo caso, il breve periodo vegetativo viene utilizzato per impostare lo scheletro con la potatura di allevamento. Successivamente il rapporto tende ad aumentare e la parte aerea assume via via sempre più importanza in termini di sviluppo rispetto all'apparato radicale, si giunge quindi alla fase di maturità. Superato un determinato valore di rapporto A/R detto "soglia critica" o "massa critica" (Zucconi, 2003), la pianta raggiunge l'attitudine riproduttiva attorno al quarto anno dall'impianto (Neri, 2020) e assume quindi la capacità di produrre frutti, che riducono la crescita vegetativa in seguito a competizione per le risorse (Zucconi, 2003). Per i primi anni di produzione essa tende ad aumentare e ad essere costante negli anni, successivamente per cause ancora non note subentra il fenomeno dell'alternanza di produzione che verrà descritto più dettagliatamente in seguito. In questo stadio diviene fondamentale la gestione della pianta tramite la tecnica colturale per evitarne un eccessivo insenilimento (Neri, 2020), descrivibile con un apparato radicale non più capace di sostenere l'attività della pianta (A/r), che conduce

all'ultimo stadio irreversibile del modello, la senescenza (Zucconi, 2003). Questa condizione va evitata gestendo la pianta attraverso una corretta tecnica colturale in modo da raggiungere e mantenere una situazione di equilibrio vegeto riproduttivo (Neri, 2020). La potatura è uno degli strumenti, assieme alla concimazione, con cui si può manipolare il rapporto A/R, tenendo conto degli effetti che essa comporta nei confronti dello stesso al variare dell'intensità di intervento adottata (Neri, 2020). Una potatura molto intensa su piante mature, tipica della gestione tradizionale con branche primarie acefale (Pannelli & Alfei, 2019) o di potature a cadenza biennale, comporta una forte riduzione del rapporto A/R che raggiunge valori inferiori alla soglia critica (Zucconi, 2003) e di conseguenza la pianta ritorna improduttiva per un determinato periodo di tempo (Figura 1), fino a quando il rapporto A/R non viene ripristinato dalla nuova crescita delle strutture aeree, le quali però considerando le caratteristiche dell'olivo andranno a produrre frutti solo nell'anno successivo alla loro formazione.

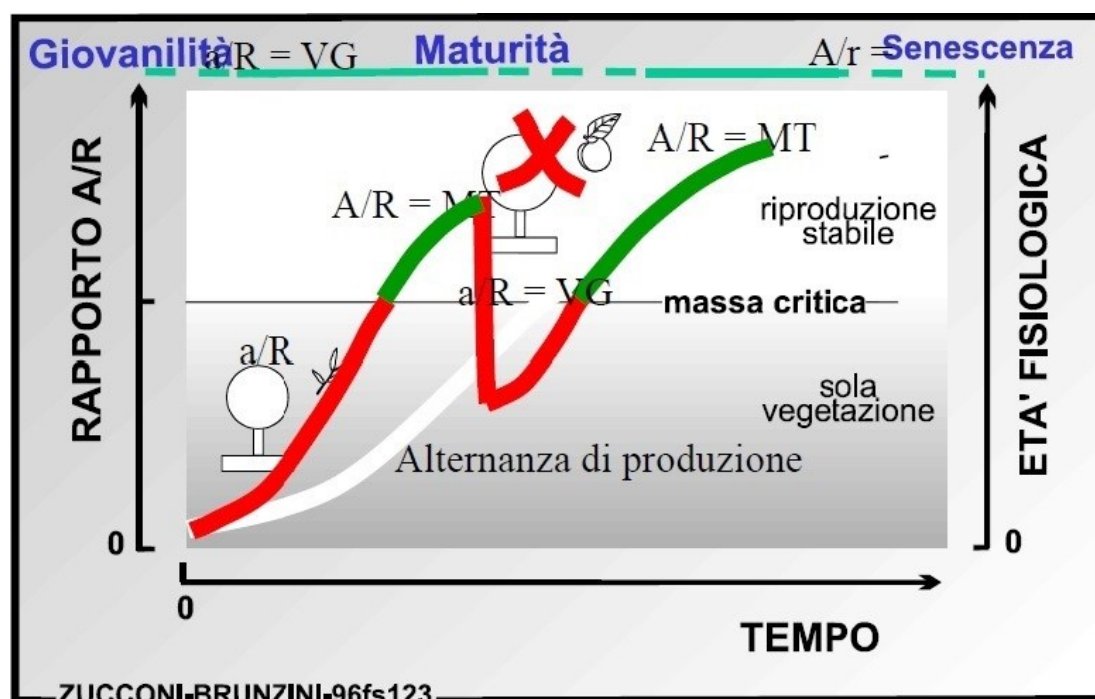


Figura 1: Effetto di una potatura molto intensa sul rapporto A/R Fonte: (Neri, 2020)

Al contrario una potatura più leggera, caratterizzata da minori asportazioni di materiale vegetale e attuata annualmente, aiuta a mantenere un rapporto A/R equilibrato e quindi la

potenzialità produttiva permane in tutti gli anni (Figura 2), oltre ad avere dei costi più contenuti (Caruso & Proietti, 2011).

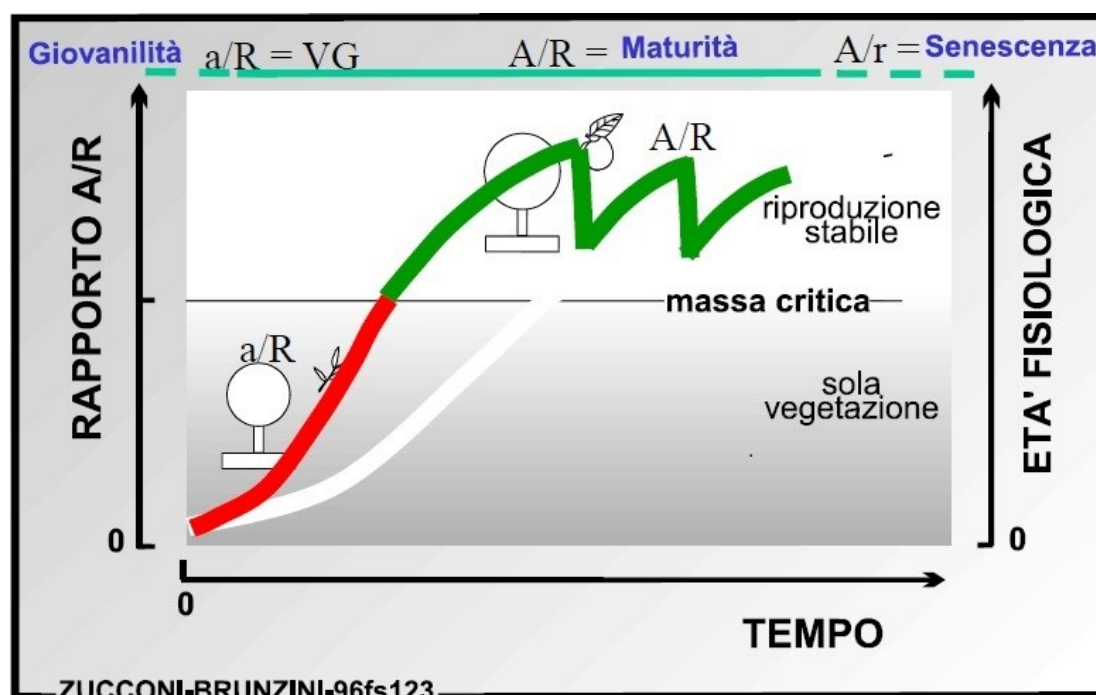


Figura 2: Effetti di una potatura equilibrata sul rapporto A/R. Fonte: (Neri, 2020)

Ciclo riproduttivo dell'olivo

Il ciclo riproduttivo della pianta di olivo ha durata biennale e la produzione avviene principalmente su rami misti di un anno di media vigoria (Pannelli & Alfei, 2019), posti nella parte distale della branca, dove si possono distinguere una parte di un anno, alla cui ascella delle foglie si formano fiori, e la parte di neoformazione terminale vegetativa (Lodolini & Neri, 2012).

La schiusura delle gemme a legno avviene alla ripresa vegetativa e nel primo anno di vita il germoglio è caratterizzato da una crescita vegetativa che si protrae a seconda del clima per periodi variabili (Neri, 2020). Nell'Italia Centrale la crescita inizia in primavera, alla ripresa vegetativa, e si protrae, se le disponibilità idriche e i parametri ambientali sono ottimali, fino al mese di agosto, dove subisce un arresto dovuto principalmente alla competizione data dalle drupe e dalla induzione florale che avviene a livello delle gemme ascellari delle foglie. Nei mesi successivi in base alle condizioni climatiche si possono avere delle ulteriori crescite in lunghezza del ramo, che si arrestano con l'arrivo della stagione fredda. Nel periodo invernale, si completano i processi di induzione a fiore delle gemme ascellari in seguito allo stimolo ricevuto dalle basse temperature ai quali segue il processo di differenziazione a fiore (Gucci

& Cantini, 2012) in fine inverno. Con la ripresa vegetativa inizia lo sviluppo delle infiorescenze che si protrae per diversi mesi, fino alla fase della fioritura che indicativamente avviene tra fine maggio e metà giugno. Segue la fase di allegagione, la prima fase di formazione del frutto, un processo fondamentale per la produttività dell'annata fortemente influenzato dalle condizioni climatiche e dalle disponibilità di nutrienti. In seguito il frutto cresce seguendo il processo tipico delle drupe, descrivibile con una curva di crescita a doppia sigmoide (Gucci & Cantini, 2012), fino ad arrivare alla maturazione in un'epoca variabile in base alle condizioni climatiche e al genotipo (Figura 3). Contemporaneamente allo sviluppo del frutto si ha anche l'accrescimento del germoglio vegetativo dell'anno, solitamente originato dalla gemma terminale del ramo dell'anno precedente. Risulta chiaro quindi che ci sarà una competizione per le risorse tra frutti e germogli e che sia necessario ottenere un equilibrio tra i due. In caso di eccessivo germogliamento si avrà infatti una produzione penalizzata, mentre un'eccessiva produzione porta ad un limitato germogliamento e quindi ad un ridotto potenziale produttivo per l'anno successivo.

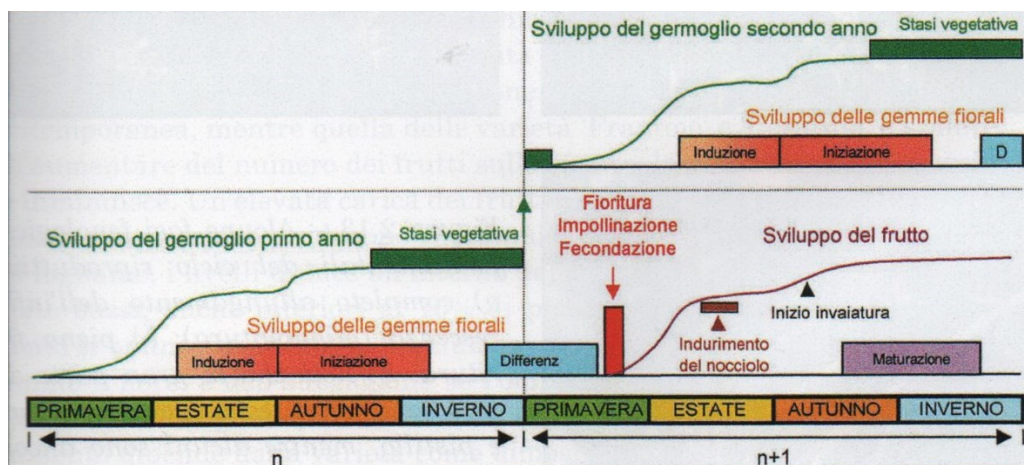


Figura 3: Ciclo riproduttivo dell'olivo. Fonte: (Gucci & Cantini, 2012)

Le branche secondarie vanno gestite con la potatura di produzione per garantirne la vitalità e la produttività nel tempo (Lodolini & Neri, 2012). In esse è possibile distinguere diverse zone (Figura 4), una parte prossimale all'inserzione della branca caratterizzata da rami vegetativi detta zona di rinnovo, una parte mediana vegeto riproduttiva, una zona terminale prettamente riproduttiva dove sono posizionati i rami misti e infine la zona sottostante la branca, detta di esaurimento (Caruso & Proietti, 2011; Lodolini & Neri, 2012).

Tutto questo sistema è soggetto a un'azione di rinnovo dovuto all'inclinazione della branca, causata dal peso dei frutti prodotti nella zona apicale e dall'emissione di nuovi assi nella zona

vegetativa, che induce l'inclinazione dei rami che seguono (Pannelli & Alfei, 2019). I rami misti posti all'apice hanno una durata variabile a seconda del genotipo e delle condizioni climatiche (Lodolini & Neri, 2012) e andrebbero rinnovati possibilmente prima che manifestino i sintomi tipici della senescenza, ovvero il defogliamento delle zone basali e la ridotta crescita vegetativa (Caruso & Proietti, 2011). Inoltre, a causa del modello di evoluzione della branca precedentemente descritto, essi vanno a posizionarsi col tempo nella zona di esaurimento sottostante la branca, finendo per essere schermati dalla luce dalle restanti strutture (Caruso & Proietti, 2011). I rami misti presenti nella zona vegeto riproduttiva sono generalmente molto vigorosi e andrebbero ridotti in numero quando comportano una eccessiva densità della chioma.

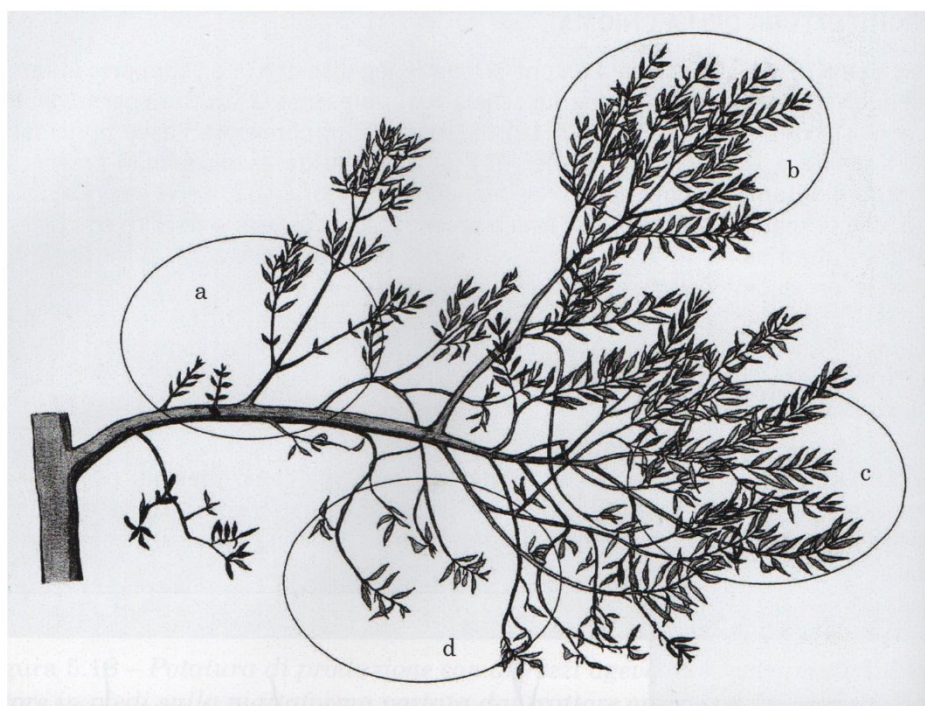


Figura 4: Modello di una branca fruttifera dell'olivo. Fonte: (Gucci & Cantini, 2012)

Alternanza di produzione

Il mantenimento della potenzialità produttiva e il raggiungimento dell'equilibrio aereo radicale non garantiscono però l'ottenimento di produzioni adeguate negli anni a causa del fenomeno dell'alternanza di produzione, tipico di alcune specie e molto accentuato nell'olivo (Monselise & Goldschmit, 1982). Esso consiste nell'alternarsi di annate caratterizzate da

elevate produzioni, dette annate di carica (year on), ad annate con produzioni scarse o nulle dette annate di scarica (year off) (Goldschmit, 2005). Il fenomeno si manifesta in maniera differenziata nell'apezzamento, tra piante vicine e sulle strutture di una singola pianta (Lodolini & Neri, 2012), e può essere analizzato a diversa scala temporale. Ad oggi non è ancora ben noto il meccanismo con cui essa si attiva ed è stato ipotizzato che sia una strategia adottata da alcune specie per garantirne la sopravvivenza nel lungo periodo (Goldschmit, 2005). Sono stati individuati diversi fattori di natura esogena ed endogena che possono influire sul livello produttivo dell'albero e che possono agire contemporaneamente rendendo più difficile la comprensione del fenomeno. I fattori endogeni sono riconducibili soprattutto a fenomeni di inibizione a livello ormonale date dalla presenza dei frutti in accrescimento, che inducono la produzione di gibberelline inibenti il processo di induzione a fiore (Goldschmit, 2005), alla competizione per gli elementi nutritivi operata dai frutti, ai possibili fattori di controllo genetico non ancora identificati (Goldschmit, 2005) ed infine alla ridotta crescita vegetativa negli anni di carica.

