

# Misurare e rappresentare il ‘verde’: dal rilievo digitale alle piattaforme di *training* virtuale

Francesca Picchio  
Alessandro Martinelli  
Silvia La Placa  
Francesca Galasso  
Hangjun Fu  
Marco Carnevale

## Abstract

Il contributo tratta la tematica del rilievo del verde, la complessità della sua acquisizione e della sua rappresentazione, nonché le attuali sfide legate alla costruzione di duplicati digitali di dettaglio della singola pianta, geometricamente affidabili e fruibili all'interno di piattaforme immersive. Gli algoritmi di Intelligenza Artificiale vengono in aiuto alla semplificazione del processo di ricostruzione 3D del verde, senza però riuscire a restituire l'integrità delle caratteristiche distintive delle specie, e rendendo ancora necessaria l'interpretazione critica del disegnatore. Il testo descrive le sperimentazioni condotte all'interno del progetto di ricerca multidisciplinare *Demetra*, per la valutazione dell'affidabilità di algoritmi semi-automatici nella produzione di modelli geometrici *reality-based* di una pianta di nocciolo e per il successivo sviluppo di una piattaforma di training in ambiente virtuale per operatori agricoli, con focus sulla potatura degli alberi. La ricerca intende sperimentare un metodo operativo per la rappresentazione 3D di elementi vegetali nel contesto digitale, utilizzando dati integrati da diversi strumenti e secondo una logica parametrica di costruzione dei *Digital Twins*, tale da renderli impiegabili per futuri sviluppi in ambito agricolo e nella formazione virtuale dei professionisti del settore.

## Parole chiave

rilievo del verde, reverse modeling, virtual training, digital twin, scenari virtuali



Dettaglio del processo di ricostruzione semiautomatica dei rami parametrici. Elaborazione degli autori.

## Introduzione

Se misurare significa attribuire un'identità numerica a ciò che ci circonda, quando il rilievo metrico è rivolto a elementi caratterizzati da una propria unicità e singolarità di forma e componenti come le alberature, l'operazione di codifica grafico-numerica delle geometrie diviene complessa, e sempre più vincolata a una conclusione graficamente prefigurata a carattere tridimensionale [Parrinello et al. 2012].

Il rilievo della vegetazione, inteso come strumento rivolto sia alla gestione urbana di aree verdi a carattere pubblico, sia al miglioramento delle tecnologie di produzione dell'agricoltura primaria, è stato affrontato, per molti anni, per mezzo di rilevamenti topografici, mosso dall'obiettivo quasi esclusivo di una conoscenza puntuale del posizionamento planimetrico delle singole unità vegetali [Merenchino et al. 2007; Cattaneo et al. 2005]. A questo tipo di documentazione *in situ*, corrisponde poi, a livello cartografico, una rappresentazione semplificata del fusto, realizzata attraverso appositi codici grafici atti a descrivere la dimensione approssimativa dell'albero, ma che di fatto ne discretizzano la forma [Passamani 2023].

A tale estrema discretizzazione, l'esponentiale sviluppo e impiego delle tecnologie digitali, quali applicazioni di strumenti a scansione e strumenti fotogrammetrici per il rilievo del paesaggio, ha contrapposto una proliferazione di informazioni numeriche [Merlo et al. 2018]. Se l'architettura è "facilmente" comprensibile nelle sue forme costituenti, tanto che il database 3D che la descrive è organizzabile e qualificabile nel suo insieme in disegni e elaborati 3D descrittivi [De Carlo et al. 2003], il verde sembra non conoscere mezzi adeguati che possano tradurlo in una rappresentazione primaria di un contesto morfologico [Parrinello 2012]. Dati i recenti e interessanti sviluppi sul tema [Wang et al. 2022], si immagina che l'AI possa risolvere in breve tempo tali questioni. Per questo motivo, nell'ambito di un progetto multidisciplinare *Nodes* [1] per l'innovazione tecnologica nel settore dell'agro-industria, è stata avviata una sperimentazione tesa a validare l'affidabilità di alcuni algoritmi di modellazione semi-automatici sulla produzione di un modello geometrico accurato di una pianta, nello specifico un albero di nocciolo, rilevata con metodologie di acquisizione integrata.

## Il progetto Demetra

Nel settore dell'industria primaria le attività di training in ambiente VR risultano ancora limitatamente indagate e presentano risultati non del tutto performanti in termini di interazione



Fig. 1. Fasi della prima campagna di acquisizione con strumentazione *range-based* e *image-based*. Foto degli autori.

utente-scenario [Jaeger et al. 2010]. Sebbene siano state promosse alcune sperimentazioni in tal senso per la modellazione approssimata di tipologie di alberature e arbusti [Kim 2016], le soluzioni proposte non garantiscono ancora la percezione di piena immersività all'interno dello scenario virtuale.

Con l'obiettivo di rispondere a questa esigenza, il progetto di ricerca *Demetra* [2], avviato dall'Università di Pavia nel novembre 2023, intende sviluppare un *Proof Of Concept* (POC) di una piattaforma di training in ambiente virtuale per l'operatore agricolo, quanto più possibile vicina alla realtà.

In particolare, la ricerca, all'interno dell'ambito della rappresentazione, riguarda: l'analisi delle complessità morfologiche della pianta del nocciolo, resa possibile dalla collaborazione tra ricercatori e agronomi [3]; la strutturazione di una metodologia di rilievo integrato lidar e fotogrammetrico, finalizzata alla costruzione di un database morfometrico di elevato dettaglio; e la definizione di un sistema rappresentativo tridimensionale tronco-rami-foglie coerente con l'oggetto indagato e allo stesso tempo discretizzato.

