

MONITORAGGIO INNOVATIVO DEGLI OLIVI TRAMITE PROXIMAL SENSING: STIMA DEL VOLUME DELLE CHIOME

S. Chiappini, E. S. Malinverni, R. Pierdicca

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia – (s.chiappini, e.s.malinverni, r.pierdicca@staff.univpm)

Parole chiave: Ulivo, Volume della chioma, Mobile Laser Scanner, Meshing, Agricoltura di Precisione

Key words: Olive tree, Canopy Volume, Mobile Laser Scanning, Meshing, Precision Agriculture.

Abstract

Lo sviluppo di metodi e tecniche per ricostruire il volume della chioma degli ulivi attraverso le nuvole di punti è un argomento di ricerca da tempo al centro dell'interesse di molti studiosi. Utilizzando un mobile laser scanner, abbiamo misurato i parametri di singoli alberi in un impianto olivicolo posto nel comune di Cartoceto nella Regione Marche. L'area ha ottenuto la Indicazione Geografica (IG) riconosciuta dalla legge italiana con la Denominazione di Origine Protetta (DOP). Secondo le pratiche agronomiche, abbiamo prima stimato il volume della chioma utilizzando forme geometriche semplici (paraboloide e toroide) come modelli di riferimento; poi abbiamo confrontato i valori della chioma con i volumi ottenuti da algoritmi che ricostruiscono le forme tridimensionali: forma convessa e alpha shape $R^2=0,91$). Questa analisi iniziale fornisce un punto di partenza teorico per applicazioni future, come la possibilità di usare il LIDAR nel processo di potatura meccanizzata degli ulivi.

The development of methods and techniques for reconstructing olive tree canopies by point clouds is a long-established topic challenging many researchers. Using Mobile Laser Scanner, we measured single tree parameters in an olive grove in Cartoceto, Marche Region. The area is a well-known geographical indication agreed by Italian law by Protected Designation of Origin (PDO). According to the agronomic practice, we first estimated the canopy volume using geometrical primitives (paraboloid and toroidal) as ground truth. We have finally compared the canopy values with the volumes obtained by mesh algorithms: Convex hull and Alpha shape, to statistically compare pairwise correlation (Paraboloid - Convex hull $R^2= 0,92$ and Toroid - Alpha shape $R^2=0,91$). This preliminary analysis provides a theoretical benchmark for future implementations, such as the possibility of including LiDAR (Light Detection and Ranging) in the mechanized pruning process.

1. Introduzione

Gli ulivi sono elementi tipici del paesaggio mediterraneo e rappresentano una caratteristica significativa per più di 16 paesi nel bacino del Mediterraneo. Per la maggior parte di essi, la ricchezza economica dipende anche dal valore intrinseco ed estrinseco degli oliveti (Volpi et al., 2023). I paesaggi olivicoli sono il risultato di relazioni a lungo termine tra le comunità locali, le proprietà terriere, la gestione degli impianti e lo sfruttamento che ne deriva (Palazzo & Aristone, 2017). Queste caratteristiche sono profondamente radicate nella percezione popolare delle tradizioni locali. Inoltre, i prodotti derivati dagli ulivi sono diventati una componente chiave della Dieta Mediterranea (Riolo et al., 2022).

Il paesaggio olivicolo in Italia ha subito un significativo cambiamento dopo la Seconda Guerra Mondiale. Il processo di specializzazione e meccanizzazione delle aziende agricole, insieme ai requisiti di produttività, hanno influenzato sia il rendimento che la redditività. La filiera della produzione olivicola ha spinto gli agricoltori ad adottare elevati standard qualitativi (Lo Bianco et al., 2021). Allo stesso tempo, la migrazione di massa dalle aree rurali verso le città e l'aumento di addetti nelle attività industriali ha portato all'abbandono delle coltivazioni tradizionali e alla mancanza di manodopera qualificata (Palazzo & Aristone, 2017).

Oggi, lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione (PA) sta emergendo portando innovazione e cambiamento. Nuove

strategie di gestione basate sul rilevamento delle colture sia da "remote sensing" che da "proximal sensing", combinate con la "Information and Communication Technologies" (ICT) stanno aiutando gli agricoltori e i pianificatori del territorio a resistere, preservare e sfruttare nei migliori dei modi i delicati equilibri ecologici paesaggistici (Belcore et al., 2021a).