I fattori di natura esogena sono riconducibili alle condizioni climatiche in cui avvengono le fasi di mignolatura, fioritura, induzione ed alle tecniche colturali, tra cui potatura, concimazione, diradamento e raccolta. La potatura può amplificare l'alternanza di produzione se operata con intensità elevate perché la pianta tenderà ad investire risorse nel recupero del volume di chioma perso, in modo da ripristinare una condizione di rapporto A/R più equilibrata. In letteratura diversi autori (Gucci & Cantini, 2012; Pannelli & Gucci, 2011; Caruso & Proietti, 2011; Sibbet, 2005) suggeriscono di potare più intensamente durante l'anno di carica, in modo da ridurre il carico di fiori e di conseguenza ridurre la competizione nei confronti della crescita vegetativa necessaria per la produzione del successivo anno. Al contrario durante l'anno di scarica si dovrebbe operare con potature meno intense. Generalmente però unicamente con la potatura si riesce solo ad attutire il fenomeno dell'alternanza (Gucci & Cantini, 2012; Lavee, 2007) e solamente in quegli ambienti dove ci sono andamenti climatici più costanti (Lavee, 2007).

Uno strumento più interessante nel controllo del fenomeno è il diradamento (Sibbet, 2005; Lavee, 2007), effettuato negli anni di carica, in modo da avere un effetto positivo anche sulla produzione dell'anno (Lavee, 2007). In questo caso non viene persa superficie fogliare (Martin, et al., 2005) come nella potatura, ma si ottiene un aumento del rapporto foglie su produzione che comporta una maggiore capacità di sostenere anche la crescita vegetativa dei germogli (Sibbet, 2005). Questa pratica è però limitata alla produzione delle olive da mensa, ma è comunque poco diffusa a causa degli alti costi di applicazione (Gucci & Cantini, 2012).

La potatura di produzione rimane comunque indispensabile se non per eliminare l'alternanza, sicuramente per limitarla, equilibrando la pianta e garantendo un prolungamento dello stadio adulto e riproduttivo.

Epoca di intervento

La potatura di produzione andrebbe eseguita nel periodo di riposo vegetativo tra fine febbraio e marzo in modo da evitare ripartenze precoci dei germogli, i quali sarebbero troppo suscettibili alle basse temperature (Gucci & Cantini, 2012) o al rischio di danni da gelate del periodo invernale. In zone con inverni più miti l'inizio dei lavori può essere anticipato di qualche mese, ma è necessario intervenire, anche in questo caso, solo quando la pianta è in riposo vegetativo. Queste considerazioni vanno comunque integrate alla situazione aziendale, in quanto la scelta del periodo di potatura va valutata anche in funzione della disponibilità di manodopera, dei cicli delle altre eventuali colture praticate in azienda (Gucci & Cantini, 2012) e in base alle superfici degli oliveti.

Potature eseguite più tardivamente a primavera inoltrata non sono ottimali per ottenere una buona risposta vegetativa dato che la pianta ha già movimentato molte riserve verso i germogli in crescita (Caruso & Proietti, 2011), riserve che con il taglio verrebbero perse andando ad influire negativamente sulla crescita dei nuovi germogli lasciati con la potatura.

Nel periodo estivo gli interventi di potatura su piante mature riguardano la sola rimozione di eventuali polloni e succhioni per evitare una loro eccessiva lignificazione (Gucci & Cantini, 2012) e rimuovere la forte competizione tra essi per l'ottenimento di risorse e acqua (Tombesi & Tombesi, 2007).

Intensità di potatura

Per intensità di potatura si intende la quantità di legno asportato tramite gli interventi di potatura. La scelta dell'entità dell'intervento non è semplice e va valutata attentamente: un'intensità eccessiva comporta una risposta vegetativa elevata che deprime la produttività, una potatura eccessivamente blanda potrebbe comportare un eccessivo ombreggiamento (Proietti, et al., 2008).

Vanno considerati i molteplici fattori che influenzano la vigoria della pianta, ovvero la cultivar, l'età della pianta, le disponibilità idriche, la fertilità del suolo, la lunghezza della stagione vegetativa e il carico di frutti dell'annata precedente (Gucci & Cantini, 2012).

Per quanto riguarda l'età della pianta si deve intervenire il meno possibile su piante giovani, perché uno stimolo vegetativo troppo elevato potrebbe ritardare l'entrata in produzione (Tombesi & Tombesi, 2007), su piante mature e in equilibrio vegeto riproduttivo si dovrebbe intervenire in modo leggero e gestire in modo adeguato la tecnica colturale, su piante che manifestano i primi sintomi di senescenza si deve intervenire in maniera più energica in modo da stimolare il rinnovo della parte aerea (Proietti, et al., 2008).

Nel caso di turni di potatura biennali o a cadenza maggiore, si dovrebbe intervenire in maniera più intensa all'aumentare degli anni in cui non viene eseguita la potatura. (Gucci & Cantini, 2012; Proietti, et al., 2008) .

In zone soggette ad aridità o ad andamenti irregolari della disponibilità idrica, una potatura più intensa potrebbe aiutare la pianta a superare i periodi avversi, a causa della riduzione della superficie fogliare (Proietti, et al., 2008).

Per quanto riguarda le considerazioni da fare sul carico produttivo degli anni precedenti valgono le considerazioni discusse nel precedente paragrafo riguardante l'alternanza di produzione, cioè intervenire intensamente negli anni in cui è prevista una produzione elevata ed intervenire in maniera ridotta o minima nelle annate in cui è prevista una produzione ridotta.

In ogni caso i moderni orientamenti per la gestione e organizzazione della potatura indicano come condizione ottimale potature ridotte o addirittura non effettuare la potatura in alcune situazioni, il tutto in un'ottica di ridurre i costi data l'elevata incidenza sulla redditività dell'azienda.

In letteratura sono presenti alcuni studi riguardanti gli effetti della potatura a diversa intensità. Tombesi & Tombesi (2007) riportano che in una prova di potatura a tre diverse intensità, leggera, media e pesante effettuata con cadenza annuale biennale e triennale su piante di 10 anni allevate a vaso, le maggiori produzioni sono state registrate nelle piante gestite con potatura leggera, probabilmente a causa di una maggiore superficie fogliare e dalla maggiore emissione di rami di vigoria media.

Rodrigues et al. (2018) hanno condotto una prova per valutare gli effetti della intensità di potatura in un impianto di 25 anni di età non irrigato, con cultivar 'Cobrançosa', sesto di impianto 7x7m, dall'autunno del 2012 all'autunno del 2016. Sono state effettuate due prove, nella prima sono state testate diverse intensità di potatura in seguito ad una annata di scarica effettuate con differenti turni, una potatura pesante con il 75% di superficie fogliare rimossa e turno di 4 anni, una potatura intermedia con rimozione del 50% di superficie fogliare e turno di 3 anni, potatura leggera effettuata annualmente e delle piante non potate utilizzate come controllo. La seconda prova prevedeva due sole tesi cioè la potatura pesante e la non potatura

effettuate dopo un anno di carica. Dai risultati emerge che le potature più intense hanno comportato una riduzione della produzione in tutte le varie tesi, ma allo stesso tempo una maggiore dimensione finale dei frutti, dovuta probabilmente ad una maggiore disponibilità di fotosintetati per singolo frutto. Nelle piante non potate è stata registrata una produzione più alternante, probabilmente a causa di una maggiore dimensione della chioma e quindi di produzioni molto elevate durante gli anni di carica.

Lodolini et al. (2019) hanno impostato una prova, in Centro Italia su impianto allevato a vaso policonico, sesto di impianto 6.5x6.5m, con cultivar 'Raggia', 'Maurino' e 'Leccino', per valutare gli effetti della potatura effettuata con diversa intensità e in periodi dell'anno differenziati cioè alla ripresa vegetativa e alla fioritura. Hanno così dimostrato che la potatura leggera comporta una produzione più stabile negli anni, mentre la potatura pesante ha comportato una riduzione della produzione in tutte le varie tesi, in particolar modo se effettuata tardivamente alla fioritura. Le piante non potate, utilizzate come controllo, hanno prodotto una maggiore quantità di frutti rispetto a tutte le altre tesi, ma all'ultimo anno di sperimentazione erano caratterizzate da un'eccessivo ombreggiamento della chioma e fenomeni di senescenza.

Cambiamenti climatici e agricoltura di precisione

Un altro aspetto molto importante è la necessità di adattare l'attività agricola ed in particolare la tecnica colturale al problema dei cambiamenti climatici, che per le zone di diffusione della specie riguardano principalmente incrementi delle temperature, riduzioni delle precipitazioni medie annue e intense ondate di calore (Fraga, et al., 2021). Per una specie sempreverde come l'olivo questi possono avere un grande impatto, pur essendo essa ben adattata a condizioni di bassa disponibilità idrica e temperature relativamente elevate (Pannelli & Alfei, 2019).

L'agricoltura di precisione è uno degli strumenti più interessanti a disposizione per ridurre gli impatti ambientali dovuti alla coltivazione e per aumentare la sostenibilità economica della coltivazione (Blackmore, 2002). Questo perché essa permette, attraverso diverse tipologie di strumentazioni, di ottimizzare la tecnica colturale, intervenire in maniera mirata, ad esempio con concimazioni o trattamenti fitosanitari al momento del bisogno e di calibrare gli interventi in base alle reali necessità della pianta (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004) (Alamo, et al., 2012). Tutto ciò si ripercuote in una maggiore sostenibilità ambientale, maggiore sostenibilità economica e semplificazione della gestione aziendale per l'agricoltore.

Per quanto riguarda gli arboreti l'agricoltura di precisione è stata utilizzata soprattutto per ricavare dati riguardanti le chiome dei singoli alberi presenti negli impianti, molto utili per programmare in modo ottimale gli interventi previsti dalla tecnica colturale come potature e concimazioni (Assirelli, et al., 2021). In generale l'ottenimento di dati dendrometrici attraverso le normali tecniche di misurazione è molto complicato, sia a causa dell'elevato dispendio di tempo (Xiangyang, et al., 2021) sia per la difficoltà di valutare alcune dimensioni senza ricorrere in errori o approssimazioni (Escolà, et al., 2015), soprattutto a causa delle irregolarità della forma della chioma. Per questi motivi, negli ultimi anni sono stati effettuati diversi studi per valutare metodi alternativi alla misurazione manuale ed alcuni di essi si basano sull'utilizzo della tecnologia MBS o Mobile Laser Scanner, ovvero dei sistemi di rilevazione laser portatili che permettono scansioni fatte dall'alto tramite droni o direttamente da terra su sistemi portatili. Tra essi vi sono i sistemi LiDAR (light detection and ranging), cioè degli strumenti capaci di effettuare misurazioni molto accurate basandosi sull'emissione di radiazioni luminose a diversa lunghezza d'onda (Dubayah & Drake, 2000). Il LiDAR (light detection and ranging) è uno strumento di remote sensing che permette di effettuare rilievi molto precisi degli oggetti che ci circondano, sfruttando l'emissione di radiazioni luminose a frequenze che vanno da 250 nm a 11 μ m a seconda delle applicazioni, con lo stesso principio di funzionamento dei sistemi radar (Dubayah & Drake, 2000). Al contrario dei radar però essi non possono essere utilizzati in presenza di nebbia o condizioni meteo avverse perché questi ostacolerebbero le radiazioni emesse. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012). Il sistema emette radiazioni luminose, che colpiscono gli oggetti che circondano la fonte di emissione, queste radiazioni vengono riflesse dalle superfici verso la fonte dove un sistema registra il tempo di ritorno impiegato dal segnale. Tenendo conto della velocità costante delle radiazioni elettromagnetiche si può calcolare la distanza tra la fonte e l'oggetto che ha riflesso la radiazione. Allo stesso tempo vengono registrate le coordinate spaziali x, y, z di tutti i punti in cui le radiazioni hanno colpito la superficie di un oggetto, le quali vengono registrate secondo il sistema di riferimento (Fernández-Sarría, et al., 2013) GNSS impostato nella strumentazione. L'assegnazione delle coordinate ai singoli punti viene effettuata considerando il tempo di ritorno della radiazione, l'angolo con cui questa viene emessa e la posizione della fonte di emissione sulla superficie terrestre (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012). La tecnologia LiDAR può essere utilizzata per effettuare rilievi aerei tramite apparecchiatura montata su droni o rilievi terrestri con i sistemi indicati con la sigla TLS Terrestrial Laser Scanner, che possono essere statici o dinamici (Muhadi, et al., 2020). I

LiDAR sono composti da un laser scanner cioè la fonte di emissione della radiazione luminosa, un sistema di archiviazione dei dati, una fotocamera digitale, computer e un sistema GNSS necessario per geo referenziare la scansione svolta. (Muhadi, et al., 2020).

Il risultato del rilievo con il LiDAR è l'ottenimento di nuvole di punti, con coordinate note, tridimensionali che raffigurano gli oggetti colpiti dalla radiazione emessa dal laser (Dassot, et al., 2011). Queste nuvole possono essere processate tramite programmi informatici per ottenere una rappresentazione grafica, ad esempio mediante algoritmi di triangolazione, e successivamente possono essere utilizzate per estrarre dati come, ad esempio, le dimensioni degli oggetti o la loro posizione. In letteratura sono riportati molti approcci differenti per processare le nuvole di punti (Pinliang & Qi, 2017) e spesso ognuno di loro è calibrato in base agli obiettivi dei diversi studi. La maggior parte di questi studi in arboricoltura è però relativa ad applicazioni in ambito forestale, quindi con strutture scheletriche degli alberi relativamente più semplici rispetto ad alberi da frutto e in particolare a quelle dell'olivo.

Xiangyang, et al., 2021 hanno utilizzato la nuvola dei punti ottenuta dalla scansione con il LiDAR di un impianto di *Citrus grandis* per trovare il volume delle chiome degli alberi, confrontando il volume ottenuto dalle misurazioni effettuate in campo approssimando la chioma ad un ellissoide con i volumi ottenuti da diverse tipologie di algoritmi. La nuvola dei punti è stata prima elaborata per togliere i punti non appartenenti alle piante da frutto, successivamente tramite un algoritmo di clustering sono state individuati i singoli alberi.

Alle singole chiome sono stati poi applicati 3 diversi algoritmi per poter estrarre i volumi, Convex Hull, Alpha Shape e Voxel Based. I primi due sono stati applicati sia sulla nuvola dei punti intera sia su una nuvola dei punti divisa in sezioni di diverso spessore, ricavate sezionando la nuvola lungo l'asse Z, il sistema dei voxel è stato invece applicato su nuvole dei punti intere.

Dai risultati è emerso che probabilmente la forma dell'ellissoide utilizzata come modello per calcolare i volumi delle chiome partendo dai dati raccolti manualmente tende a sovrastimare il reale volume delle chiome, oltre ad essere difficile da applicare ed onerosa in termini di tempo impiegato per la misurazione. Gli algoritmi hanno mostrato sostanziali differenze tra loro in termini di volume, probabilmente a causa del loro diverso funzionamento soprattutto nel differenziare gli spazi vuoti da quelli contenenti punti. Con il Convex Hull sono stati ottenuti valori molto simili a quelli ottenuto dalla misurazione manuale, con Alpha Shape è stato osservato che si ottengono volumi minori rispetto agli altri algoritmi più vicini secondo gli autori ai valori reali.

Facendo lavorare gli algoritmi su chiome sezionate è stata osservata una riduzione in tutti i casi dei volumi ottenuti, ma una maggiore precisione e vicinanza ai valori reali nel caso dell'utilizzo di Alpha Shape. Secondo gli autori questo è dovuto probabilmente alla maggiore precisione con cui gli algoritmi possono lavorare.