Questa condizione è necessaria per agevolare l'inserimento del duplicato digitale all'interno della piattaforma virtuale e garantire un'interazione fluida uomo-scenario [Wu et al. 2022].

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6
<b>Photos</b>	491	346	290	259	277	502
<b>Aligned</b>	389	182	289	259	261	500
<b>Sparse Cloud</b>	200.000 pt	200.000 pt	90.000 pt	80.000 pt	70.000 pt	150.000 pt
<b>Dense Cloud</b>	36 Mln pt	36 Mln pt	31 Mln pt	28 Mln pt	31 Mln pt	66 Mln pt
<b>Mesh Model</b>	5 Mln poly	6 Mln poly	5 Mln poly	5 Mln poly	5 Mln poly	10 Mln poly
<b>Textured</b>	Partial	Partial	Complete	Complete	Complete	Complete

Fig. 2. Tabella riassuntiva dei dati elaborati da processo fotogrammetrico. Elaborazione degli autori.

### Integrazione di tecniche lidar e fotogrammetriche per il rilievo della pianta di nocciolo

Individuato il nocciolo del campus dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza [4] è stata sviluppata una metodologia di digitalizzazione del verde [5] tesa all'ottenimento di un database affidabile e altamente descrittivo della sua complessità geometrica.

La forma irregolare dell'architettura arborea ha portato a escludere fin dall'inizio un metodo di acquisizione basato su singolo sensore, favorendo una documentazione multi-risoluzione adatta a descrivere la morfologia eterogenea della vegetazione [Verim et al. 2023]. In particolare, il rilievo è stato condotto identificando fin da subito diversi fattori di rischio ambientale [6], che sono stati risolti applicando metodologie diversificate e integrando acquisizioni *range-based* [7] e *image-based* [8] (fig. 1).

Al fine di garantire la massima integrabilità dei dati in fase di post-produzione, sono stati predisposti dei punti di controllo attorno all'area di rilievo, sia su piani verticali che orizzontali. I primi risultati delle elaborazioni (fig. 2) hanno fornito un database esemplificativo dell'impianto vegetale, caratterizzato da un'elevata accuratezza metrica, ma anche da una rappresentazione digitale morfologica approssimata.

La causa di tale riscontro risiede da un lato, in un'eccedenza di dati digitali acquisiti che hanno generato un eccessivo rumore attorno alla chioma, e dall'altro, in una generalizzata discontinuità della nuvola, dovuta alle zone d'ombra prodotte dal fogliame.

Fig. 3. Immagini dalla seconda campagna di acquisizione dei due alberi privi della chioma. Foto degli autori.



Con l'obiettivo di ridurre al minimo gli errori nel duplicato digitale, per risolvere le difficoltà riscontrate, è stata condotta un'ulteriore campagna di acquisizione su alberature completamente spoglie [9] (fig. 3).

Per massimizzare la resa della rappresentazione finale, ogni dataset fotogrammetrico è stato sottoposto ad alcuni processi di pulizia, automatici e manuali [10], cercando di non intaccare il dato tridimensionale utile alla successiva fase di ricostruzione. Tutti i dataset (lidar e fotogrammetrici) sono stati infine allineati tra loro sulla base di punti omologhi di controllo, utilizzando il software Leica Cyclone (figg. 4, 5).

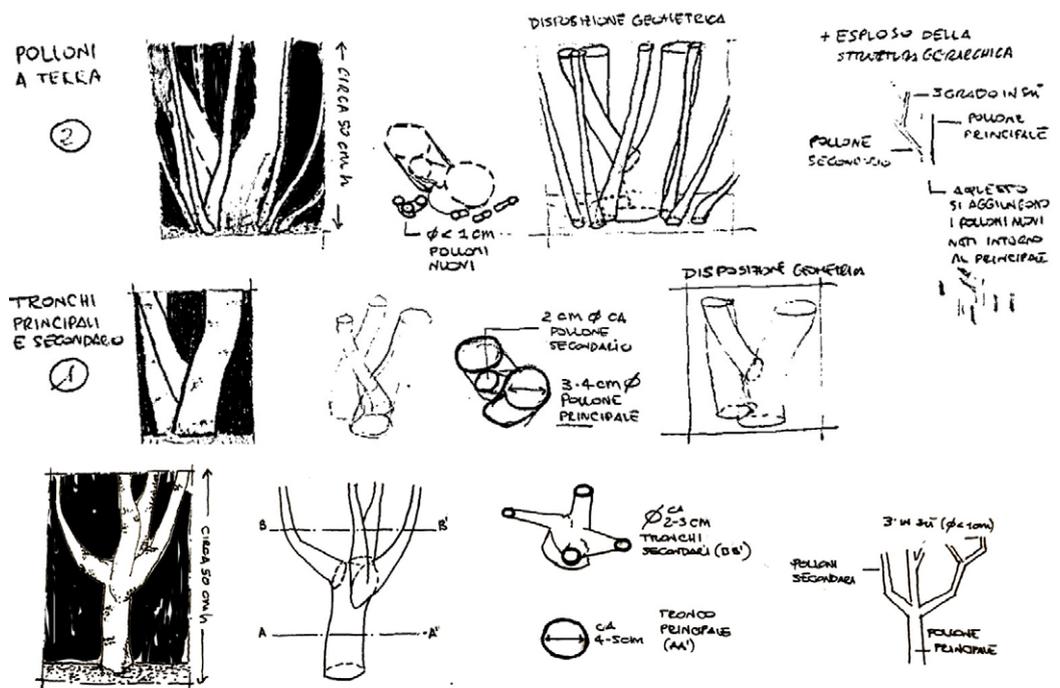


Fig. 4. Interpretazione critica della geometria e della struttura gerarchica della ramificazione dell'albero, propedeutica alla discretizzazione della nuvola di punti e al processo di modellazione reality-based. Elaborazioni degli autori.