L'uso di tecnologie e tecniche proposte dalla PA negli oliveti è ancora limitato attualmente. Secondo la letteratura scientifica, sono stati pubblicati pochi studi di geomática e di analisi spaziale su questo tema (Anastasiou et al., 2023). Tuttavia, riteniamo che i sensori laser per estrarre le metriche tridimensionali degli alberi rappresentino una sfida interessante. A tal fine, il rilevamento laser terrestre (TLS) e i sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (APR) possono risultare utili. Infatti, il TLS fornisce nuvole di punti ad alta densità degli alberi rilevati (Brede et al., 2019; Malhi et al., 2018), così come l'APR che invece esegue rilievi più rapidi, anche se parte della chioma rimane nascosta dalla fronda impedendo il rilevamento sottostante (Estornell et al., 2015; Panagiotidis et al., 2022).

Tra i diversi sistemi di rilevamento da laser, il LIDAR rappresenta un'opportunità per sviluppare metodi non distruttivi per il calcolo della biomassa in modo più preciso e a costi contenuti rispetto alle attuali misurazioni manuali sul campo (Belcore et al., 2021b).

In questo contesto, la nostra ricerca mira a stimare il volume delle chiome degli ulivi (CV) mediante Mobile Laser Scanning (MLS),

una tecnica finora utilizzata prevalentemente in ambito civile. La tecnologia MLS produce una nuvola di punti formata da coordinate locali nello spazio tridimensionale per ricostruire la struttura degli alberi. Mediante la triangolazione dei soli punti posti sulla superficie esterna del modello 3D, costruisce una maglia che rappresenta la superficie dell'albero (Liu et al., 2021). In questa ricerca abbiamo testato due differenti algoritmi di mesh, la prima Convex Hull (CH), mentre la seconda Alpha Shape (AS) (Yan et al., 2019).

2. Caso studio

L'area di studio si trova nel centro Italia, nel comune di Cartoceto, nella provincia di Pesaro/Urbino, nella Regione Marche (Fig. 2, 3, 4). Questa zona ha ottenuto un'Indicazione Geografica (IG) riconosciuta dalla legge italiana come Denominazione di Origine Protetta (DOP) (Commission, 2023). L'uliveto oggetto dello studio presenta un impianto di 6x6 metri con una densità di 200-250 alberi di ulivo per ettaro, definita dagli agronomi come "specializzata". Inoltre, gli ulivi indagati hanno un'origine che risale a circa 50 anni fa, il che rende la loro struttura complessa, caratterizzata da una forma a vaso policonico, con abbondante fogliame e una grande varietà tra loro. La ricerca è stata finanziata grazie al sostegno dei fondi regionali per lo sviluppo rurale "PSR Marche 2014/2020" e dell'associazione locale degli agricoltori "Cartoceto DOP" (Consorzio Olio d.o.p. Cartoceto, 2023). L'obiettivo complessivo del progetto di ricerca è valorizzare la qualità e l'efficienza delle attività agricole dell'associazione agricola di Cartoceto, evidenziando i benefici del paesaggio olivicolo per la comunità locale e l'ambiente circostante.



Figura 1. Localizzazione dell'area di studio nella Regione Marche, Italia



Figura 2. Confini amministrativi del Comune di Cartoceto (PU)



Figura 3. Panoramica dell'uliveto analizzato

3. Metodologia

La ricerca è stata condotta per mezzo di un MLS, nello specifico Kaarta Stencil 2 (Fig. 4), che ha permesso di ottenere le nuvole dei punti dell'intero impianto olivicolo.



Figura 4. Strumento MLS: Kaarta Stencil 2

Durante l'attività sul campo, della durata di 12 minuti, è stata eseguita una camminata tracciando un percorso chiuso all'interno delle file di ulivi, coprendo un'area approssimativa di 3665 mq. La raccolta dei dati ha prodotto un totale di 102 milioni di punti (Fig. 5 e Fig. 6).



Figura 5. Vista dall'alto della nuvola di punti ottenuta con MLS

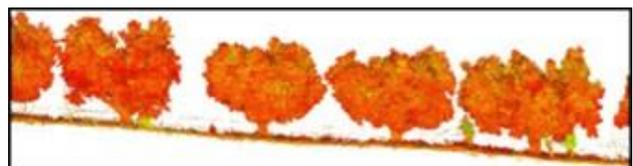


Figura 6. Vista laterale di una fila di alberi dalla nuvola di punti

A seguire, sono state acquisite le coordinate di cinque target riflettenti, posizionati a differenti quote nell'area di studio e poste in modo da ottenere una triangolazione accurata, mediante un ricevitore GNSS HIPER HR della TOPCON (Topcon, 2023).