Fernández-Sarría, et al., 2019 al hanno riportato i risultati della sperimentazione sull'utilizzo del LiDAR per stimare la quantità di biomassa prodotta da piante di olivo tramite la potatura. In questo caso l'analisi è stata fatta in un oliveto intensivo nel Sud della Spagna ed è stato fatto un confronto tra i dati raccolti manualmente e l'utilizzo di un sistema TLS. I volumi ottenuti manualmente sono stati ricavati misurando singolarmente le piante in campo ed approssimando la forma della chioma ad un paraboloide. La nuvola dei punti ottenuta dal rilievo con il TLS è stata elaborata utilizzando il software MATLAB creando diverse routine, per eliminare il terreno, i punti diversi da quelli degli alberi e per separare il tronco dalla chioma. Le nuvole di punti delle chiome sono state poi processate con diversi algoritmi: Convex hull applicato su chioma intera e su chioma divisa in sezioni orizzontali da 10 cm, Delaunay triangulation utilizzato su chioma sezionata ogni 10 cm, ed infine il metodo Voxel Based con voxel di lato 3cm. Dall'analisi statistica dei dati ottenuta dagli autori è emerso che i valori di volume della chioma ottenuta con Convex hull e Delaunay Triangulation mostravano un coefficiente di correlazione elevato confrontandoli con i dati ottenuti manualmente. Lo stesso risultato è emerso per gli altri parametri valutati dallo studio ovvero l'altezza delle chiome e il diametro del tronco.

Questi aspetti, ovvero l'evoluzione della tecnica colturale, in particolare della potatura, la necessità di adattarsi ai cambiamenti climatici e l'analisi dei dati dendrometrici tramite LIDAR sono la base da cui è partito lo studio illustrato in questo elaborato di tesi.

OBIETTIVI DELLA TESI

Il lavoro illustrato in questa tesi fa parte del progetto denominato Oliv-GET, un piano finanziato attraverso la misura 16.1 del PSR, che si occupa di introdurre nuove tecniche di coltivazione nell'areale della DOP Olio Extravergine di Oliva Cartoceto, in modo da incrementare la sostenibilità ambientale ed economica della coltivazione dell'olivo nei comuni ricadenti nella DOP ovvero Cartoceto, Mombaroccio, Saltara, Serrungarina e Fano.

L'obiettivo della tesi è stato quello di confrontare gli effetti della potatura dell'olivo effettuata con tre diverse intensità andando a valutare i tempi impiegati per l'esecuzione, le differenze nelle quantità di materiale asportato e confrontando le differenze di produzione tra le tre tesi.

Allo stesso tempo è stata valutata l'efficacia e la precisione della strumentazione LiDAR nel rilevare differenze di volume delle chiome degli alberi tra la situazione prima e dopo aver effettuato la potatura, tramite un'analisi dei dati raccolti mediata da diverse tipologie di algoritmi.

Capitolo 1

MATERIALI E METODI

1.1 Zona di studio

La prova di potatura è stata eseguita presso l’Azienda Agricola Luvia, situata nel comune di Cartoceto (235 m.s.l.m.), in provincia di Pesaro e Urbino, ricadente nell’areale della DOP Olio Extravergine di Oliva Cartoceto. L’appezzamento scelto per la sperimentazione (Figura 5) è un oliveto posto in una posizione di medio versante, esposto a Sud-Est, di circa quaranta anni di età e gestito con sistemi di agricoltura biologica. L’interfilare è gestito tramite un inerbimento permanente e la fertilizzazione viene effettuata con distribuzione di materiale organico. Il sesto di impianto è di sei per sei metri con forma di allevamento a vaso policonico.



Figura 5: Immagine aerea dell'appezzamento in cui si è svolta la prova

L’andamento meteorologico durante il periodo in cui è stata effettuata la prova è stato caratterizzato (Figura 6) da una prima parte dell’anno con precipitazioni molto ridotte, soprattutto nei mesi estivi, con la quasi totale assenza di piogge per tutto il periodo di giugno,

seguito da un autunno caratterizzato da piogge molto abbondanti, soprattutto nei mesi di ottobre e novembre.



Figura 6: Andamento pluviometrico del 2022

Per quanto riguarda le temperature (Figura 7) si è assistito a temperature medie mensili nella media per il periodo primaverile, seguito da un'estate particolarmente calda con temperature sia massime che medie elevate, soprattutto nel periodo di agosto. Le abbondanti precipitazioni autunnali hanno comportato un repentino calo delle temperature (Protezione Civile delle Marche).

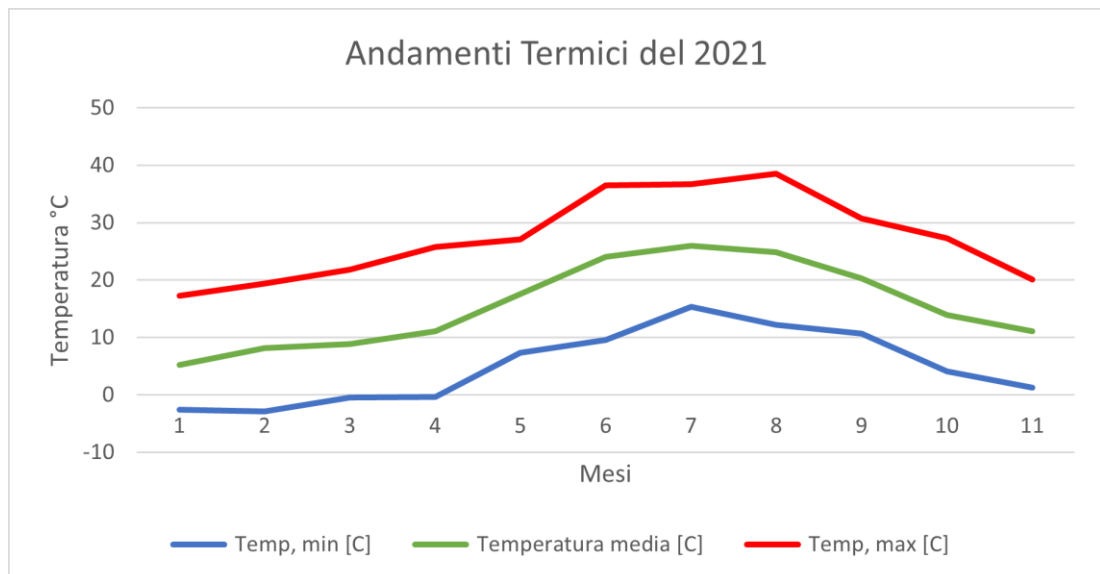


Figura 7: Andamenti termici dell'anno 2021

1.2 Descrizione della prova sperimentale

Sono state scelte tre file di piante affiancate tra loro, per ogni fila sono state scelte sette piante e ognuna è stata catalogata con un numero; ad ogni pianta è stato assegnato quindi un codice numerico dato dal numero della fila e dal numero della pianta. Le piante scelte appartengono alle cultivar Frantoio e Leccino, due cultivar molto diffuse a livello nazionale e inserite nell'elenco delle cultivar utilizzabili per la produzione della DOP Olio Extravergine di Oliva Cartoceto.

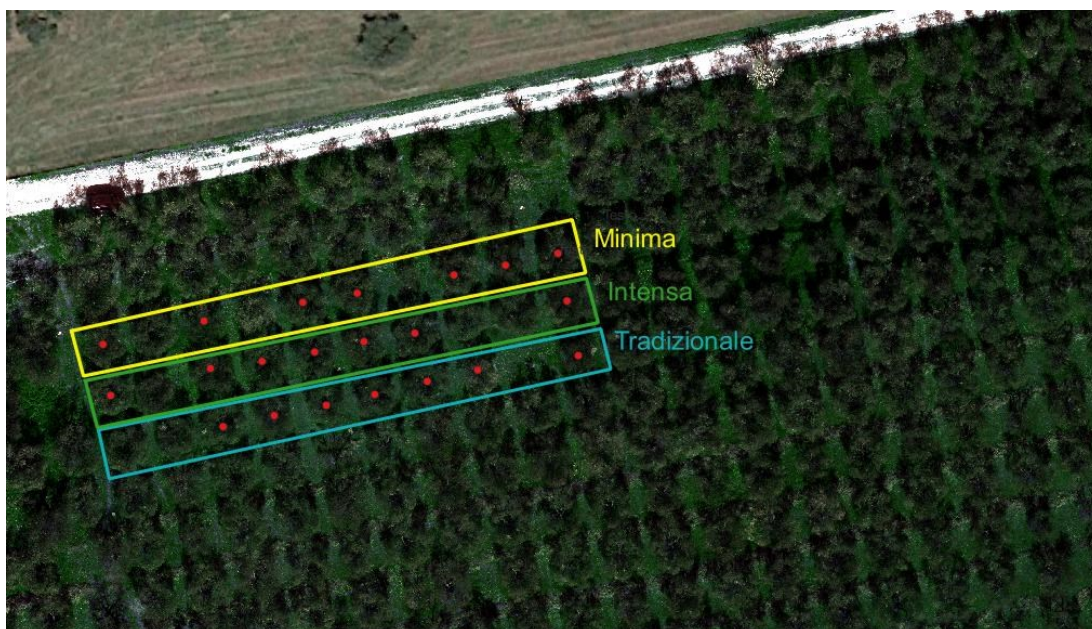


Figura 8: Schematizzazione della prova. Le piante scelte sono indicate dal punto rosso.

La prova di potatura è stata eseguita dal personale dell'azienda in data 25/03/2021, ad ognuna delle tre file è stato applicato un diverso trattamento in termini di intensità di potatura. Le operazioni di taglio sono state svolte da terra, tramite l'utilizzo di forbici e seghetti portati su aste telescopiche e con una motosega per facilitare l'esecuzione dei tagli più grandi, frequenti in una delle tre tesi.

La prima fila è stata gestita con una potatura definita 'minima' con pochi interventi cesori mirati soprattutto ad alleggerire e definire una cima per ogni branca e la rimozione di branche secondarie mal posizionate e di alcune dicotomie. La seconda fila, posta al centro delle tre in prova è stata gestita con una potatura 'intensa' ovvero con tagli di dimensioni più importanti con l'obiettivo di selezionare le branche e ridurre il numero, intervenendo poi sulle branche lasciate con tagli per abbassare la chioma e riportare la vegetazione su assi meglio posizionate, simulando quindi gli effetti di una potatura di rinnovo. Nella terza e ultima fila è stata eseguita una potatura assecondabile alle modalità di potatura 'tradizionale' quindi con molti tagli

eseguiti per dare una forma geometrica ben definita alla chioma, caratterizzata dall'assenza di un ramo terminale con funzione di cima a livello delle branche principali e da numerose dicotomie. In tutte e tre le tesi, ove necessario, sono stati rimossi i polloni, i succhioni eccessivamente vigorosi, soprattutto nella parte centrale dell'albero, e i rami secchi o danneggiati.

1.3 Rilievi effettuati in campo

1.3.1 Misurazione dei tempi impiegati e pesatura delle potature

Durante le operazioni di potatura sono stati registrati i tempi impiegati dagli operatori per effettuare la potatura delle piante selezionate, in modo da poter successivamente effettuare dei confronti e valutare eventuali differenze. Contestualmente è stato diviso il materiale asportato da ognuna di esse, in modo da permettere la pesatura del legno di potatura. Questa è stata fatta con una bilancia elettronica, separando prima i residui con diametro maggiore di due centimetri dalla restante parte e registrando quindi i pesi. Di conseguenza per ognuna delle piante sono stati ottenuti due valori di peso dei residui uno relativo al legno di potatura dato dalla componente con diametro maggiore di due centimetri e l'altro rappresentato dai rami più esili.

1.3.2 Quantificazione della produzione

Durante le operazioni di raccolta delle drupe, che è stata effettuata il 25/11/2021, sono stati raccolti dati riguardanti le produzioni di olive espresse in chilogrammi per ognuna delle piante interessate dalla prova. La raccolta è avvenuta per mano degli operai dell'azienda ed è stata effettuata manualmente con agevolatori meccanici. La produzione di ogni singola pianta è stata separata, stoccata in cassette forate e successivamente pesata.

1.3.3 Rilievo tramite strumentazione LiDAR

In campo sono stati effettuati due rilievi da terra attraversando i tre filari delle piante in prova, in modo da effettuare una scansione a 360° delle piante. È stato eseguito un primo rilievo antecedente la potatura, per ottenere una nuvola di punti rappresentativa della situazione di partenza e il secondo rilievo è stato fatto dopo aver eseguito la potatura in modo da poter successivamente analizzare le eventuali differenze tra le due nuvole di punti ottenute. Lo strumento utilizzato è il Kaarta Stencil 2-16® un sistema LiDAR di tipo TLS che permette di fare scansioni da terra, con angolo di emissioni delle radiazioni luminose di 30° sulla

verticale (da $+15^\circ$ a -15°) e visione a 360° sul piano orizzontale (<https://www.kaart.com/products/stencil-2-for-rapid-long-range-mobile-mapping/#Specs>, s.d.). Il dato grezzo ottenuto dal rilievo effettuato con strumentazione LiDAR contiene le coordinate dei punti rilevati e due parametri, l'intensità e il tempo. L'intensità indica la capacità della superficie colpita dalla radiazione di riflettere la radiazione emessa dalla fonte (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012), il tempo invece indica il tempo a cui è stato acquisito il punto. Per ottenere la georeferenziazione della nuvola di punti ottenuta dalla scansione, sono stati marcati in via preliminare dei punti tramite sistema di rilevazione GNSS TOPCON HYPER HR® (<https://www.topconpositioning.com/it/gnss-and-network-solutions/integrated-gnss-receivers/hiper-hr>) collegato al servizio NetGeo, posizionando dei target riflettenti fissi a terra.

1.4 Elaborazione dei dati LIDAR

Il dato grezzo è stato elaborato con il software CloudCompare™ (<http://www.cloudcompare.org/>) un programma opensource utilizzato per analizzare e lavorare su nuvole di punti. Per prima cosa è stato necessario georeferenziare manualmente la nuvola dei punti utilizzando le coordinate dei punti rilevati a terra con antenna GNSS della TOPCON HYPER® (<https://www.topconpositioning.com/it/gnss-and-network-solutions/integrated-gnss-receivers/hiper-hr>) dato che il Kaarta Stencil 2 utilizzato non è dotato di un sistema GNSS. La georeferenziazione è stata eseguita usando i punti battuti in campo su target riflettenti, in modo da facilitare il riconoscimento visivo durante il processo di assegnazione del sistema di riferimento WGS 84 – UTM 33N. Infine, è stato eseguito un ritaglio manuale per estrarre la parte di nuvola di punti relativa ai tre filari di piante selezionate per la prova di potatura.

La nuvola dei punti ottenuta è stata poi filtrata tramite la funzione SOR (statistical outlier removal) (Balta, et al., 2018) per andare a rimuovere il rumore, ovvero punti anomali, eccessivi, che si formano ad una certa distanza rispetto alla superficie degli oggetti rilevati, caratterizzati da una densità di punti elevata che conferiscono una forma geometrica difforme dalla realtà.

In seguito, tramite la funzione CSF Cloth simulation filter (Zhang, et al., 2016) presente in CloudCompare è stato possibile andare a separare i punti relativi agli alberi da quelli del terreno, in modo da semplificare le fasi successive. Si è dovuto però intervenire ulteriormente per ottenere una separazione più accurata dal terreno tramite lo strumento 'Features

Geometric’, dato che con la funzione CSF in alcuni casi i punti appartenenti al tronco degli alberi venivano considerati come punti del terreno.

Una volta identificata la nuvola di punti del filare di alberi, la seconda fase è stata di estrazione del dato metrico da ogni singolo albero. Il processamento è stato svolto in Matlab (The MathWorks, Inc., 2021) utilizzando l’algoritmo DBSCAN (The MathWorks, Inc., 2021) già presente con codice dal software. L’algoritmo consiste in un processo di clusterizzazione, ovvero capace di individuare dei cluster dei punti in base a dei parametri scelti. Si è dovuto comunque intervenire successivamente anche in maniera manuale per rendere più accurata la separazione perché, data la vicinanza in alcuni casi delle chiome soprattutto nella nuvola dei punti della situazione pre-potatura, l’algoritmo tendeva a non distinguere accuratamente due piante vicine.

Infine, dopo aver segmentato i singoli alberi, a cui DBSCAN ha assegnato un valore univoco e creato una nuova lista di dati chiamato ID, si è tornati nuovamente in CloudCompare, per separare la chioma dallo scheletro. Questo processo è stato fatto basandosi sulla diversa intensità dei punti registrati con il LiDAR attraverso lo strumento gradazione di CloudCompare, in quanto il tronco presenta una diversa intensità di rifrazione della radiazione emessa dal LiDAR rispetto a quella della chioma.

1.4.1 *Calcolo del volume reale delle chiome*

Tramite CloudCompare sono stati rilevati i dati per il calcolo del valore reale del volume delle chiome utilizzato come riferimento per il successivo confronto con dati ottenuti dal rilievo LiDAR. In letteratura sono riportati diversi modi e prove di calcolo del volume della chioma degli alberi mediante l’approssimazione della chioma a diverse forme geometriche, scelte in base alla specie. Ad esempio, Fernández-Sarría, et al., 2013, per il calcolo del volume di *Platanus hispanica* hanno utilizzato il cono, il paraboloide e l’emisfero, Miranda-Fuentes, et al., 2015 hanno utilizzato diversi approcci per calcolare il volume delle chiome di olivi, tra questi vi è l’approssimazione ad un ellissoide, Fernández-Sarría, et al., 2019 hanno scelto la forma paraboloide per determinare il volume della chioma degli olivi, Xiangyang, et al., 2021, hanno approssimato la forma della chioma di *Cytrus grandis* ad un ellissoide.