Differentemente dai primi risultati, il database tridimensionale prodotto al termine delle nuove elaborazioni risulta essere migliorato sia nell'accuratezza metrica che nella definizione morfologica delle geometrie. (figg. 6, 7, 8, 9).

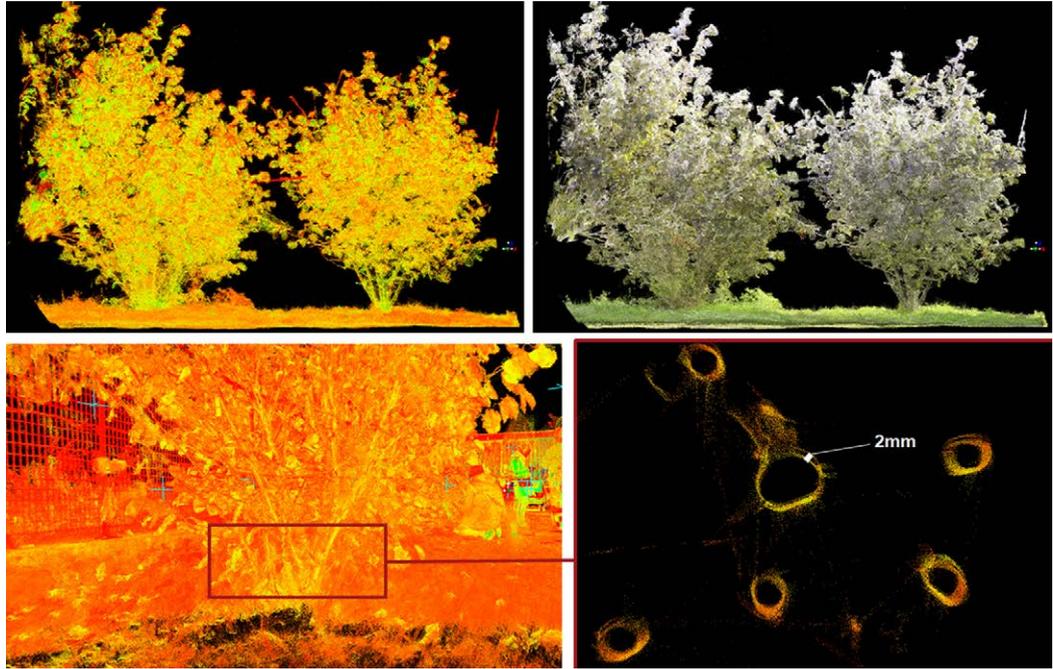


Fig. 5. Visualizzazione delle nuvole di punti *Intensity map* e RGB delle due piante analizzate. In basso, il dettaglio di una sezione del pollone principale con l'errore registrato. Elaborazioni degli autori.