Terminato il lavoro in campo, si è eseguito il processamento della nuvola di punti sfruttando i tools messi a disposizione da Cloud Compare (CC) (Girardeau-Montaut, 2016). Per prima cosa è stata georeferenziata la nuvola di punti sui target riflettenti individuati al suo interno, secondo il sistema di riferimento WGS84/UTM33N, utilizzando gli strumenti point picking e allineamento di CC. Per ridurre le ridondanze nel considerevole volume di dati da calcolare, per mezzo del plugin Cloth Simulation Filter (CSF) (Zhang et al., 2016), l'area viene classificata in due classi, punti a terra e punti fuori terra. Infine, si esegue il filtraggio del rumore mediante lo strumento Statistical Outlier Removal (SOR)(Girardeau-Montaut, 2016) , applicato solamente alla classe fuori terra, il quale individua i punti isolati e aggregati a bassa densità. Dopo queste iterazioni, sono stati identificati 21 alberi, ridotti ai fini della ricerca solo a 12, i quali erano stati recuperati e gestiti negli ultimi anni con le tecniche agronomiche dell'AP.

Per calcolare l'accuratezza del rilievo da MLS, abbiamo bisogno di una Ground Truth (GT) (Fernández-Sarría et al., 2019a; Lin et al., 2017; Liu et al., 2021)). Diversi studi sull'uso del MLS si concentrano sul confronto tra i volumi delle chiome degli alberi misurati manualmente e quelli stimati con applicazioni di modellazione 3D, assumendo che la forma della chioma sia simile a una primitiva geometrica. Le due primitive geometriche più utilizzate sono a forma di paraboloide e toroide.

I volumi delle chiome dei singoli ulivi da utilizzare come GT sono stati calcolati utilizzando come primitive geometriche la forma parabolica (Eq. 1) (Fig. 7) e quella toroidale (Eq. 2) (Fig. 8).

$$V_{parabolico} = \frac{\pi D^2 H}{6} \quad (1)$$

ove D = diametro
H = altezza massima della chioma

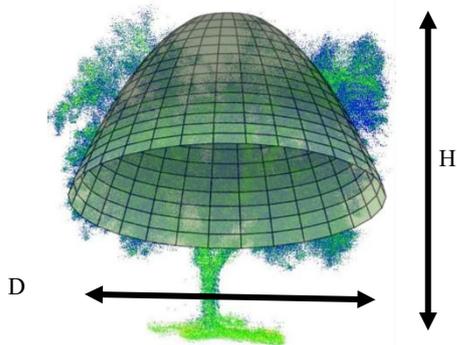


Figura 7. Approssimazione della forma paraboloide applicata alla chioma dell'ulivo

$$V_{toroidale} = 2 \pi^2 r^2 R \quad (2)$$

ove r = raggio interno del toroide
R = raggio massimo del toroide

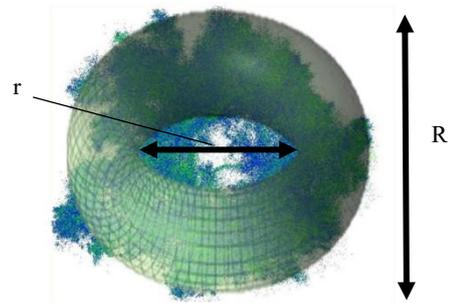


Figura 8. Approssimazione della forma toroidale applicata alla chioma dell'ulivo

4. Risultati

I valori di GT calcolati, che rappresentano i volumi calcolati mediante la lettura manuale delle dimensioni delle primitive geometriche, sono stati correlati rispetto ai volumi calcolati mediante algoritmi di mesh. In questo lavoro, sono stati quindi utilizzate due diverse modellazioni tridimensionali, CH e AS, per creare delle superfici chiuse dalle nuvole di punti delle singole chiome di ulivo utilizzando il software MATLAB versione R2020b (MathWorks, Inc.).

L'algoritmo CH ricostruisce le chiome degli alberi come poliedri convessi tridimensionali con una superficie triangolare, rimuovendo tutti i punti esterni. D'altra parte, l'algoritmo AS esegue la ricostruzione geometrica da un insieme di punti non ordinati. Valori alpha più piccoli ricostruiscono accuratamente il contorno esterno della nuvola di punti. La Fig. 9 mostra la ricostruzione della chioma utilizzando l'algoritmo CH, mentre la Fig. 10 mostra la copertura ricostruita attraverso l'algoritmo AS (valore alpha: 0,5).