Per questa sperimentazione sono state testate due forme geometriche, la forma paraboloide, il cui volume è stato calcolato mediante la formula $\frac{1}{2} \frac{\pi \cdot Dc^2 \cdot Hc}{4}$ (Fernández-Sarría, et al., 2019) dove Dc indica il diametro della chioma ed Hc l’altezza della chioma. L’altra forma geometrica testata è quella del toro, cioè il risultato della rotazione di una circonferenza attorno ad una retta complanare ed esterna ad essa (Treccani, 2013), data la sua somiglianza

alla chioma degli olivi impostati a vaso policonico, il cui volume è stato calcolato mediante la formula $2\pi^2 \cdot Rr^2$ (Figura 9).

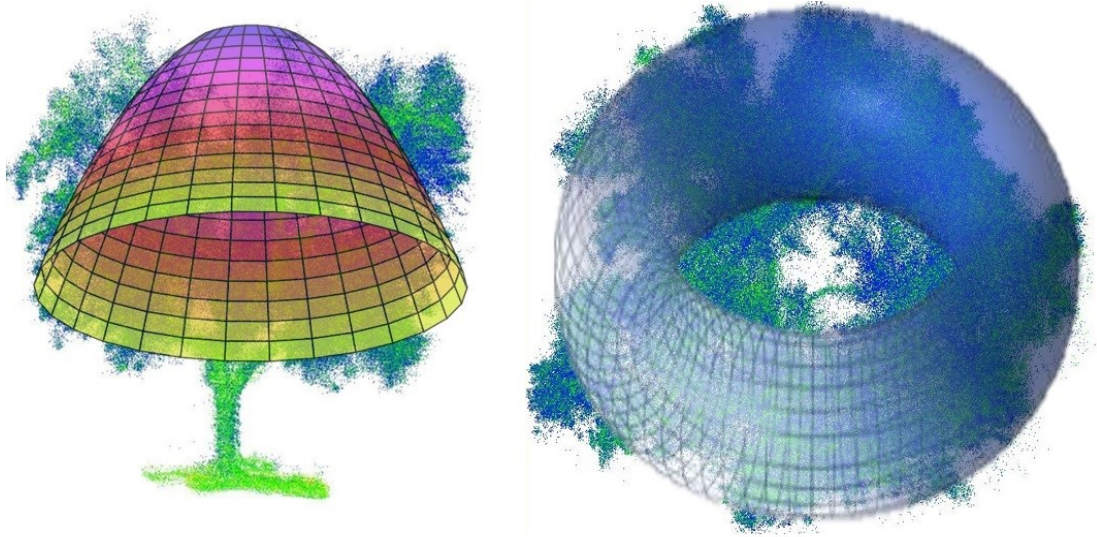


Figura 9: Forme geometriche utilizzate per il calcolo del volume reale della chioma, a sinistra la forma paraboloidale e a destra il toro.

1.4.2 Estrazione dei dati volumetrici con metodo sperimentale

Per estrarre il dato volumetrico dalle nuvole dei punti delle chiome è stato impostato un algoritmo utilizzando il software MATLAB®, che permette di ottenere dei grafici rappresentanti il risultato della rielaborazione della nuvola dei punti attraverso dei diversi algoritmi e allo stesso tempo calcolare il volume della forma ottenuta. Tutti gli algoritmi e funzioni che verranno indicate in seguito sono presenti in MATLAB (The MathWorks, Inc., 2021) e sono riferite alla versione del software 2021a disponibile nel periodo in cui è stato realizzato questo studio.

In questo lavoro sono stati testati quattro diversi algoritmi che permettono di trasformare la nuvola dei punti in una forma geometrica definita rendendo possibile il calcolo del volume, applicandoli sia alla nuvola dei punti intera, sia alla nuvola dei punti divisa in sezioni orizzontali di 0,1m di altezza in modo da valutare eventuali discrepanze in termini di precisione. Tre di queste funzioni lavorano attraverso la triangolazione delle nuvole dei punti e sono la triangolazione di Delaunay, Convex Hull e Alpha Shape, mentre il quarto approccio chiamato Voxel Based opera in maniera differente.

1.4.2.1 Visualizzazione della nuvola dei punti ed estrazione delle coordinate

Per poter procedere con l'utilizzo degli algoritmi citati precedentemente è stato necessario andare ad estrarre le coordinate delle nuvole dei punti. Per ottenere ciò è stata utilizzata la funzione 'pcread' presente nel componente aggiuntivo di MATLAB® chiamato Computer Vision Toolbox (The MathWorks, Inc., 2021). Questo comando crea un oggetto denominato 'pointcloud' a partire da un file con estensione PLY come quello ottenuto dalla elaborazione con CloudCompare, contenente diverse informazioni riguardanti la nuvola dei punti, tra cui le coordinate x,y,z di tutti i suoi punti e i valori minimi e massimi delle tre coordinate.

Il comando 'pcshow' (The MathWorks, Inc.) permette di visualizzare il grafico della nuvola dei punti applicandolo all'oggetto pointcloud (Figura 10)

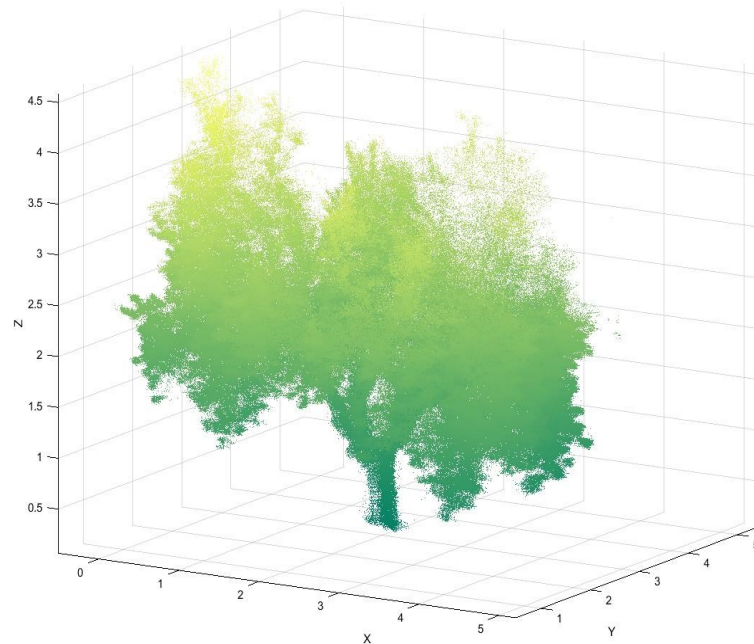


Figura 10: Risultato del comando 'pcshow'.

1.4.2.2 Triangolazione di Delaunay

La triangolazione di Delaunay permette di ottenere la triangolazione di un insieme di punti attraverso la formazione di triangoli il cui circumcerchio non contiene punti oltre a quelli utilizzati per la loro costruzione e gli angoli di questi triangoli tendono a non essere mai troppo acuti, cioè vengono massimizzati i minimi angoli (Berg, et al., 2008). Se si opera con dati in 3d, come nel caso delle nuvole dei punti, non vengono formati dei triangoli, ma dei tetraedri,

per i quali vale comunque il principio del circumcerchio. In Matlab è presente la funzione 'delaunayTriangulation' (The MathWorks, Inc., 2021) che applica il principio appena descritto ai valori di input, in questo caso la nuvola dei punti, e genera la triangolazione dell'oggetto inserito, la quale può essere elaborata in diversi modi per estrarne il volume e per ottenere un grafico.

1.4.2.3 Convex Hull

Il Convex Hull o involucro complesso consiste nel più piccolo poligono convesso formato a partire da un insieme di punti che riesce a racchiudere al suo interno tutti questi punti (Barber, et al., 1996), generato a partire dalla Triangolazione di Delaunay applicata ai punti più esterni (Fernández-Sarría, et al., 2013). La sua superficie è delimitata quindi dai punti più esterni dell'oggetto ed è sostanzialmente assimilabile ad un poliedro (Xiangyang, et al., 2021). Uno degli aspetti che penalizza questo approccio è dato dal fatto che non vengono considerati gli eventuali spazi vuoti all'interno della nuvola dei punti (Fernández-Sarría, et al., 2013; Zhaojin, et al., 2019), dato che da definizione consiste in un metodo per ricavare la forma di un oggetto partendo dai punti più esterni.

La funzione `convhulln` presente in MATLAB permette di costruire il Convex Hull di un insieme di punti P , in questo caso la nuvola dei punti della chioma di un albero, e di calcolarne il volume. Esistono diverse tipologie di algoritmi di `convexhull`, la funzione appena citata è un algoritmo di `quickhull` (Fernández-Sarría, et al., 2013)

1.4.2.4 AlphaShape

Per Alpha Shape si intende il politopo ottenuto dall'insieme dei punti del dato di partenza e da un parametro α che indica il livello di dettaglio con cui si ottiene la forma geometrica (Akkiraju, et al., 1995). Il punto di partenza è la triangolazione di Delaunay dell'oggetto, dato che Alpha Shape è il confine di un complesso alfa il quale è un sotto complesso della triangolazione di Delaunay (Gardiner, et al., 2018). Il principio alla base di questa funzione è assimilabile ad una sfera di diametro α che percorre tutta la superficie esterna ai punti senza toccarli (Figura 11) e che rimuove gli spazi vuoti; successivamente le curve delimitate

dall'azione di questa sfera vengono stirate in modo da creare dei segmenti che andranno a definire la forma dell'oggetto (Vauhkonen, et al., 2009).

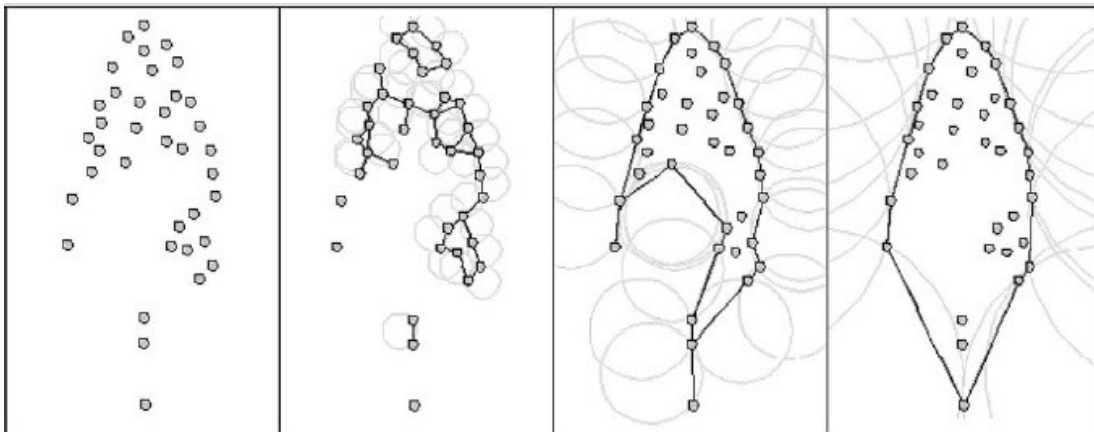


Figura 11: Esempi di AlfaShape ottenuti elaborando un insieme di punti utilizzando parametri alfa crescenti (da sinistra verso destra). Fonte: (Vauhkonen, et al., 2009)

Di conseguenza utilizzando valori di α diversi si ottengono risultati di triangolazioni diversi tra loro, generalmente più questo valore è elevato, minore è la precisione della ricostruzione, passando a valori minori la precisione dell'elaborazione aumenta (Zhaojin , et al., 2019), ma alcuni autori hanno determinato che l'utilizzo di un parametro α troppo ridotto comporta una sottostima del valore del volume dell'oggetto dato che vengono creati degli ulteriori spazi vuoti all'interno della chioma (Colaço, et al., 2017). Utilizzando valori di α vicini ad 1 si ottiene un risultato molto spesso simile a quello ottenuto utilizzando funzioni di Convex Hull (Xiangyang, et al., 2021).

La funzione utilizzata denominata 'alphaShape' (The MathWorks, Inc., 2021) permette di ottenere la triangolazione Alpha Shape dei dati di input, cioè le coordinate dei punti, utilizzando un parametro di default o scegliendo un determinato valore. Per la sperimentazione sono stati utilizzati valori α di 0.05, 0.25, 0,5 e 0,75 applicando l'algoritmo sia sulla nuvola dei punti intera sia su quella segmentata.

1.4.2.5 Metodo Voxel Based

Il metodo Voxel Based permette di ottenere la rappresentazione di immagini ottenute scomponendo il dato di partenza in cubi di dimensioni variabili. (Xiangyang, et al., 2021). Nel caso delle nuvole dei punti delle chiome queste vengono ricostruite dividendo lo spazio in una griglia (Zhaojin , et al., 2019) ed estraendo cubi che vengono formati solamente nelle zone dove viene identificata la presenza di punti, partendo da un punto di riferimento nella chioma. Il volume viene determinato computando il numero dei voxel e moltiplicandolo per la loro

dimensione (Xiangyang, et al., 2021). Ovviamente variando la dimensione dei voxel variano i risultati in termini di volume e rappresentazione grafica.

In questo lavoro il calcolo del volume e la rappresentazione grafica sono stati ottenuti utilizzando il procedimento descritto al seguente link https://it.mathworks.com/matlabcentral/answers/1447449-how-to-draw-a-voxel-size?s_tid=srchtitle utilizzando voxel di lato 0,01m, 0,03m, 0,1m e 0,03m.

1.4.2.6 Suddivisione della nuvola in sezioni.

Gli algoritmi di Convex Hull, Alpha Shape e la triangolazione di Delaunay sono stati applicati sia alla nuvola dei punti intera, con i metodi descritti precedentemente, sia alla nuvola divisa in sezioni orizzontali ricavate sfruttando le coordinate Z . Questo procedimento di sezionamento è stato utilizzato in letteratura da altri autori per valutare eventuali differenze in termini di accuratezza rispetto all'estrazione del volume su chioma intera (Fernández-Sarría, et al., 2013) (Miranda-Fuentes, et al., 2015) (Fernández-Sarría, et al., 2019) (Xiangyang, et al., 2021)

È stato impostato un algoritmo che utilizzando come riferimento l'asse Z permette di dividere la nuvola dei punti in delle sezioni orizzontali di spessore di 0,1m, partendo dalla coordinata 0 fino a raggiungere la coordinata massima di Z . La sequenza di comandi permette di ottenere una tabella contenente in ognuna delle sue celle tutti i punti di una determinata sezione; in questo modo è stato possibile andare ad applicare i singoli algoritmi ad ognuna delle singole sezioni (celle) per calcolarne il volume e successivamente ricavare il volume totale della chioma sezionata sommando i valori dei singoli volumi. Successivamente sono state rimosse le celle vuote o corrispondenti a sezioni composte da un numero di punti insufficiente per poter ottenere una triangolazione (Figura 12).

```

1  ptCloud=pcread('3.3 SI chioma Z.ply');
2  % Segmentazione della nuvola dei punti
3  zLim=[0,0.1];
4  ptCloudSegmented = cell([],1) ;
5  count = 0 ;
6  while zLim < ptCloud.ZLimits (2)
7      count = count+1 ;
8      zIdx = ptCloud.Location(:,3)>=zLim(1) & ptCloud.Location(:,3)<=zLim(2);
9      ptCloudSegmented{count} = double(ptCloud.Location(zIdx,:));
10     zLim=zLim+0.1;
11 end
12 % Rimozione delle celle contenenti un numero di punti insufficienti
13 g=1;
14 aa=cellfun(@numel,ptCloudSegmented);
15 while aa(1,g)<12
16     ptCloudSegmented{1,g}=[];
17     g=g+1;
18 end
19 N=count;
20 while aa(1,N)<12
21     ptCloudSegmented{1,N}=[];
22     N=N-1;
23 end
24 % Rimozione delle celle vuote
25 ptCloudSegmented= ptCloudSegmented(~cellfun('isempty',ptCloudSegmented));

```

Figura 12: L’algoritmo in figura permette di sezionare la nuvola dei punti e di rimuovere le eventuali sezioni vuote o caratterizzate da un numero di punti insufficiente

L’applicazione degli algoritmi alle singole sezioni è stata fatto tramite gli stessi comandi utilizzati per l’estrazione del volume dalle nuvole dei punti intere indicati nei paragrafi precedenti, applicandoli singolarmente alle sezioni, sfruttando le funzioni ‘for’ e ‘while’ di Matlab, che permettono di ripetere una serie di comandi fino a quando una determinata condizione rimane vera. Per ottenere i grafici sono stati utilizzati dei comandi differenti per ognuno degli algoritmi, anche in questo caso applicandoli sia alla nuvola dei punti intera che alle singole sezioni. Per AlphaShape è stato utilizzato il comando ‘plot’ (The MathWorks, Inc., 2021), mentre per Convex Hull e la triangolazione di Delaunay è stato utilizzato il comando ‘trisurf’ (The MathWorks, Inc., 2021).