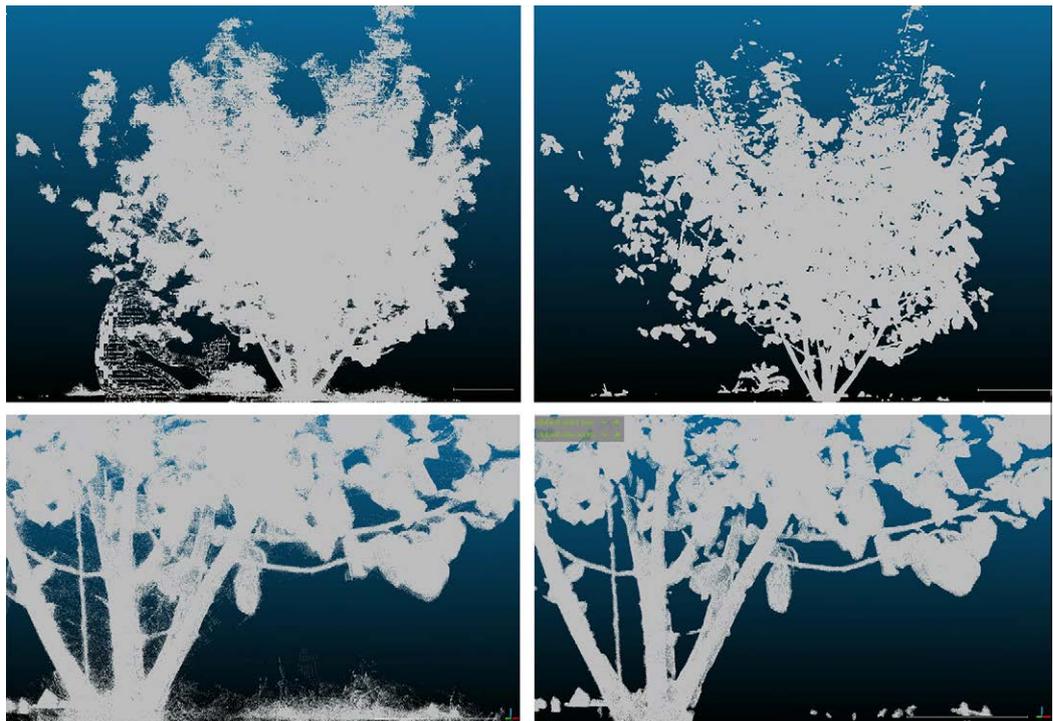


Fig. 6. Visualizzazione del database 3D da acquisizione lidar ottenuto sulla pianta non innestata. A sinistra la nuvola di punti dell'albero da scansioni grezze; a destra la nuvola di punti filtrata per l'ottimizzazione del rumore. Elaborazioni degli autori.

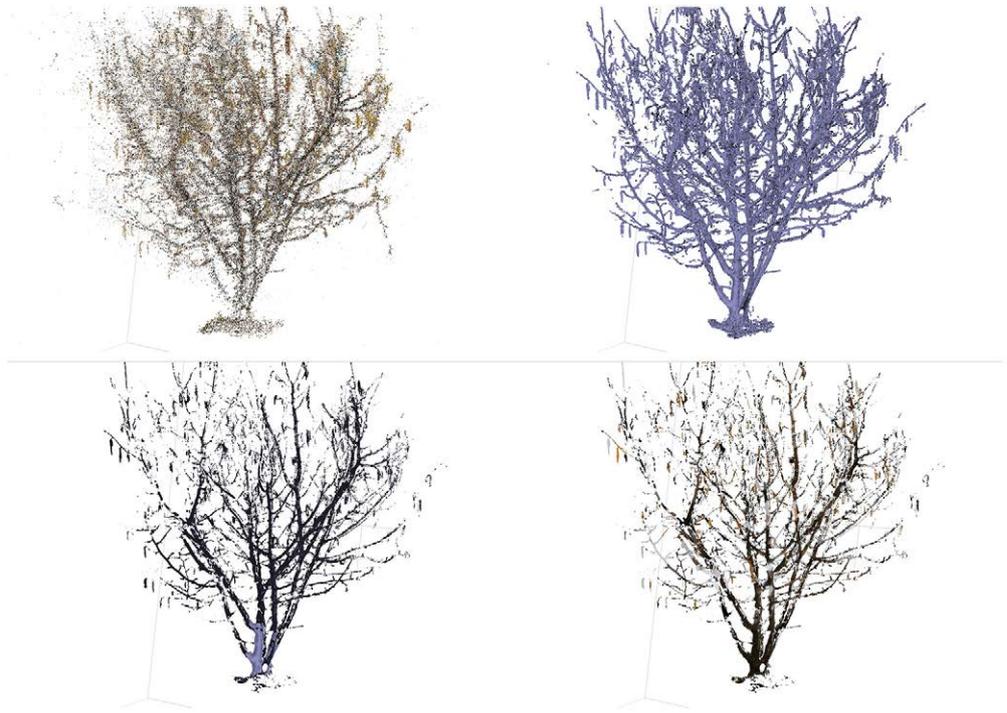


Fig. 7. Fasi di ricostruzione del modello fotogrammetrico per un singolo set di foto. Nuvola sparsa, nuvola densa, modello mesh, modello texturizzato. Elaborazioni degli autori.