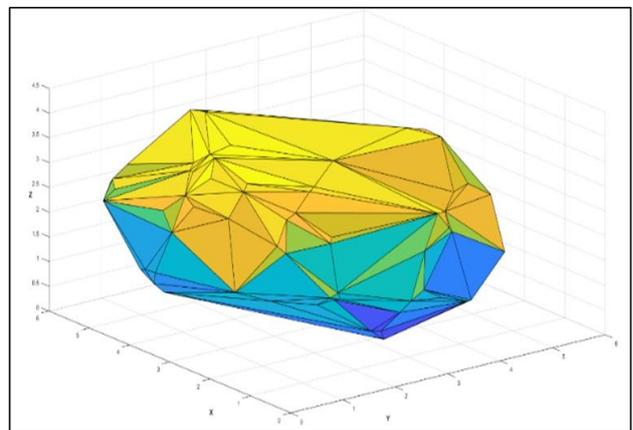


Figura 9. Risultato dell'algoritmo Convex Hull

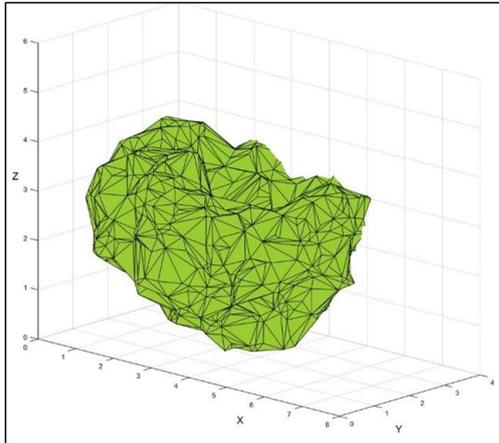


Figure 10. Risultato dell' algoritmo Alpha Shape (valore 0.5)

Grazie al confronto tra i volumi delle GT e algoritmi di mesh, CH e AS, è stato possibile valutare l'accuratezza degli approcci adottati. Nel dettaglio, è ben visibile che in Fig. 11 i risultati denotano una significativa associazione positiva data dalla coppia forma paraboloidale e CH ($R^2 = 0,92$), mentre in Fig. 12 una chiara correlazione è data dalla forma toroidale e il dato ottenuto da AS ($R^2 = 0,91$).

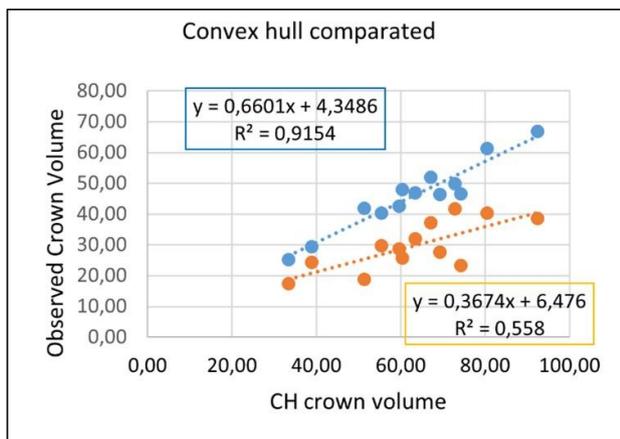


Figura 11. Coefficiente di correlazione tra il Convex Hull rispetto alla forma paraboloidale (grafico in blue) e la forma toroidale (grafico in arancione)

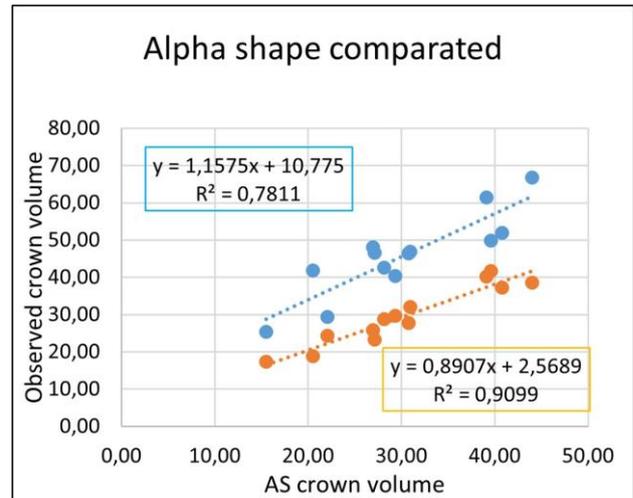


Figura 12. Coefficiente di correlazione tra Alpha Shape rispetto alla forma paraboloidale (grafico in blue) e la forma toroidale (grafico in arancione)