Per la triangolazione di Delaunay applicata alle sezioni il procedimento risulta differente rispetto agli altri algoritmi, dato che è stato utilizzato un diverso approccio per il calcolo del volume basato sul calcolo dell'area (Fernández-Sarría, et al., 2013). Ad ognuna delle sezioni è stata applicata la funzione 'delaunayTriangulation' (The MathWorks, Inc., 2021) per ottenere la trasformazione in una triangolazione, in seguito è stata calcolata l'area di questa triangolazione. Il volume della singola sezione è stato calcolato tramite la formula $V = \frac{S1+S2}{2} \cdot h$ (Fernández-Sarría, et al., 2013) dove S1 è la superficie della sezione inferiore, S2 la superficie della sezione superiore ed h la distanza tra le due sezioni, in questo caso 0,1m. Una volta ottenuti i volumi di tutte le singole sezioni è stato computato il volume totale della chioma sommando tutti i valori (Figura 13)

```

105 % DELAUNAY TRIANGULATION
106 y=1;
107 a=numel(ptCloudSegmented);
108 Area=cell([],1);
109 for i=ptCloudSegmented(1,(1:a))
110     g=cell2mat(ptCloudSegmented(1,y));
111     j=g(:,1);
112     k=g(:,2);
113     dt=delaunayTriangulation(j,k);
114     b=freeBoundary(dt);
115     Area{y}=polyarea(g(b(:,1),1),g(b(:,1),2));
116     y=y+1;
117 end
118 % VOLUME DELAUNAY TRIANGULATION V=((s1+s2)/2)*h
119 h=zLim(1,2)-zLim(1,1);
120 t=1;
121 c=2;
122 v=cell([],1);
123 a=numel(Area);
124 for i=Area(1,(1:a))
125     v{t}=(Area{1,t}+Area{1,c})/2*h;
126     t=t+1;
127     c=c+1;
128     if c>a
129         break
130     end
131 end
132 v=cell2mat(v);
133 VolumeDelaunayTriangulation=sum(v);
134
135 % GRAFICO DELAUNAY TRIANGULATION
136 y=1;
137 h=[];
138 for i=ptCloudSegmented(1,(1:a))
139     h=cell2mat(ptCloudSegmented(1,y));
140     dt=delaunayTriangulation(h);
141     [F,P]=freeBoundary(dt);
142     figure(6)
143     trisurf(F,P(:,1),P(:,2),P(:,3),'FaceAlpha',0.5);
144
145     if ~isempty(ptCloudSegmented{1,y})
146         hold on
147     end
148     if y==a
149         break
150     end
151     y=y+1;
152 end

```

Figura 13: Algoritmo utilizzato per il calcolo del volume tramite la triangolazione di Delaunay applicata alle sezioni.

Capitolo 2

RISULTATI E DISCUSSIONE

2.1 Tempi impiegati per la potatura

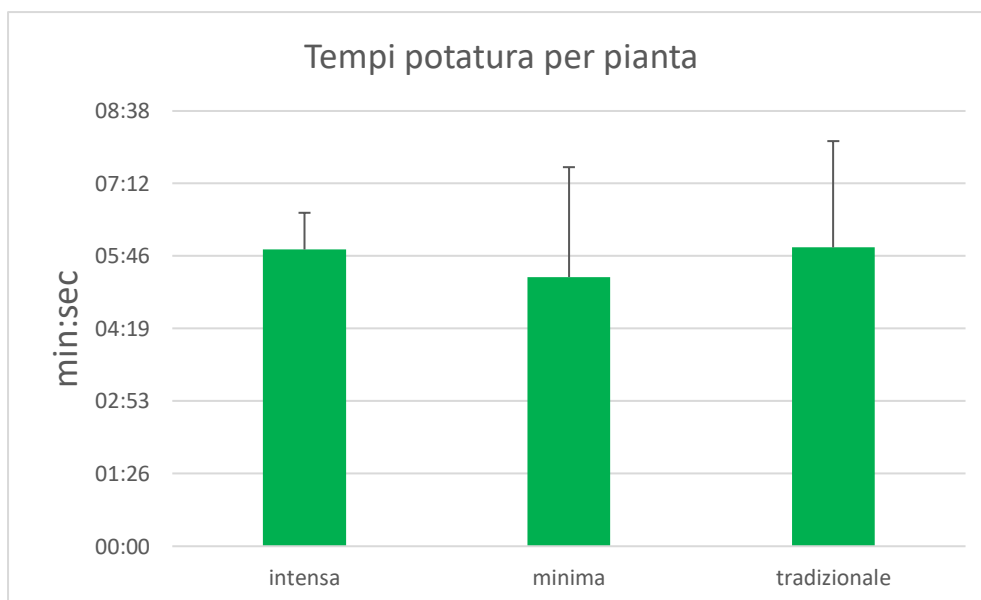


Figura 14: Tempi medi impiegati per effettuare le tre diverse tipologie di potatura.

Dai dati raccolti è emerso che non ci sono state differenze significative tra le medie dei tempi impiegati dagli operai per effettuare la potatura a tre diverse intensità (Figura 14).

2.2 Peso del materiale asportato

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dalla pesatura dei residui di potatura eseguita discriminando tra il legno di potatura e una componente chiamata 'frasca' rappresentata da tutto il materiale asportato con diametro inferiore ai due centimetri.

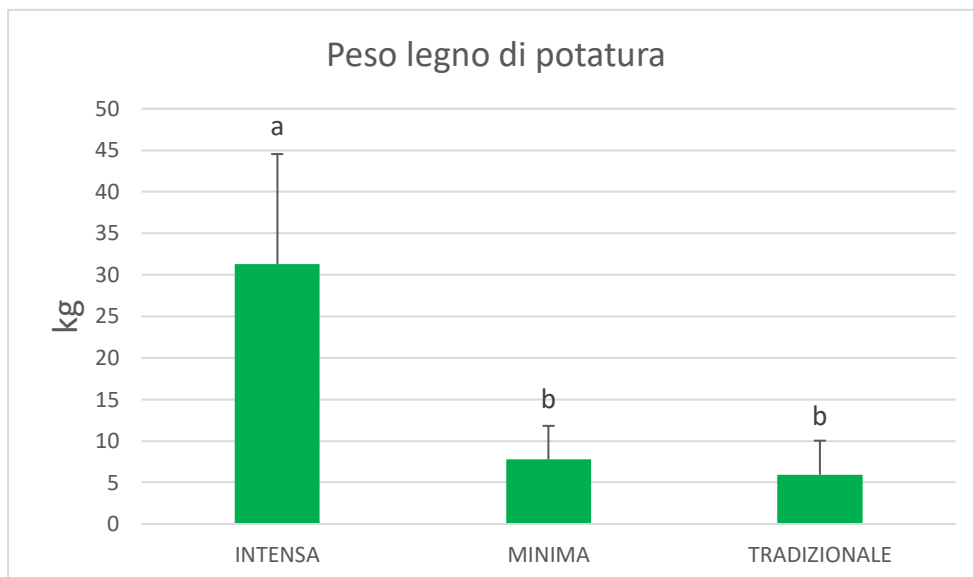


Figura 15: Peso del legno di potatura espresso in kg. Le barre rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative per il test HSD Tukey.

La potatura ‘intensa’ ha comportato la rimozione di un quantitativo elevato di materiale con diametro superiore a 2cm, dovuto alla riduzione in numero delle branche prevista con questo trattamento, molto maggiore rispetto agli altri due trattamenti (Figura 15), che hanno mostrato una differenza più contenuta dato che nella maggior parte dei casi non è stato necessario effettuare tagli di grossa dimensione.

Per quanto riguarda la componente con diametro inferiore ai due centimetri (Figura 16), la situazione è differente poiché la differenza tra i tre trattamenti si riduce, ma si ha comunque una maggiore quantità di materiale asportato nel trattamento con potatura più intensa perché la rimozione delle branche ha comportato ovviamente la perdita di tutte le branche di ordine minore.

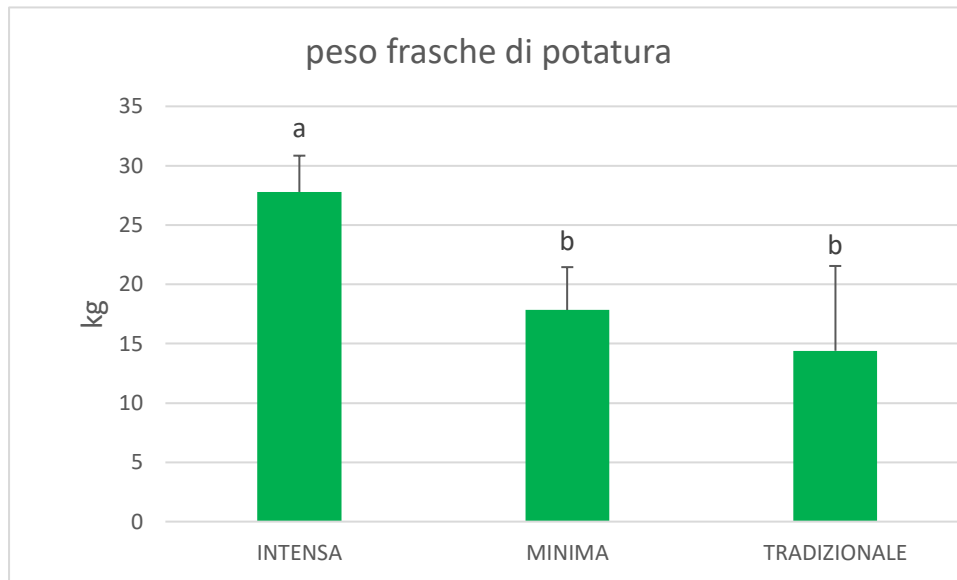


Figura 16: Peso delle fresche patate ($\varnothing < 2\text{cm}$). Le barre rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative per il test *HSD Tukey*.

Se si analizzano i dati complessivi relativi al quantitativo di materiale asportato (Figura 17) emerge che questo valore è più elevato nel caso della potatura a maggiore intensità, con una forte differenza rispetto agli altri due trattamenti, che mostrano un andamento piuttosto simile e quindi indicano una asportazione di materiale vegetale minore.

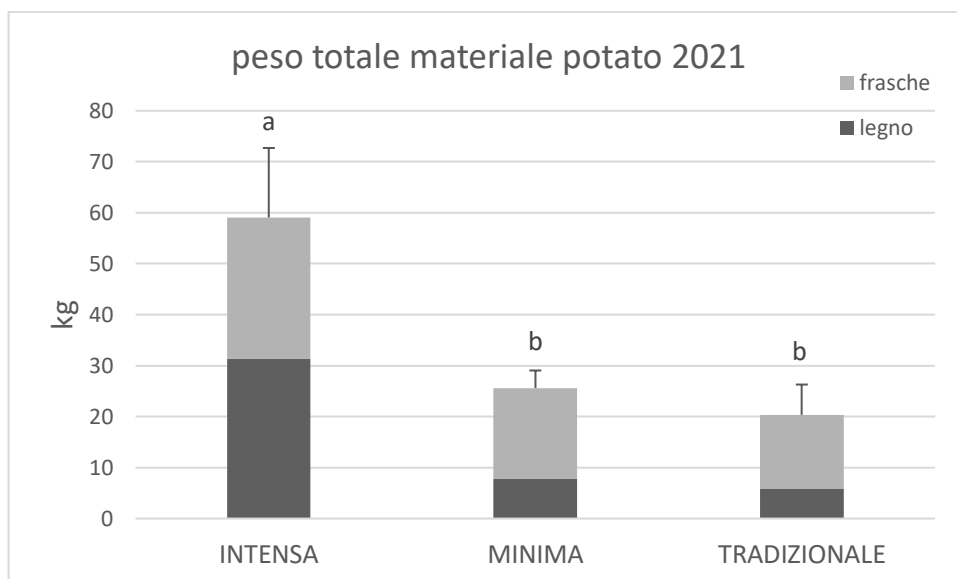


Figura 17: Il grafico mostra la quantità totale di materiale vegetale asportato con le tre tipologie di potatura. Le barre rappresentano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative per il test HSD Tukey.

2.3 Ricostruzione grafica delle nuvole dei punti tramite algoritmi.

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di immagini ottenute tramite la rielaborazione della nuvola dei punti, riferite alla pianta 8.3 in prova, mediante gli algoritmi utilizzati e descritti nel paragrafo 1.4.2. Dalle immagini è possibile comprendere le differenze che ci sono tra le diverse tipologie di algoritmo utilizzate, soprattutto per quanto riguarda l'accuratezza della ricostruzione e la diversa capacità delle funzioni di ricostruire la forma della chioma considerando o meno gli spazi vuoti presenti al suo interno (Figura 18).

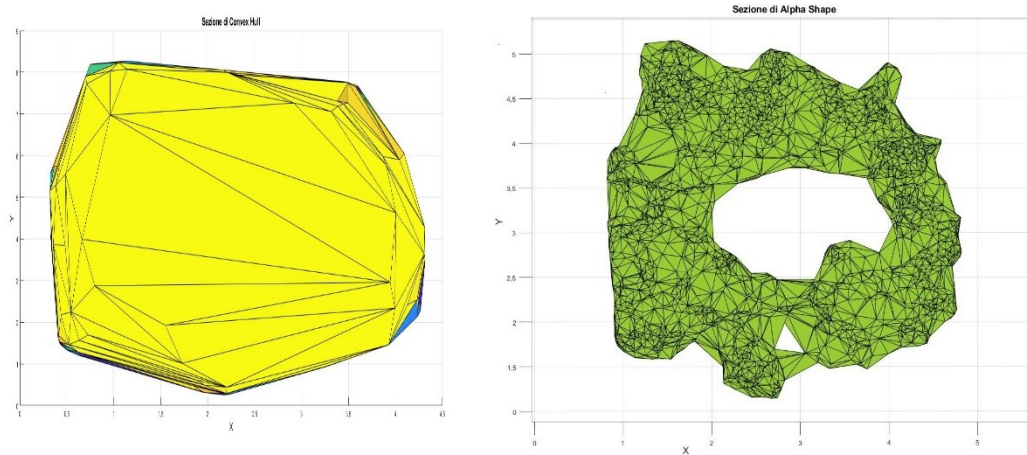


Figura 18: Sezione vista dall'alto, è possibile notare la differenza tra Convex Hull (a sinistra e Alpha Shape con α 0,5 (a destra). Convex Hull non considera gli spazi vuoti all'interno della chioma.

2.3.1 Alpha Shape

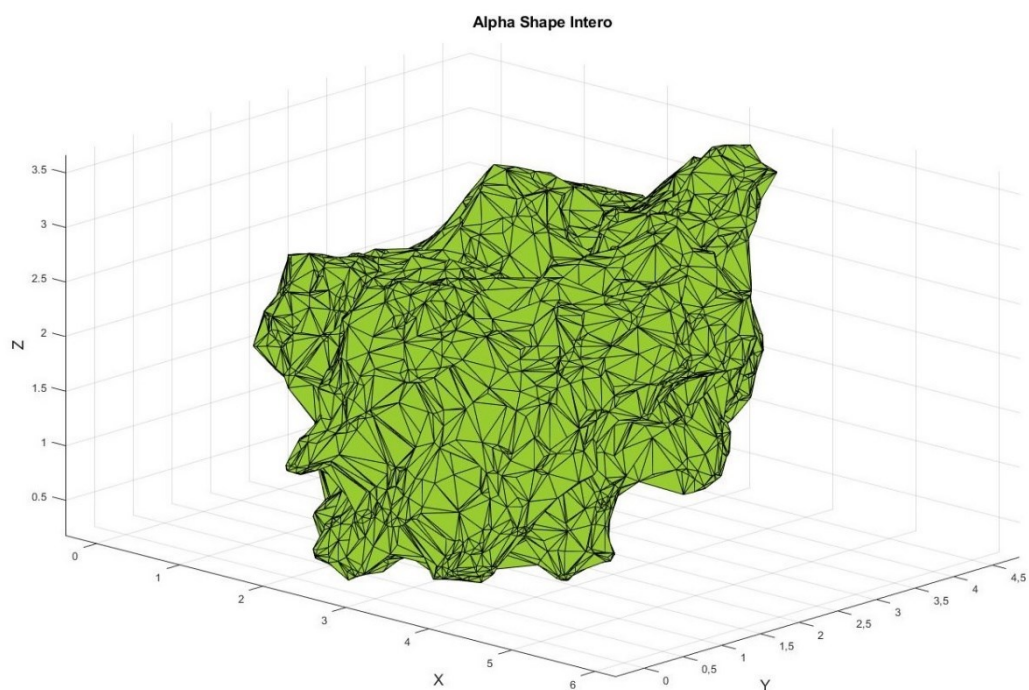


Figura 19: Alpha Shape applicato alla nuvola dei punti intera utilizzando 0,25 come parametro α .