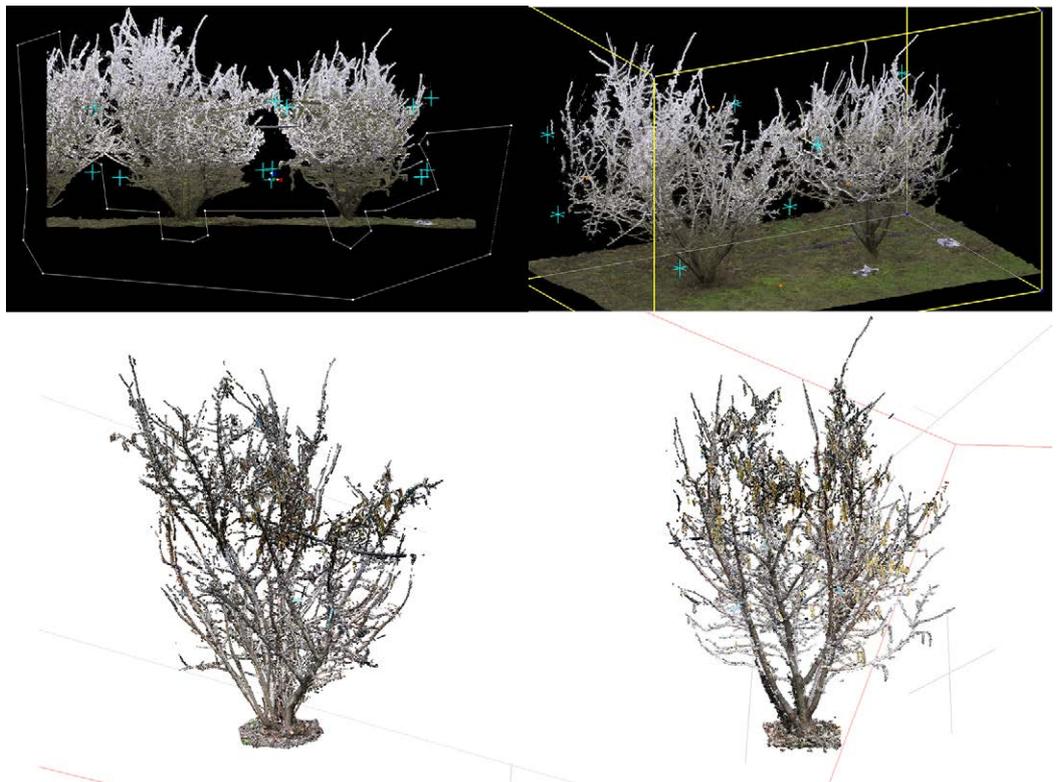


Fig. 8. Nuvola di punti ottenuta dal rilievo Laser Scanner; e merge con le nuvole da rilievo con fotocamere. Il peso dei file è rispettivamente di 3.1 Gb e 1.1Gb. Elaborazioni degli autori.

Fig. 9. Valutazione dell'affidabilità del database acquisito, attraverso il confronto tra la nuvola di punti Lidar e quella da fotogrammetria SfM. Elaborazioni degli autori.

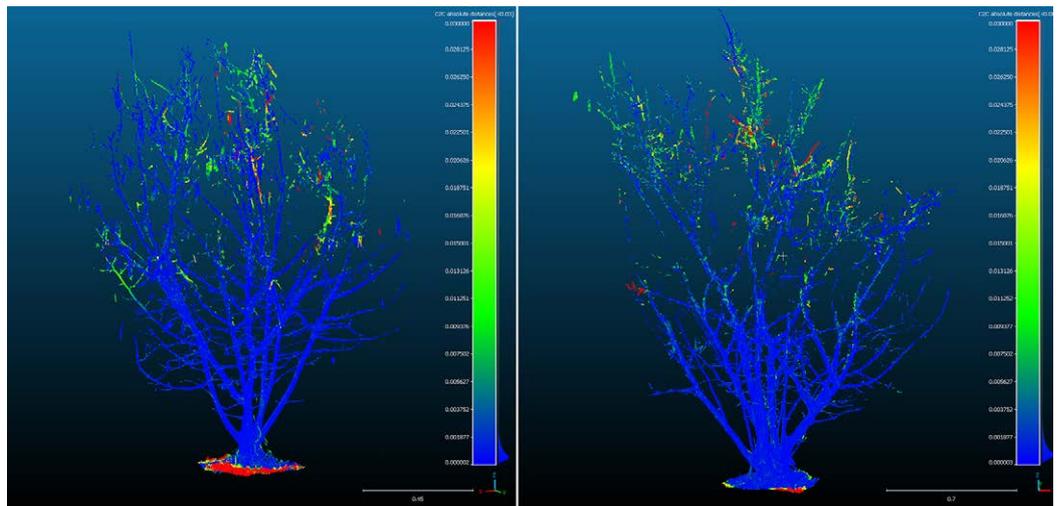


Fig. 10. Sequenza di ricostruzione dei rami su software Speedtree, nelle sue varie fasi: importazione, lettura assistita dei rami per estrarre la texture, riconoscimento delle sezioni da cui generare i nuovi rami, clearance (pulizia dei bordi della mesh), estensione dei rami, shaping (torsione e orientamento dei rami). In basso, l'allineamento dei rami parametrici con le posizioni originali, attraverso l'importazione di un modello ghosted di riferimento. Elaborazioni degli autori.



### Sperimentazioni di modellazione generativa

La fase costruzione del modello 3D ha richiesto un'analisi della letteratura [Okura 2022; Liu et al. 2021; Argudo et al. 2016] per raggiungere precise caratteristiche geometriche e dimensionali. In particolare, sono state vagliate, comparandole, opzioni di modellazione geometrica semi-automatica (*reverse modeling* e *mesh da scanner 3D*), manuale (*mesh low poly* basata su nuvola di punti) e auto generativa (semi automatica, AI, *deep learning*).

A seguito di differenti test, è stata scelta l'opzione di trasformazione semi-automatica del modello mesh da fotogrammetria in un modello generativo tramite software SpeedTree. Un'articolata serie di processi (fig. 10) ha permesso di riprodurre un *digital twin* dell'albero originale in forma parametrica, quindi controllabile in tutti i suoi aspetti: lunghezza e numero di rami, raggio delle sezioni dei differenti polloni, distanza fra i nodi, numero di foglie, orientamento delle pianta e delle sue componenti, forze subite, *twisting*, *texture blending*, ed altre centinaia, permettendo una riproduzione assolutamente fedele ma sempre modificabile, diversamente dal modello statico. Per garantire la massima aderenza tra il modello e la nuvola di punti, è stata poi studiata una tecnica di raffinazione della forma, ossia l'importazione del modello *merged* non pulito (quello più completo, citato in precedenza) in forma semi-trasparente da usare come riferimento per permettere all'operatore di ricalcare nello spazio 3D i rami originali. Il processo ha richiesto non più di 20 minuti per pollone, seguito dalla ramificazione in più fasi dei segmenti principali con appositi parametri di *twisting*, internodo, angolo di *welding*, e forze subite (come la gravità e il vento). Infine, la popolazione dei rami con fogliame verosimile ha richiesto l'utilizzo di *sample* da reali foglie di nocciolo, differenziate in circa 10 varietà e deformate secondo numerosi parametri e foglie per renderle completamente irregolari. Il modello finale (fig. 11) presenta circa 500.000 poligoni, foglie comprese, e *texture* 2048x2048 pixel per singolo ramo, rendendolo ideale per le simulazioni di realtà virtuale (fig.12) a cui la ricerca tende.