D'altra parte, la correlazione è minore per le altre combinazioni di coppie, dove i valori statistici diminuiscono drasticamente, registrando $R^2 = 0,55$ e $R^2 = 0,78$. Questi risultati sono in linea con quanto riportato nella ricerca condotta in letteratura (Fernández-Sarría et al., 2019).

5. Conclusione

In questo studio, abbiamo dimostrato il potenziale del MLS nello stimare il volume delle chiome degli uliveti. I valori ottenuti dall'analisi statistica tra i volumi delle chiome di ulivo hanno mostrato che la maggiore correlazione è stata raggiunta tra i risultati della forma parabolica (GT) rispetto al volume calcolato CH. Vale la pena sottolineare che dal punto di vista grafico l'algoritmo AS riesce a modellare meglio la chioma dell'ulivo, con un risultato geometrico che si adatta meglio alla forma toroidale. È importante sottolineare che il fattore umano ha un'influenza significativa sui risultati finale poiché i valori di GT sono direttamente derivati dal modello 3D. Questa fase è soggettiva e dipende dall'interpretazione dell'utente.

Le tecniche messe in campo dall'AP dovrebbero spingere gli imprenditori agricoli verso l'uso di dispositivi per il rilevamento prossimale integrati con algoritmi di ricostruzione 3D, che fornisca le dimensioni della chioma specifiche per ogni tipo di ulivo preso in considerazione. Questi dati saranno forniti all'agricoltore per applicare le migliori pratiche agronomiche, al fine di ottimizzare l'uso delle risorse, come acqua, fertilizzanti, pesticidi e ridurre gli sprechi.

Ci auguriamo che i futuri modelli predittivi basati sulla visualizzazione 3D possano aiutare gli agricoltori a ottenere le migliori prestazioni di potatura (Lin et al., 2017), selezionando i volumi delle singole piante, da prendere in considerazione, in modo semiautomatico.

Il risparmio di tempo e l'efficienza economica del metodo proposto favoriranno l'aumento della frequenza delle rilevazioni, rendendo le pratiche di monitoraggio degli uliveti più efficaci, grazie anche a un censimento periodico da caricare su un GIS.

Gli sviluppi futuri della ricerca qui presentata, si concentreranno sul miglioramento dei risultati attraverso il confronto tra le tecniche di potatura e gli algoritmi di meshing (ad esempio usando differenti valori sia di Alpha shape che di Voxel-based).

Diversi autori suggeriscono di sezionare le nuvole di punti che rappresentano le chiome lungo l'asse z e affettarle con uno spessore definito variabile tra 5-15 cm, il quale fornirà un valore del volume della chioma, più attendibile rispetto a quanto studiato in questa ricerca (Colaço et al., 2017; Fernández-Sarria et al., 2019b; Yan et al., 2019).

6. Contributi, conflitti di interessi e ringraziamenti

Contributi dei singoli autori

Idea e concezione, S.C.; metodologia, S.C.; software, S.C.; validazione, S.C.; analisi, S.C.; revisione, R.P.; supervisione, E.S.M.

Tutti gli autori hanno letto e sono in accordo con quanto scritto nella versione dell'articolo pubblicata.

Conflitti di interessi: Tutti gli autori dichiarano di non avere conflitti di interesse da riportare.

Fonti di finanziamento

Gli autori riconoscono il finanziamento del progetto Olive-GET da parte del PSR Marche 2014-2020 (16.1), l'ospitalità e la gestione delle prove sul campo da parte dell'Az. Agr. Luvia e il contributo di Tommaso Maggioli (Cartoceto DOP).