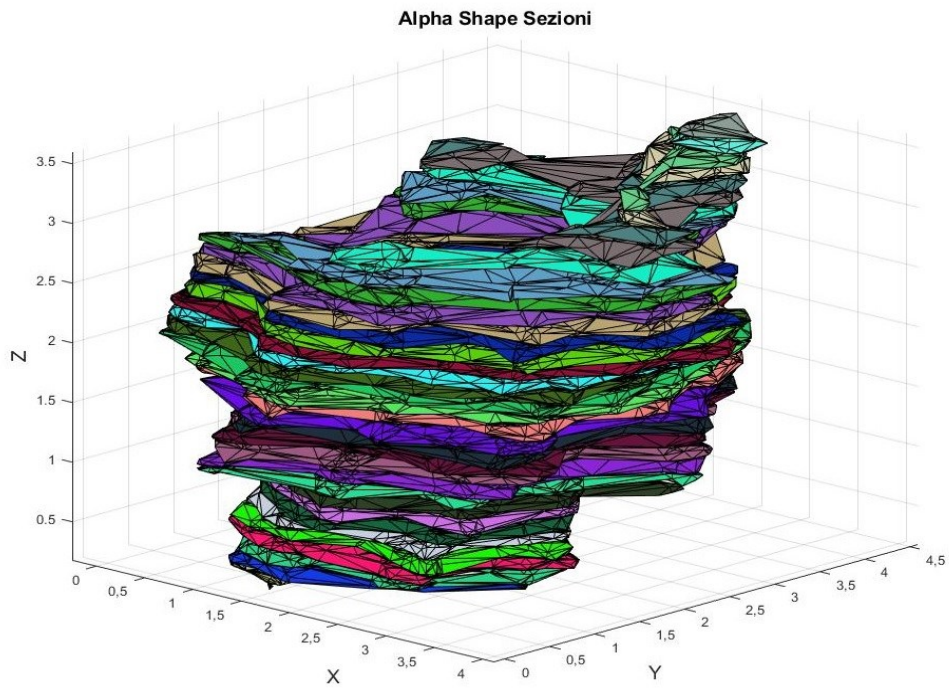


Figura 20: Alpha Shape applicato alla nuvola suddivisa in sezioni di spessore 0,1m. Il parametro α utilizzato è 0,5.

2.3.2 Convex Hull

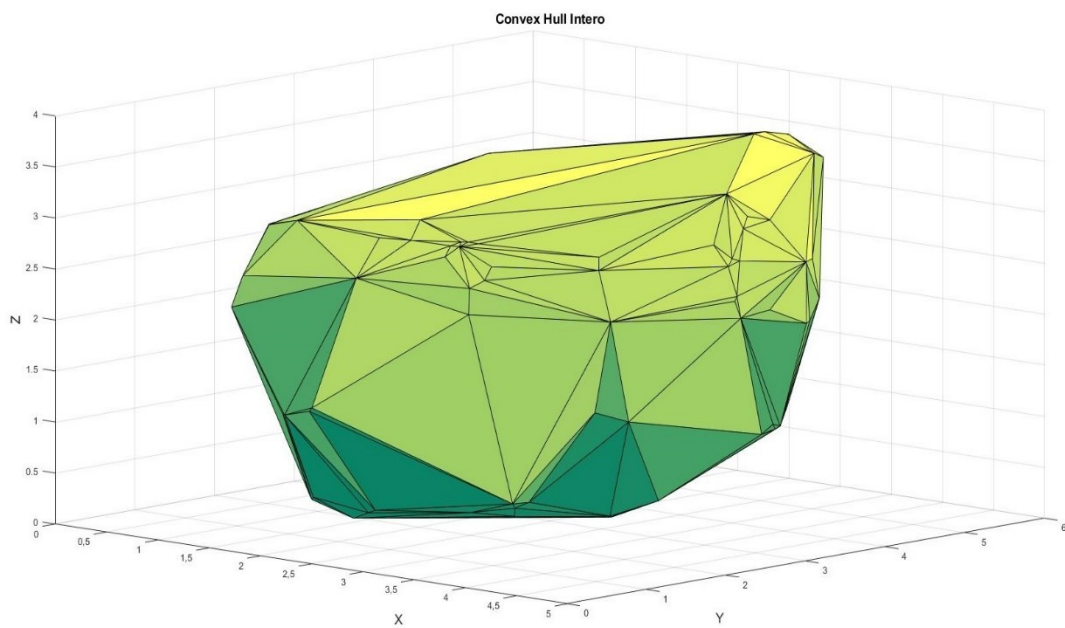


Figura 21: Risultato dell'applicazione della funzione di Convex Hull applicata alla nuvola dei punti intera.

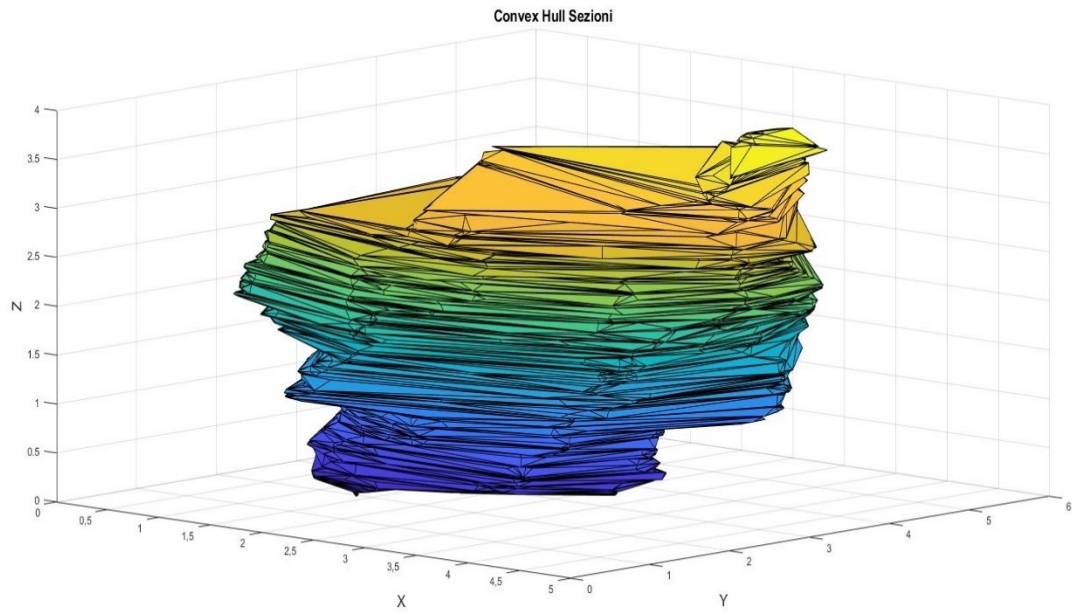


Figura 22: Risultato dell'applicazione della funzione di Convex Hull applicata alla nuvola dei punti divisa in sezioni orizzontali da 0,1m di spessore.

2.3.3 Triangolazione di Delaunay

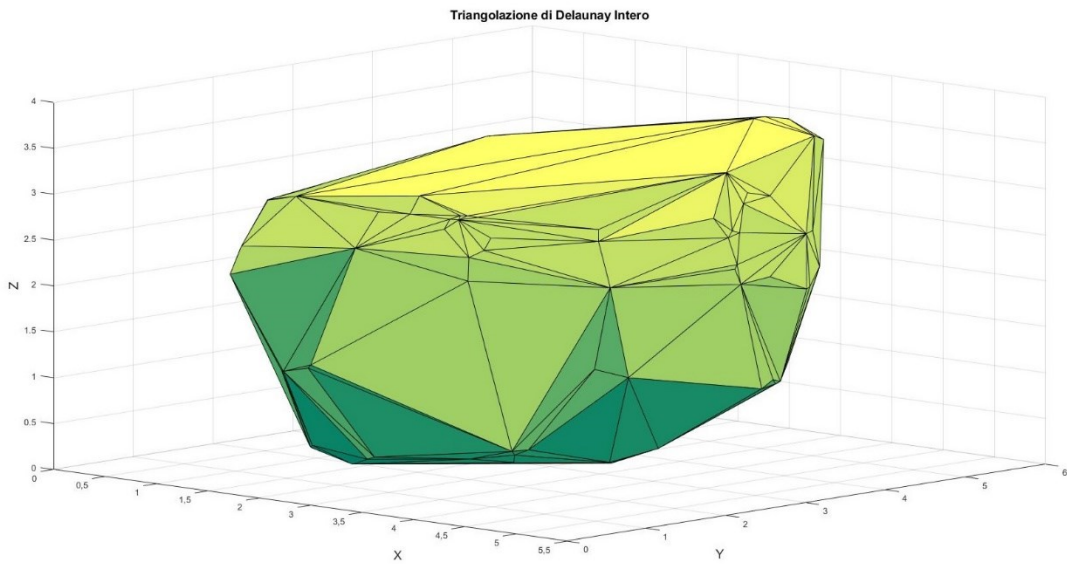


Figura 23: Triangolazione di Delaunay applicata alla nuvola dei punti intera.

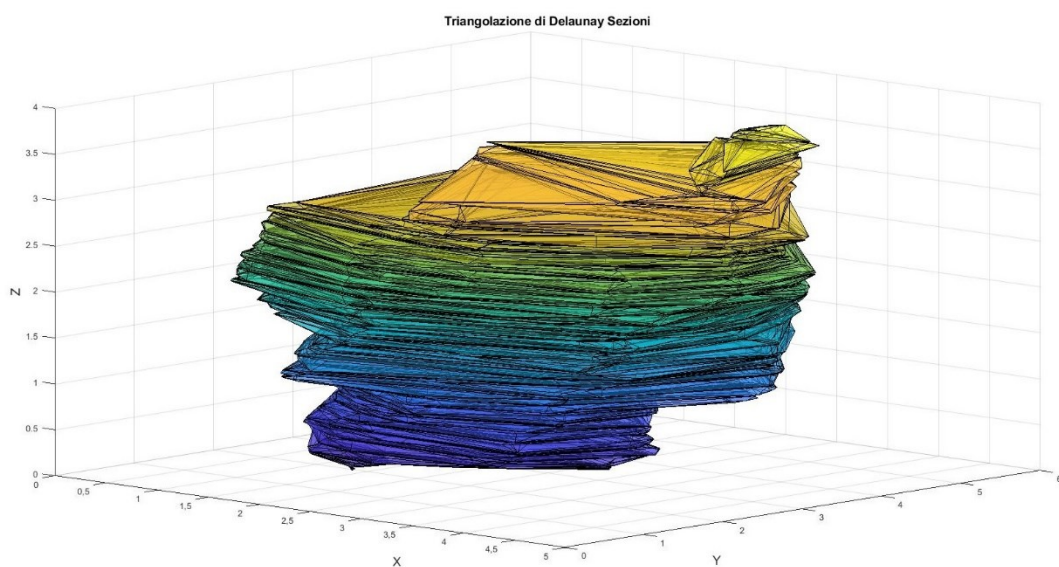


Figura 24: *Triangolazione di Dealunay ottenuta applicando la funzione alla chioma divisa in sezioni orizzontali da 0,1m di spessore.*

2.3.4 Metodo Voxel Based

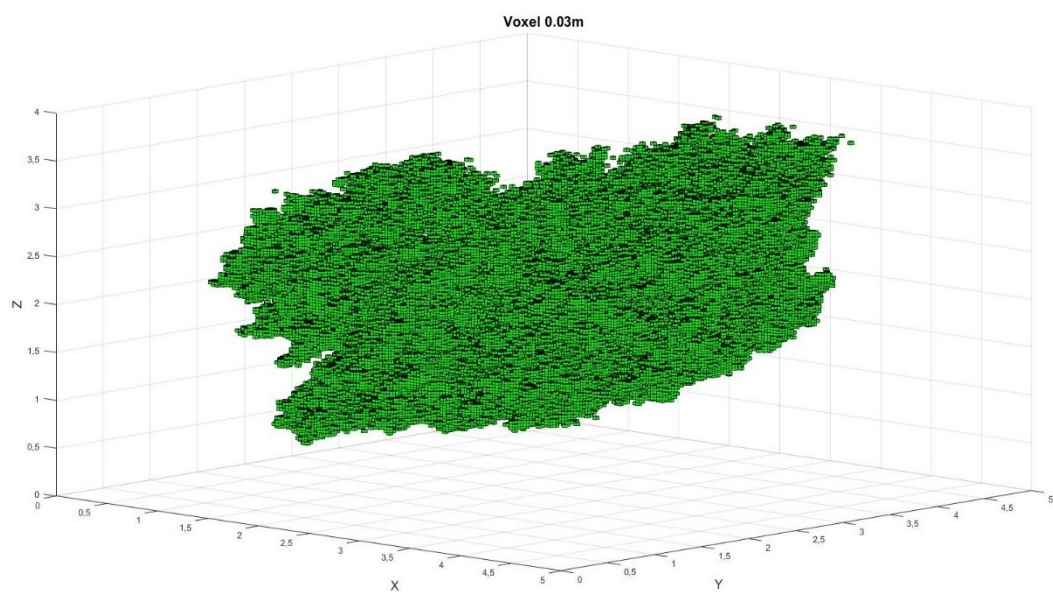


Figura 25: *Ricostruzione della chioma ottenuta utilizzando voxel di lato 0,03m.*

2.4 Valutazione dei volumi ottenuti con i diversi approcci e delle loro differenze.

Il grafico (Figura 26) riporta i valori medi di volume per pianta ottenuti dalla rielaborazione delle nuvole dei punti delle chiome prima della potatura tramite gli algoritmi e i valori reali ottenuti approssimando la forma geometrica della chioma ad un paraboloide e al toro. Si può notare che tra queste due forme c'è una differenza abbastanza marcata in termini di volume, mentre confrontando singolarmente i due valori con i volumi ottenuti dagli algoritmi emerge che per la forma paraboloide i valori più simili sono stati ottenuti con Convex Hull applicato alla nuvola dei punti intera e la triangolazione di Delaunay applicata alla nuvola intera e in sezioni, e con i voxel da 0,01 e 0,03 m di lato. Per la forma toroidale invece si nota una vicinanza con alpha shape applicato alla nuvola intera utilizzando come parametri alfa 0,25 e 0,5 e con alpha 0,5 e 0,75 se applicato alla nuvola dei punti divisa in sezioni.

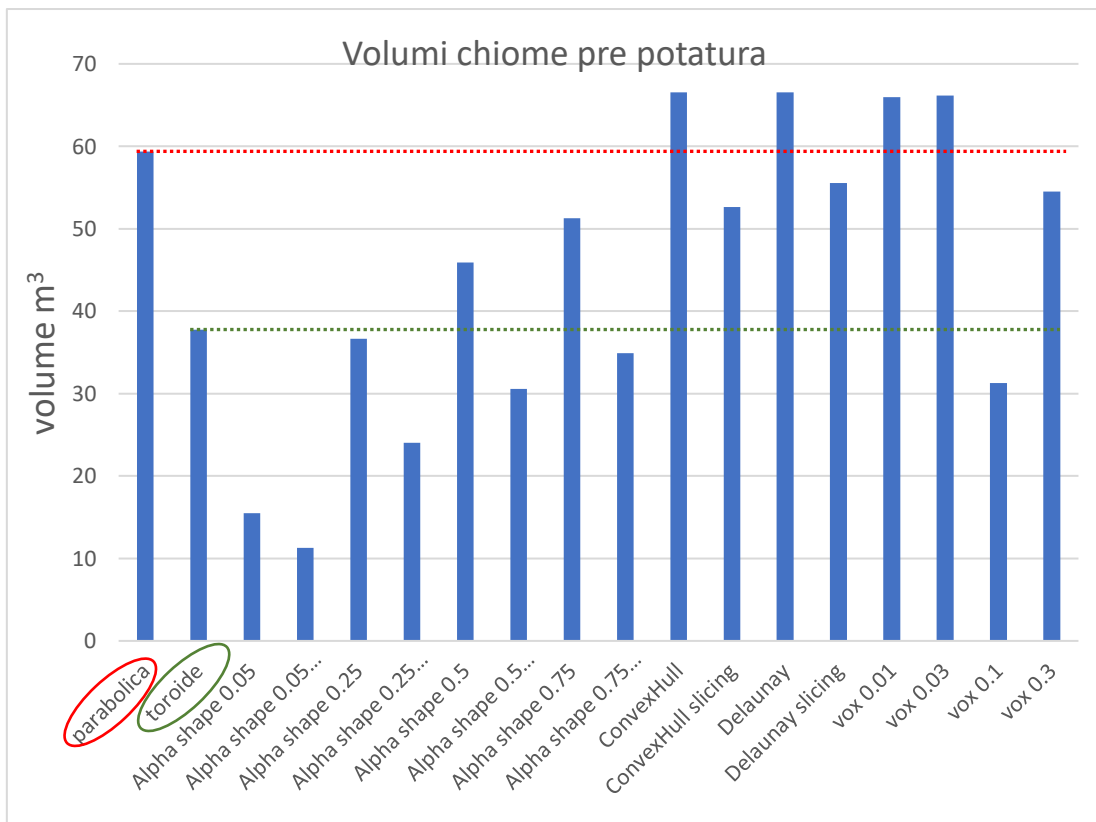


Figura 26: Valori di volume medi ottenuti durante la sperimentazione relativi alla situazione PRE potatura.