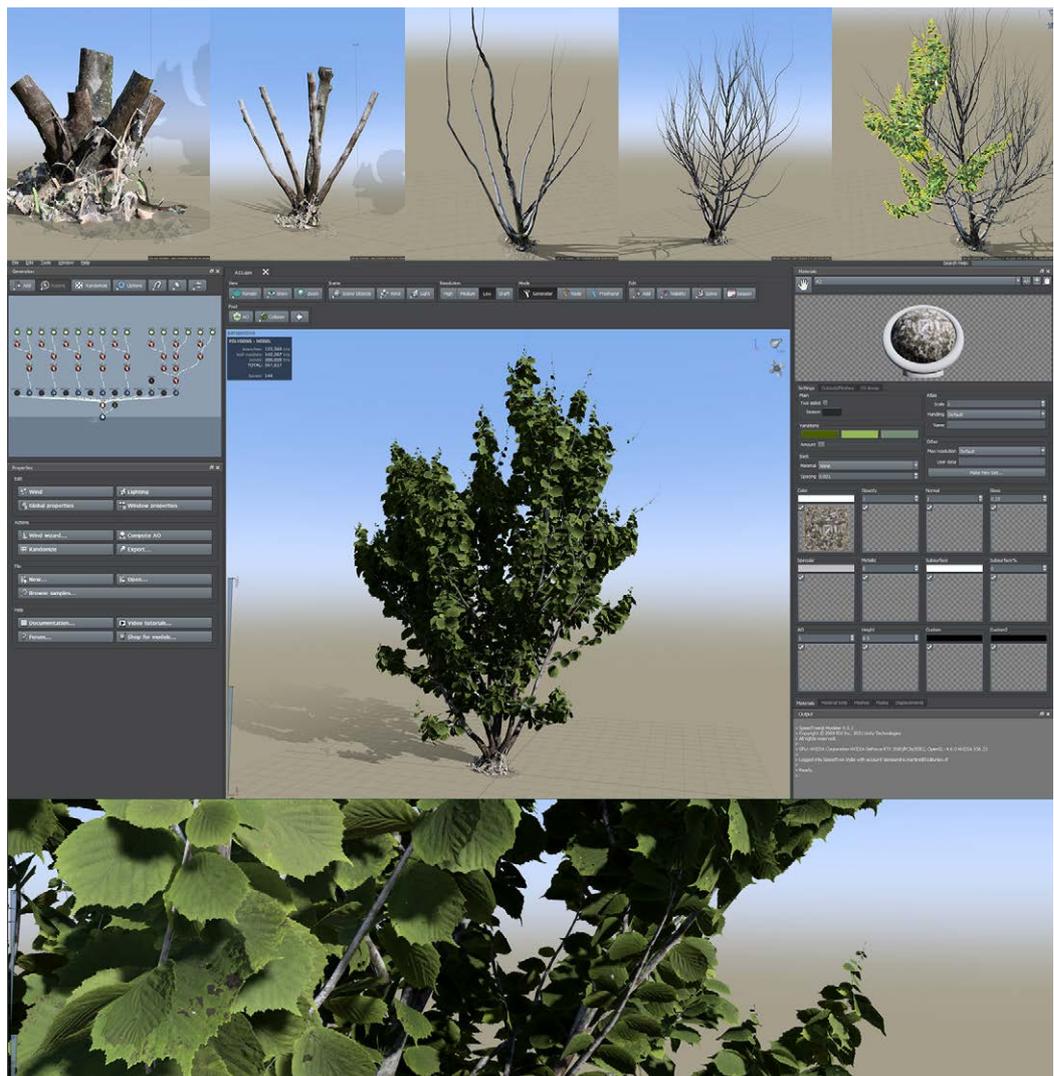


Fig. 11. Ramificazione dell'albero, posizionamento del fogliame, personalizzazione del fogliame, finalizzati al completamento del modello per l'inserimento su piattaforma. Elaborazioni degli autori.

## Conclusioni

La ricerca proposta pone in evidenza metodi e tecniche che si concentrano sull'acquisizione dei dati di elementi vegetali e sull'applicabilità di un *workflow* operativo per la rappresentazione degli stessi nel contesto digitale. Lo sviluppo di un database integrato, che si compone dei dati ottenuti attraverso l'utilizzo di diversi tipi di sensori, ha offerto la possibilità di ottenere una rappresentazione tridimensionale differenziata rispetto alle caratteristiche morfologiche dell'architettura arborea. Parallelamente, i modelli ottenuti dimostrano l'efficacia del *workflow* sperimentale intrapreso, permettendo una restituzione geometricamente fedele e, allo stesso tempo, parametricamente controllabile dell'albero digitale, che sarà impiegabile, a sua volta, nelle fasi successive e potenziali della ricerca. Il modello finale è stato trattato appositamente nel peso e nella qualità delle texture per prestarsi alla realizzazione di simulazioni virtuali, prevedendo un futuro sviluppo della ricerca nella produzione di realtà immersive a disposizione di professionisti nel settore botanico, che possano fruire di modelli realistici per allenare la propria pratica in sicurezza.