Bibliografia

Anastasiou, E., Balafoutis, A. T., & Fountas, S. (2023). Trends in Remote Sensing Technologies in Olive Cultivation. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100103>

Belcore, E., Angeli, S., Colucci, E., Musci, M. A., & Aicardi, I. (2021a). Precision agriculture workflow, from data collection to data management using FOSS tools: An application in Northern Italy vineyard. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi10040236>

Belcore, E., Angeli, S., Colucci, E., Musci, M. A., & Aicardi, I. (2021b). Precision Agriculture Workflow, from Data Collection to Data Management Using FOSS Tools: An Application in Northern Italy Vineyard. In *ISPRS International Journal of Geo-Information* (Vol. 10, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/ijgi10040236>

Brede, B., Calders, K., Lau, A., Raunonen, P., Bartholomeus, H. M., Herold, M., & Kooistra, L. (2019). Non-destructive tree volume estimation through quantitative structure modelling: Comparing UAV laser scanning with terrestrial LIDAR. *Remote Sensing of Environment*, 233(July), 111355. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111355>

Colaço, A. F., Trevisan, R. G., Molin, J. P., Rosell-Polo, J. R., & Escolà, A. (2017). A method to obtain orange crop geometry information using a mobile terrestrial laser scanner and 3D modeling. *Remote Sensing*, 9(8), 10–13. <https://doi.org/10.3390/rs9080763>

Commission, E. (2023). *Common agricultural policy*. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en

Estornell, J., Ruiz, L. A., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., & Fernández-Sarria, A. (2015). Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LiDAR data. *Biomass and Bioenergy*, 81, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.015>

Fernández-Sarria, A., López-Cortés, I., Estornell, J., Velázquez-Martí, B., & Salazar, D. (2019a). Estimating residual biomass of olive tree crops using terrestrial laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75(August 2018), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.019>

Fernández-Sarria, A., López-Cortés, I., Estornell, J., Velázquez-Martí, B., & Salazar, D. (2019b). Estimating residual biomass of olive tree crops using terrestrial laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75(August 2018), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.019>

Girardeau-Montaut, D. (2016). CloudCompare. *France: EDF R&D Telecom ParisTech*, 11.

<https://www.oliocartocetodop.it/>. (n.d.). *CONSORZIO OLIO DOP CARTOCETO*. <https://doi.org/https://www.oliocartocetodop.it/>

Lin, W., Meng, Y., Qiu, Z., Zhang, S., & Wu, J. (2017). Measurement and calculation of crown projection area and crown volume of individual trees based on 3D laser-scanned point-cloud data. *International Journal of Remote Sensing*, 38(4), 1083–1100. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1265690>

Liu, X., Wang, Y., Kang, F., Yue, Y., & Zheng, Y. (2021). Canopy parameter estimation of citrus grandis var. Longanyou based on lidar 3d point clouds. *Remote Sensing*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/rs13091859>

Lo Bianco, R., Proietti, P., Regni, L., & Caruso, T. (2021). Planting systems for modern olive growing: Strengths and weaknesses. *Agriculture (Switzerland)*, 11(6), 1–18. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060494>

Malhi, Y., Jackson, T., Bentley, L. P., Lau, A., Shenkin, A., Herold, M., Calders, K., Bartholomeus, H., & Disney, M. I. (2018). New perspectives on the ecology of tree structure and tree communities through terrestrial laser scanning. *Interface Focus*, 8(2). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2017.0052>

Palazzo, A. L., & Aristone, O. (2017). Peri-urban matters. changing olive growing patterns in central Italy. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040638>

Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., & Slavík, M. (2022). 3D point cloud fusion from UAV and TLS to assess temperate managed forest structures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112(July), 102917. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102917>

Riolo, R., De Rosa, R., Simonetta, I., & Tuttolomondo, A. (2022). Olive Oil in the Mediterranean Diet and Its Biochemical and Molecular Effects on Cardiovascular Health through an Analysis of Genetics and Epigenetics. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 16002.

Volpi, I., Marchi, S., Petacchi, R., Hoxha, K., & Guidotti, D. (2023). Detecting olive grove abandonment with Sentinel-2 and machine learning: The development of a web-based tool for land management. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100068. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100068>

Yan, Z., Liu, R., Cheng, L., Zhou, X., Ruan, X., & Xiao, Y. (2019). A Concave Hull Methodology for Calculating the Crown Volume of Individual Trees Based on Vehicle-Borne LiDAR Data. *Remote Sensing*, 11(6), 623. <https://doi.org/10.3390/rs11060623>

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, 8(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs8060501> © 2021 by the authors. Open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License Share Alike 4.0 (CC-BY-SA)

© 2021 degli autori. Pubblicazione open access come da termini e condizioni della licenza Creative Commons Attribution License Share Alike 4.0 (CC-BY-SA)