Nella situazione post potatura (Figura 27) la situazione rimane simile a quella osservata in pre-potatura, quindi un valore medio di volume maggiore ottenuto con la forma paraboloidale. Quest'ultima anche in questo caso mostra delle somiglianze con i valori ottenuti dalla triangolazione di Delaunay applicata su nuvola intera e in sezioni, Convex Hull applicato alla nuvola intera e ai Voxel di 0,01 e 0,03m di lato. Per quanto riguarda la forma toroidale i valori più vicini sono stati ottenuti con Alpha Shape, utilizzando come parametro alpha 0,25 su nuvola intera e parametri alpha 0,5 e 0,75 su nuvola divisa in sezioni. In post potatura anche la ricostruzione con voxel da 0,1m di lato mostra una elevata vicinanza con i valori di volumi ottenuti dalla forma toroidale.

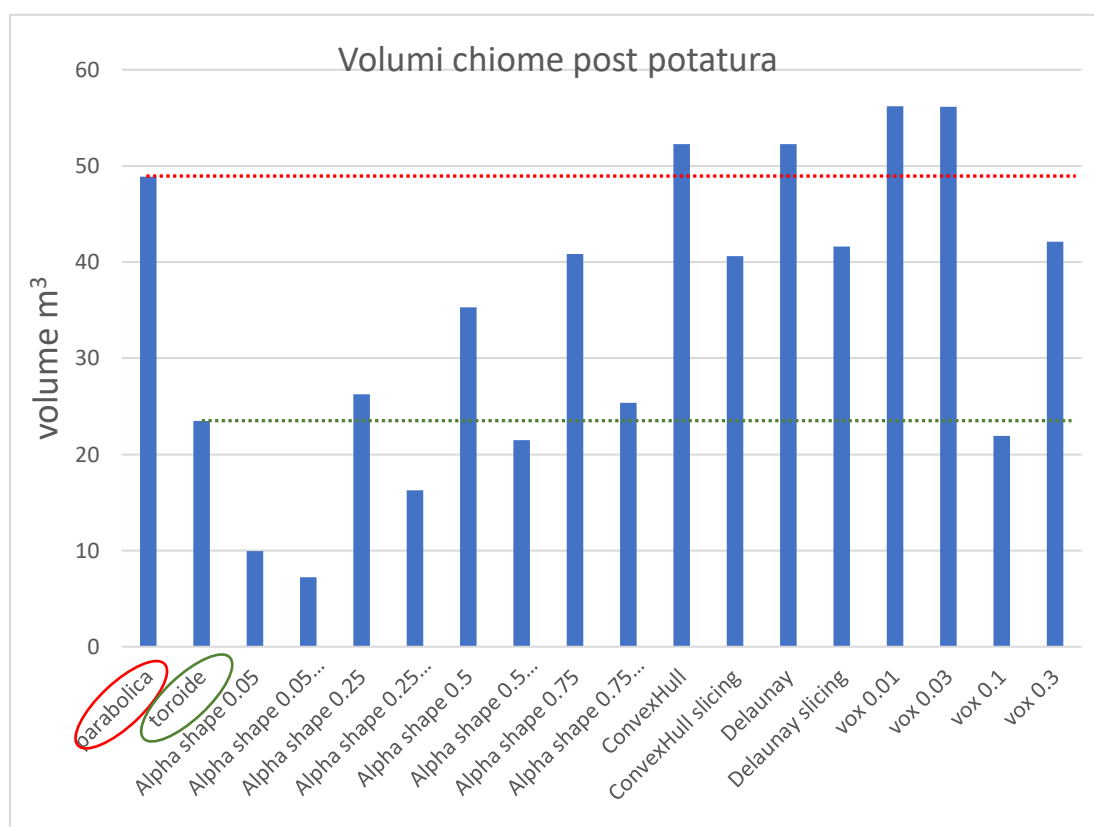


Figura 27: Valori di volume medi ottenuti durante la sperimentazione relativi alla situazione POST potatura

2.4.1 Valutazione della differenza di volume tra il pre e il post potatura.

Una volta ottenuti tutti i valori di volume tramite i diversi metodi indicati nei capitoli precedenti è stata calcolata la differenza tra il volume pre potatura e il post potatura. Successivamente è stato fatto il confronto delle differenze di volume tra i valori reali, quindi

la forma paraboloidale e toroidale, e le differenze ottenute dai singoli algoritmi. Il grafico (Figura 28) mostra i risultati ottenuti:

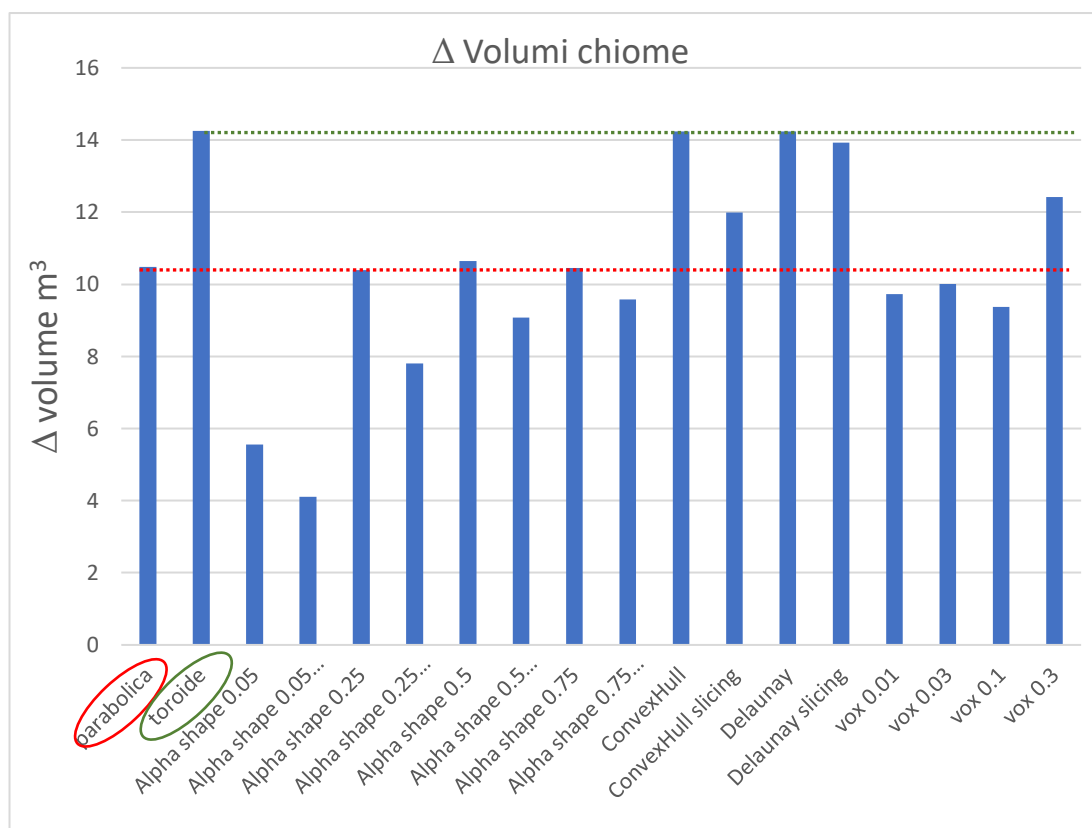


Figura 28: Differenze in termini di volume tra il pre il post potatura.

Si può notare che con la forma toroidale è stata ottenuta una differenza tra il volume medio pre potatura e il volume medio post potatura maggiore rispetto alla forma paraboloidale. Confrontando il valore reale con i valori ottenuti tramite la rielaborazione tramite algoritmi si può notare un'alta vicinanza tra i delta di volume ottenuti utilizzando Convex Hull su nuvola intera e le triangolazioni di Delaunay con il delta ottenuto dalla forma toroidale.

Alpha Shape con parametri alfa 0,25, 0,5 e 0,75 applicato alle nuvole dei punti intere mostra valori molto simili, come anche la ricostruzione fatta con voxel da 0,03m di lato, al delta di volume ottenuto con la forma paraboloidale.

In generale dai tre grafici riportati in questo paragrafo, emergono diversi aspetti: ci sono differenze tra il volume ottenuto approssimando la forma della chioma a un toroide e al paraboloidale, con valori minori nel caso del toroide. Quest'ultimo però ha comportato maggiori differenze in termini di volume tra il pre e il post potatura. In tutti i casi i volumi ottenuti con Convex Hull e la triangolazione di Delaunay sono stati maggiori rispetto ai volumi ottenuti con alpha shape applicato con diversi parametri e quelli ottenuti con la ricostruzione tramite

voxel, probabilmente a causa dell'incapacità delle due funzioni di distinguere gli spazi vuoti all'interno della chioma da quelli realmente occupati da punti, come invece accade nel caso di Alpha Shape e Voxelization.

2.4.2 Valutazione dei singoli algoritmi e confronto tra i dati ottenuti

Mettendo a confronto gli andamenti dei grafici ottenuti dalla pesatura delle potature e quelli del volume della chioma, ottenuti attraverso i vari metodi, emergono degli andamenti simili tra i valori di volume ottenuti dall'approssimazione della chioma ad una forma toroidale e i pesi complessivi misurati in campo (Figura 29).

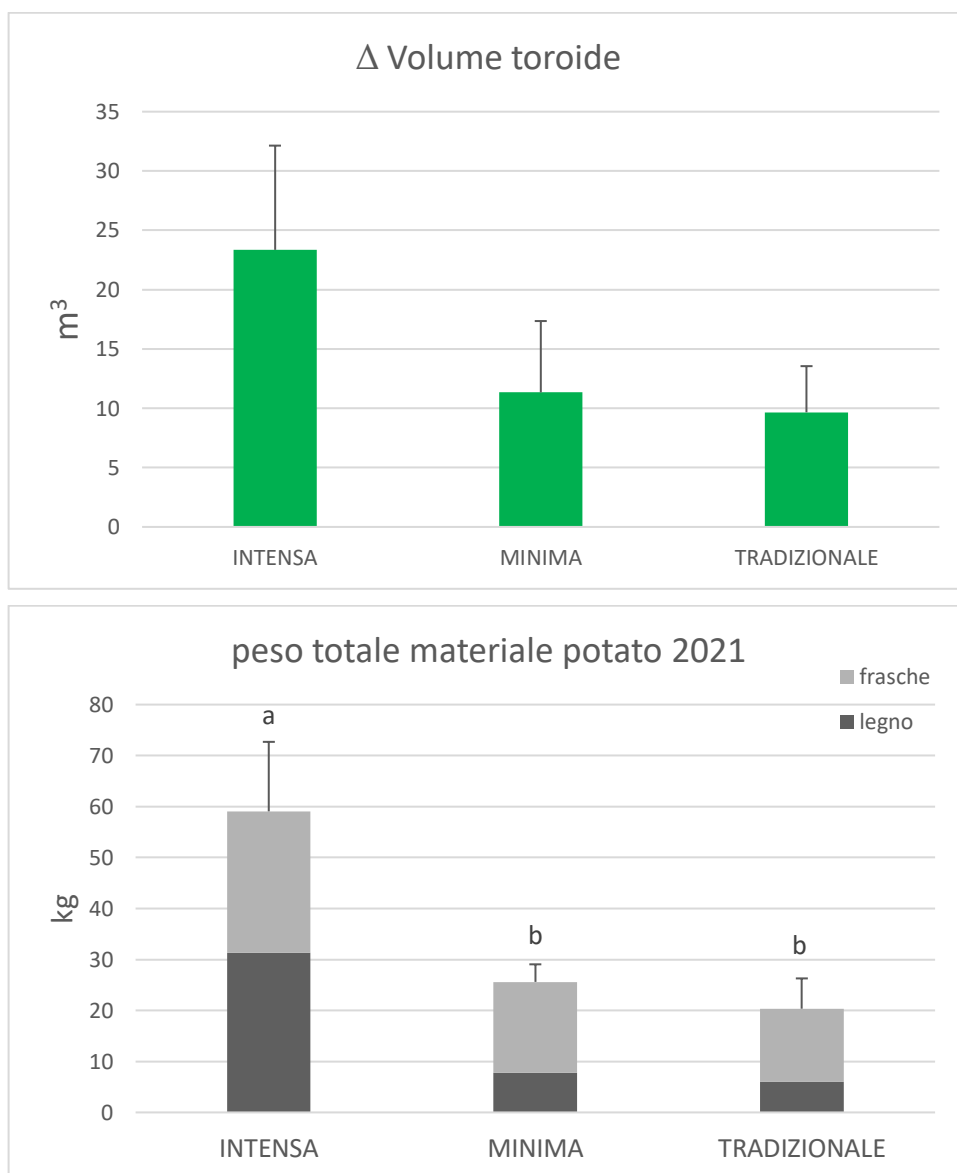


Figura 29: Confronto tra gli andamenti dei grafici relativi al delta di volume relativo alla forma toroidale e i pesi di potatura ottenuti in campo.

Confrontando poi i volumi ottenuti dalla rielaborazione mediante algoritmi delle chiome si può notare che due algoritmi di alpha shape con valore di alpha 0,25 (Figura 30) e 0,5 (Figura 31) applicati alla nuvola intera permettono di ottenere dei volumi molto simili a quelli ottenuti dall'approssimazione della chioma alla forma del toro.

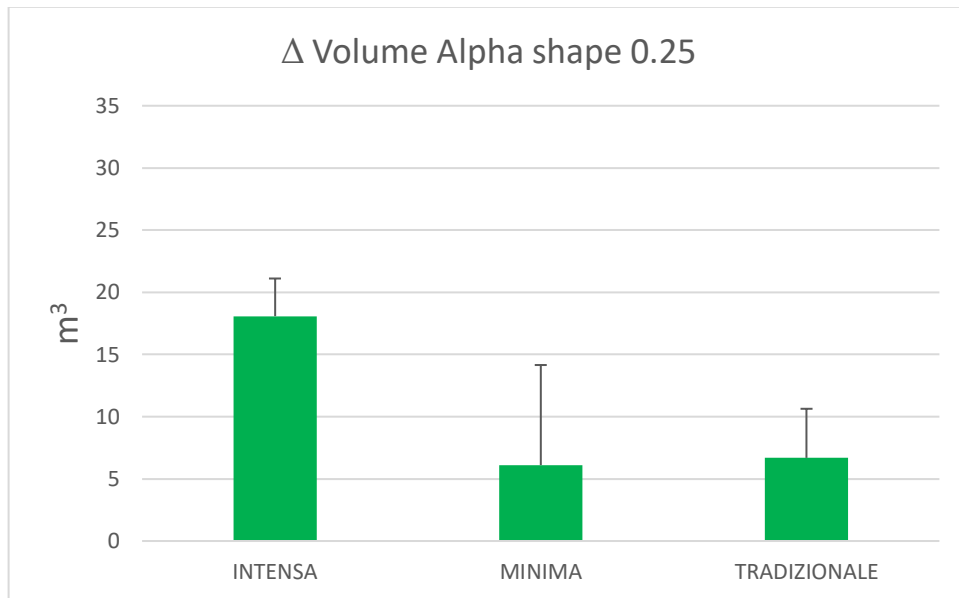


Figura 30: Differenze di volume tra le diverse tesi ottenute applicando la funzione Alpha Shape con parametro 0,25 alle chiome intere.