Fig. 12. Rappresentazione dell'immersione dell'utente con Meta Quest 2, all'interno del sistema simulativo con il nocciolo tramite Unreal Engine 5. Elaborazione degli autori.

## Note

[1] Questo articolo è realizzato nell'ambito del progetto *Nodes*, finanziato dal MUR sui fondi M4C2 - Investimento 1.5 Avviso "Ecosistemi dell'Innovazione", nell'ambito del PNRR finanziato dall'Unione europea - NextGenerationEU (Grant agreement Cod. n.ECS00000036). L'ecosistema *Nodes* - Nord Ovest Digitale e Sostenibile, offre opportunità di innovazione per il territorio attraverso bandi rivolti a enti ed imprese.

[2] *Demetra* - Sistema DEMo di simulazione e Training virtuale per l'operatore di Agroindustria primaria. Il progetto multidisciplinare, finanziato dall'Unione Europea all'interno dello Spoke 6 NODES, è coordinato dall'Università di Pavia e vede la direzione del DIII - Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione (Responsabile scientifico Prof. Marco Carnevale) e la collaborazione del Laboratorio DAda-LAB del DICAr - Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, per le fasi di acquisizione e modellazione (coordinamento Prof.ssa Francesca Picchio).

[3] Grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DIPRO.VE.S) dell'Università Cattolica di Piacenza, risultato vincitore della proposta "DIGINUT - Sviluppo di strumenti digital twin per il supporto decisionale nella filiera produttiva della nocciola" (responsabile scientifico Prof. Sergio Tombesi), complementare al progetto *Demetra*.

[4] I rilievi sono stati effettuati presso il nocciolo del Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DIPRO.VE.S) dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza.

[5] Le attività di sperimentazione riguardano due casi studio differenti: un nocciolo non innestato, caratterizzato da un

portamento cespuglioso a causa della formazione di numerosi polloni alla base del tronco, e un nocciolo innestato, distinto dalla presenza di un tronco principale e da un portamento più compatto.

[6] Le piante, esposte all'aperto e quindi all'azione del vento, sono risultate soggette a un continuo movimento dei rami e delle foglie, condizionando la campagna di acquisizione dei dati. In aggiunta, l'assenza di elementi fissi o punti di riferimento nell'area circostante ha complicato il processo di allineamento delle scansioni.

[7] Il rilievo tramite TLS è stato eseguito pianificando il posizionamento dello scanner attorno alle due alberature, per un totale di 22 scansioni su eseguite a due quote differenti. L'acquisizione *range-based* ha riguardato invece unicamente il tronco e la base dei polloni principali.

[8] Per lo stesso motivo, l'acquisizione fotogrammetrica SfM si è concentrata sulla base delle alberature, per un totale di 219 immagini. La distanza ridotta tra le alberature ha reso difficoltoso il passaggio degli strumenti tra le due chiome, complicando ulteriormente il processo di acquisizione.

[9] In particolare, la restituzione fotogrammetrica è stata eseguita su 6 dataset distinti di immagini, per osservarne i risultati parziali e l'effettivo miglioramento rispetto alla prima campagna.

[10] In particolare è stato utilizzato il tool "smart selection" del colore per individuare le zone con maggior rumore.

### Riferimenti Bibliografici

Argudo O., Chica A., Andujar C. (2016). Single-picture reconstruction and rendering of trees for plausible vegetation synthesis. In *Computers & Graphics* n. 57, pp. 55-67. <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2016.03.005>>

Bertocci S. et al. (2006). Rilievo e conservazione del verde: dal censimento alla gestione programmata del patrimonio arboreo ornamentale dei parchi storici; sperimentazione di un database gestionale per il parco di Villa al Ventaglio. In S. Bertocci, G. Pancani, P. Puma (a cura di). *Strategia per la conoscenza e il riuso sostenibile. Atti del convegno Residenze, ville e parchi storici. Strategie per la conoscenza e il riuso sostenibile*, pp. 227-230. Lastra Signa, 24-25 settembre 2004. Firenze: Edifir.

Cattaneo N. et al. (2007). Specifiche tecniche per il rilievo topografico delle aree verdi nell'ambito del GIS tematico del Comune di Milano. *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA, Atti del 11a Conferenza Nazionale ASITA Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, pp. 1-6. Torino, 6-9 novembre 2007.

De Carlo L., Paris L. (2003). Il rilievo del verde urbano. In C. Cundari, L. Carnevali (a cura di). *Il rilevamento urbano. Tipologia Procedure Informatizzazione*, pp. 27-35, Bologna: Kappa.

Eysn L. et al. (2013). A Practical Approach for Extracting Tree Models in Forest Environments Based on Equirectangular Projections of Terrestrial Laser Scans. In *Remote Sensing* n. 5(11), pp. 5424-5448. <<https://doi.org/10.3390/rs5115424>>

Grisafi F. et al. (2023). Architecture and yield relationship in hazelnut tree. In *Acta Horti* n. 1366, pp. 331-336. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1366.40>>

Jaeger M. et al. (2010). VR Web based tree and vegetation representations for environmental applications and studies, an example on ChongMing Island. In *LandMod 2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling*. Atti del convegno LandMod 2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling, pp. 17-22. Montpellier, 3-5 febbraio 2010, FR: Quae.