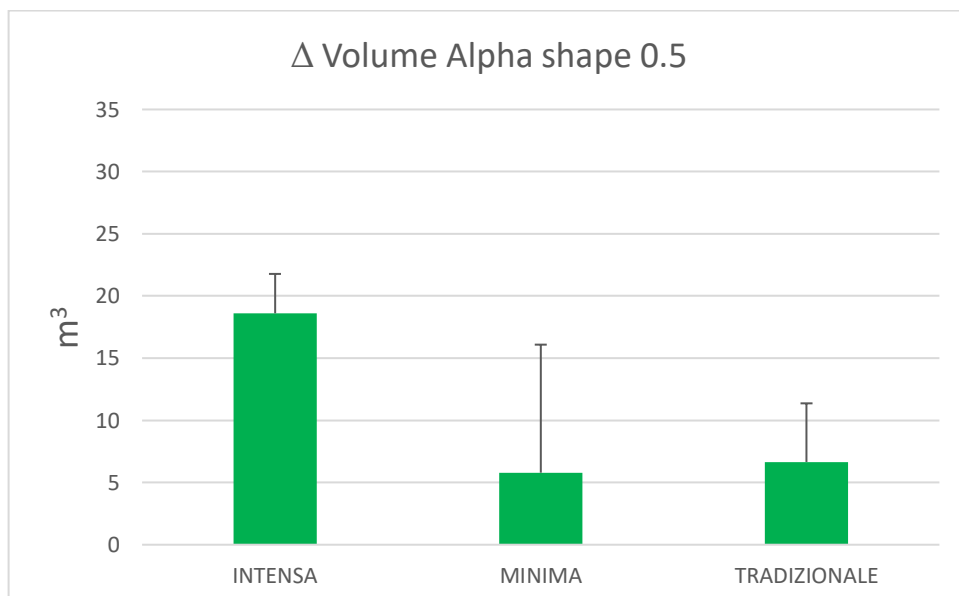


Figura 31: Differenze di volume tra le diverse tesi ottenute applicando la funzione Alpha Shape con parametro 0,5 alle chiome intere.

2.5 Analisi delle produzioni

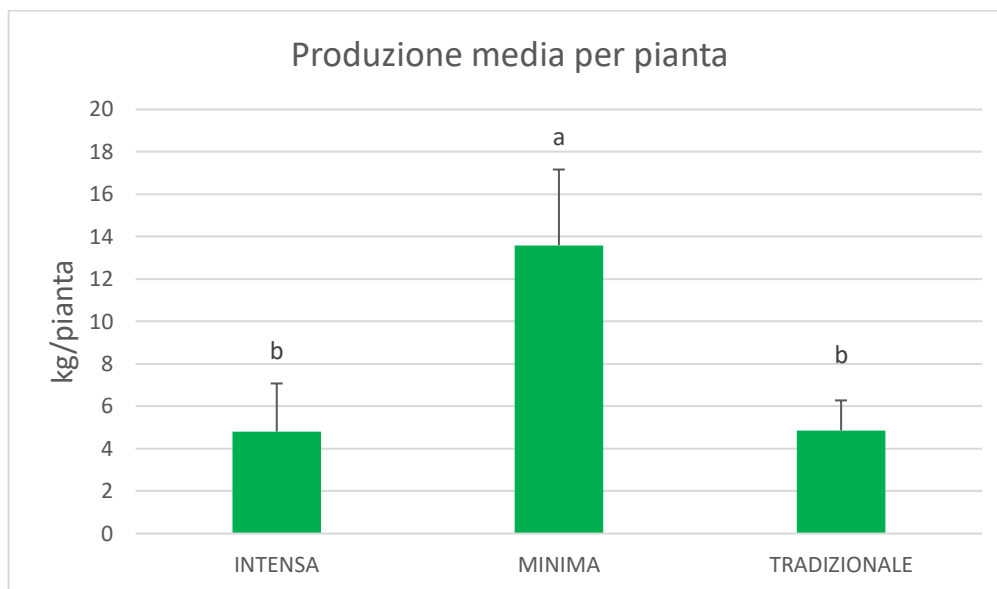


Figura 32: Valori medi di produzione espressa in kg ottenuti dopo la raccolta delle olive.

La produzione maggiore è stata ottenuta nelle piante gestite con potatura minima, mentre gli altri due trattamenti hanno mostrato produzioni molto simili (Figura 32). Probabilmente la maggiore produzione della potatura minima è dovuta al fatto che sono stati rimossi un numero di rami potenzialmente produttivi minori e che, al contrario della potatura più intensa, la pianta non ha dovuto ripartire la maggior parte delle risorse verso la ricostituzione della massa di chioma asportata con la potatura. Nella gestione tradizionale la causa della ridotta produzione potrebbe essere ricondotta alla necessità di rimuovere rami fruttiferi per ottenere una forma geometrica precisa, uno degli obiettivi di questa tipologia di potatura.

In ogni caso va comunque considerato che la produzione, come indicato nel capitolo introduttivo, è influenzata da molti fattori, tra cui l'andamento climatico e l'alternanza di annate di scarica e di carica, quindi la valutazione andrebbe fatta confrontando i dati produttivi di più annate.

Capitolo 3

CONCLUSIONI

Considerando gli obiettivi prefissati e i risultati ottenuti dalla sperimentazione si può concludere che le tre diverse tipologie di intervento in termini di intensità di potatura hanno comportato effetti differenti in termini di materiale asportato e di produzione, mentre non ci sono state differenze significative nei tempi impiegati per effettuare la potatura. Il dato più interessante è quello ottenuto dalla valutazione delle produzioni, dove spicca la grande differenza in termini di produzione media espressa in kg per pianta tra la gestione con potatura minima e le altre due tesi. Per quanto riguarda i tempi invece la differenza minima tra le tre tesi probabilmente è dovuta al fatto che nella potatura più intensa l'esecuzione di tagli di grossa dimensione ha comportato una riduzione dei successivi tagli eseguiti per sfoltire la chioma, mentre la gestione minima da definizione richiede pochi tagli e quindi tempi minori. Le prove dovranno però essere ripetute nei prossimi anni per valutare meglio questi aspetti e poter considerare al meglio gli effetti delle tre tipologie di potatura effettuate, soprattutto per quanto riguarda la produzione, considerando il biennale ciclo biologico dell'olivo e la grande influenza dell'andamento meteorologico stagionale.

L'utilizzo del LiDAR associato agli algoritmi per la ricostruzione di immagini e l'estrazione del volume a partire da nuvole di punti ha dimostrato una buona affidabilità e precisione nel calcolo del volume delle chiome. L'approssimazione della chioma ad una forma toroidale ha permesso una migliore differenziazione dei volumi di materiale asportato rispetto a quella ellissoidale e analizzando i grafici relativi alle differenze di volume tra il pre e il post potatura ha dimostrato un andamento molto simile a quello del peso complessivo del materiale potato. Gli algoritmi che hanno permesso di ottenere valori di volume molto simili ai valori ottenuti con misurazione manuale per la forma toroidale sono stati della tipologia Alpha Shape con parametri α 0,25 e 5 applicati alla nuvola intera; quindi potrebbero essere utilizzati in futuro per impostare un sistema automatico affidabile per il calcolo del volume delle chiome degli alberi presenti in un appezzamento. La tecnologia potrebbe essere utilizzata anche per altri scopi oltre a quello della valutazione degli effetti della potatura, ad esempio nella difesa fitosanitaria, per il calcolo del volume ottimale di miscela da distribuire, oppure per stimare la

quantità di biomassa ottenuta con la potatura se la si vuole utilizzare a scopo energetico o per semplificare la stima di danni dovuti a fenomeni atmosferici avversi. Inoltre si potrebbe ricorrere a questa strumentazione per valutare gli effetti di determinate pratiche colturali come la concimazione sulla crescita della pianta e può essere applicata anche in ambito sperimentale per ottenere in maniera più semplificata e rapida i dati relativi ad altezza e diametro della chioma degli alberi.

Anche per questa parte della sperimentazione le prove andrebbero ripetute per ottenere dei dati più precisi e valutare meglio l'affidabilità del procedimento adottato ed allo stesso tempo migliorare il processo di rielaborazione informatica rendendolo più automatizzato.

BIBLIOGRAFIA

- Akkiraju, N. et al., 1995. Alpha shapes: definition and software. *Proceedings of the 1st international computational geometry software workshop.*, 63(66).
- Alamo, S., Ramos, M., Feito, F. & Cañas, J., 2012. Precision techniques for improving the management of the olive groves of southern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3), pp. 583-595.
- Assirelli, A. et al., 2021. Canopy Index Evaluation for Precision Management in an Intensive Olive Orchard. *Sustainability*, 13(8266), pp. Alberto Assirelli 1,* , Elio Romano 2.
- Balta, H. et al., 2018. Fast Statistical Outlier Removal Based Method for Large 3D Point Clouds of Outdoor Environments. *IFAC-PapersOnLine*, 51(22), pp. 348-353.
- Barber, C. B., Dobkin, D. P. & Huhdanpaa, H. T., 1996. The Quickhull Algorithm for Convex Hulls. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 22(4), pp. 469-483.
- Berg, M. d., Cheong, O., Kreveld, M. v. & Overmars, M., 2008. *Computational geometry : algorithms and applications.*. III a cura di s.l.:Springer.
- Blackmore, S., 2002. *Developing the principles of Precision Farming*. Barretos, Brazil, Barretos Institute of Technology: Agrotech 99.
- Bongiovanni, R. & Lowenberg-DeBoer, J., 2004. Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, Volume 5, pp. 359-387.
- Caruso, T. & Proietti, P., 2011. *Modelli d'impianto, forme di allevamento e criteri di potatura per la nuova olivicoltura*. Volume IV a cura di Spoleto: Accademia Nazionale dell'Olio e dell'Olio.
- Colaço, A. F. et al., 2017. Orange tree canopy volume estimation by manual and LiDAR-based methods. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), pp. 477-480.
- Dassot, M., Thiéry, C. & Fournier, M., 2011. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science*, 68(5), pp. 959-974.

- Dias, A. B., Peça, J. O. & Pinheiro, A., 2012. Long-Term Evaluation of the Influence of Mechanical Pruning on Olive Growing. *Agronomy Journal*, 104(1), pp. 22-25.
- Dubayah, R. O. & Drake, J. B., 2000. Lidar Remote Sensing for Forestry. *Journal of Forestry*, 98(6), pp. 44-46.
- Escolà, A. et al., 2015. A mobile terrestrial laser scanner for tree crops: point cloud generation, information extraction and validation in an intensive olive orchard. In: J. V. Stafford, a cura di *Precision Agriculture '15*. s.l.:Wageningen Academic Publishers, pp. 337-344.
- Fernández-Sarría, A. et al., 2019. Estimating residual biomass of olive tree crops using terrestrial laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 75, pp. 163-170.
- Fernández-Sarría, A. et al., 2013. Different methodologies for calculating crown volumes of *Platanus hispanica* trees using terrestrial laser scanner and a comparison with classical dendrometric measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 90, pp. 176-185.
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L. & Santos, J. A., 2021. Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies. *Agronomy*, 11(56).
- Gardiner, J. D., Behnsen, J. & Brassey, C. A., 2018. Alpha shapes: determining 3D shape complexity across morphologically diverse structures. *BMC Evolutionary Biology*, 18(184).
- Girardeau-Montaut, D., s.d. [Online] Available at: <https://www.danielgm.net/cc/> [Consultato il giorno 2021].
- Goldschmit, E. E., 2005. Regolazione dell'alternanza di produzione negli alberi da frutto. *Italus Hortus*, Volume 1, pp. 11-17.
- Gucci, R. & Cantini, C., 2012. *Potatura e forme d'allevamento dell'olivo*. II a cura di Milano: Edagricole.

- <https://www.kaart.com/products/stencil-2-for-rapid-long-range-mobile-mapping/#Specs>,
s.d. *Kaarta*. [Online]
Available at: <https://www.kaart.com/products/stencil-2-for-rapid-long-range-mobile-mapping/#Specs>
[Consultato il giorno 21 4 2022].
- Lavee, S., 2007. Biennial Bearing in Olive (*Olea europaea*). *Annales: Series Historia Naturalis*, 17(1), pp. 101-112.
- Lodolini, E. M. & Neri, D., 2012. How growth and reproduction cycles affect alternate bearing in olive. *Acta Horticulture*, Volume 949, pp. 191-198.
- 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. et al., 2019. Preliminary Results about the Influence of Pruning Time and Intensity on Vegetative Growth and Fruit Yield of a Semi-Intensive Olive Orchard. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), pp. 969-980.
- Martin, G. C., Ferguson, L. & Polito, V. S., 2005. Flowering, pollination, fruiting, alternate bearing and abscission. In: G. S. Sibbet & L. Ferguson, a cura di *Olive Production Manual*. Oakland, California, USA: University of California, Agriculture and Natural Resources, pp. 49-54.
- Miranda-Fuentes, A. et al., 2015. Towards an Optimized Method of Olive Tree Crown Volume Measurement. *Sensors*, Volume 15, pp. 3671-3687.
- Monselise, S. P. & Goldschmit, E. E., 1982. Alternate Bearing in Fruit Trees. *Horticulture Reviews*, Volume 4, pp. 128-173.
- Muhadi, N. A. et al., 2020. The Use of LiDAR-Derived DEM in Flood Applications: A Review. *Remote Sensing*, 12(14).
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012. *Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications*. Charleston: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center.
- Neri, D., 2020. *Corso di Olivicoltura*. Ancona UNIVPM: s.n.
- Pannelli, G. & Alfei, B., 2019. In: G. Pannelli & B. Alfei, a cura di *L'olivo a vaso policonico Terroir e sostenibilità*. s.l.:Edagricole, p. 1.

- Pannelli, G. & Gucci, R., 2011. In: G. Pannelli & R. Gucci, a cura di *La Gestione della Chioma Volume V*. s.l.:Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, p. 5.
- Pinliang, D. & Qi, C., 2017. *LiDAR Remote Sensing and Applications*. 1 a cura di Boca Raton: CRC Press.
- Proietti, P., Famiani, F. & Guelfi, P., 2008. Principi, basi e scelte per la potatura dell'olivo. In: P. Proietti, F. Franco, G. Pannelli & G. Paolo, a cura di *Manuale per una potatura agevolata e semplificata*. Città di Castello PG: s.n., pp. 7-21.
- Protezione Civile delle Marche, s.d. *Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico*. [Online] Available at: <http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it> [Consultato il giorno 14 aprile 2021].
- Rodrigues, M. Â., Lopes, J. I., Ferreira, I. Q. & ARROBAS, M., 2018. Olive tree response to the severity of pruning. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Volume 42, pp. 103-113.
- Sibbet, S. G., 2005. Pruning Mature Bearing Olive Trees. In: S. G. Sibbet & L. Ferguson, a cura di *Olive Production Manual*. Oakland California USA: University of California, Agriculture and Natural Resources, pp. 55-59.
- The MathWorks, Inc., 2021. *MathWorks*. [Online] Available at: https://it.mathworks.com/products/computer-vision.html?s_tid=srchtitle_computer%20vision%20toolbox_2 [Consultato il giorno Giugno 2021].
- The MathWorks, Inc., 2021. *MathWorks Help Center*. [Online] Available at: https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/convhulln.html?searchHighlight=convhulln&s_tid=srchtitle_convhulln_1 [Consultato il giorno Settembre 2021].
- The MathWorks, Inc., 2021. *Matlab*, Natick: The MathWorks, Inc..
- The MathWorks, Inc., 2021. *Matlab Documentation*. [Online] Available at: <https://it.mathworks.com/help/> [Consultato il giorno 2021].

- Tombesi, A. & Tombesi, S., 2007. Olive pruning and training. In: *Production techniques in olive growing*. Madrid, Spagna: International Olive Council, pp. 45-81.
- Treccani, 2013. *Treccani*. [Online] Available at: https://www.treccani.it/enciclopedia/toro_%28Enciclopedia-della-Matematica%29/ [Consultato il giorno 23 05 2022].
- Vauhkonen, J., Tokola, T., Packalén, P. & Maltamo, M., 2009. Identification of Scandinavian Commercial Species of Individual Trees from Airborne Laser Scanning Data Using Alpha Shape Metrics. *Forest Science*, 55(1), pp. 37-47.
- Xiangyang, L. et al., 2021. Canopy Parameter Estimation of Citrus grandis var. Longanyou Based on LiDAR 3D Point Clouds. *Remote Sensing*, 13(1859).
- Zhang, W. et al., 2016. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sensing*, 8(6), p. 501.
- Zhaojin , Y. et al., 2019. A Concave Hull Methodology for Calculating the Crown Volume of Individual Trees Based on Vehicle-Borne LiDAR Data. *Remote Sensing*, 11(263).
- Zucconi, F., 2003. Fisiologia sistematica della pianta. In: F. Zucconi, a cura di *Nuove tecniche per i frutteti. Fisiologia e metodi innovativi nell'allevamento dei fruttiferi*. Bologna: Edagricole, pp. 5-69.
- Zucconi, F., Neri, D., Sabbatini, P. & Brunzini, L., 1996. *Metodi innovativi di allevamento dei fruttiferi a ridotta richiesta di manodopera*. Prima edizione a cura di Padova: SPAZIO VERDE.