Kim J. (2016). Modeling and optimization of a tree based on virtual reality for immersive virtual landscape generation. In *Symmetry* n. 8(9): 93. <<https://doi.org/10.3390/sym8090093>>

Kurucu Y., Esetilili T., Erden H., Öztürk G., Güven A. İ., Çamaşcıoğlu E. (2015). Digitalization of olive trees by using remote sensing techniques. In *Atti del convegno 2015 Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics)*, pp. 121-124. Istanbul, 10 settembre 2015. <<https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2015.7248143>>

Liu Y. et al. (2021). TreePartNet: Neural Decomposition of Point Clouds for 3D Tree Reconstruction. In *ACM Transactions on Graphics*, 40(6). <<https://doi.org/10.1145/3478513.3480486>>

Marenchino D. et al. (2007). Tecniche di rilievo arboreo per la creazione di una base geometrica per il Sistema Informativo Spaziale del castello e del parco di Racconigi. In *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA, Atti del 11a Conferenza Nazionale ASITA Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, Torino, 6-9 novembre 2007.

Merlo A. et al. (2018). Il rilievo digitale dei giardini urbani in siti storici. Il Complesso del Convento dei Cappuccini nel Programma 'Pistoia Millefiori'. In F. Bianconi, M. Filippucci (a cura di). *Il prossimo progetto. Realtà, rappresentazione, progetto*, pp. 233-242. Roma: Gangemi.

Okura, F. (2022). 3D modeling and reconstruction of plants and trees: A cross-cutting review across computer graphics, vision, and plant phenotyping. In *Breeding Science* n. 72, pp. 31-47. <<https://doi.org/10.1270/jsbbs.21074>>

Portarena S. et al. (2023). Grafted hazelnut: a sustainable agricultural practice to face summer stressful conditions. In *Acta Horti* n. 1379, pp. 303-308. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1379.43>>

Parrinello S. (2012). Banche dati e sistemi integrati per la gestione del verde urbano. In R. Mingucci, C. Bartolomei, L. Bravo, S. Garagnani (a cura di). In *Atti del 3° conferenza internazionale DoCo 2012 - Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano*, pp. 273-278. Tomar, 25-27 ottobre 2012.

Parrinello S., Pasquini M. (2012). Rilievo Integrato per la documentazione dei parchi storici. In M. Zoppi (a cura di). *La Villa, il Giardino, il Paesaggio. Un parco per gli Archivi Europei a Villa Salviati*, pp. 195-202. Firenze: Alinea.

Passamani I. (2023). Rilievo e rappresentazione delle architetture vegetali. In I. Passamani (a cura di). *Rilevare e valorizzare la memoria. Analisi e proposte per il cimitero Vantiniano*, pp. 110-116, Brescia: Grafo.

- Sikora J., Turkiewicz J., Sound Absorption coefficients of granular materials. In *Mechanics and control* Vol. 29, n. 3, pp. 149–157.
- Verim Ö., Ozan S. E. N. (2023). Application of reverse engineering method on agricultural machinery parts. In *International Advanced Researches and Engineering Journal* n. 7(1), pp. 35-40. <<https://doi.org/10.35860/iarej.1188175>>
- Wang M. et al. (2022). Development of Digital Media Interactive Roaming System for Virtual Scenic Spots. In *Atti della 7th International Conference on Information Science, Computer Technology and Transportation (ISCTT 2022)*, pp. 1-5. Xishuangbanna, 27-29 maggio 2022.
- Wu X. et al. (2022). A survey of human-in-the-loop for machine learning. In *Future Generation Computer Systems* n. 135, pp. 364-381. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.00941>>
- Wenmaekers R., Hak C. (2015). A sound level distribution model for symphony orchestras: Possibilities and limitations. In *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain* Vol. 25, n. 3, pp. 219–231. <<https://doi.org/10.1037/pmu0000069>>

#### **Autori**

Francesca Picchio, Università di Pavia, francesca.picchio@unipv.it  
Alessandro Martinelli, Università di Pavia, alessandro.martinelli@unipv.it  
Silvia La Placa, Università di Pavia, silvia.laplaca@unipv.it  
Francesca Galasso, Università di Pavia, francesca.galasso@unipv.it  
Hangjun Fu, Università di Pavia, hangjun.fu@unipv.it  
Marco Carnevale, Università di Pavia, marco.carnevale@unipv.it

*Per citare questo capitolo:* Picchio Francesca, Martinelli Alessandro, La Placa Silvia, Galasso Francesca, Fu Hangjun, Carnevale Marco (2024). Misurare e rappresentare il "verde": dal rilievo digitale alle piattaforme di training virtuale/Measuring and representing "green" elements: from digital surveying to virtual training platforms. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli*, pp. 561-582.

# Measuring and representing “green” elements: from digital surveying to virtual training platforms

Francesca Picchio  
Alessandro Martinelli  
Silvia La Placa  
Francesca Galasso  
Hangjun Fu  
Marco Carnevale

## Abstract

The paper deals with the topic of surveying greenery, the complexity of its acquisition and representation, as well as the current challenges related to the construction of detailed digital duplicates of the individual plant, geometrically reliable and usable within immersive platforms. Artificial Intelligence algorithms come to the aid of simplifying the process of 3D reconstruction of greenery, but without being able to restore the integrity of the distinctive features of the species, making the critical interpretation of the drawer still necessary. The text describes the experiments conducted within the multidisciplinary research project *Demetra*, for the evaluation of the reliability of semi-automatic algorithms in the production of reality-based geometric models of a hazel tree plant and the subsequent development a training platform in a virtual environment for agricultural operators, with a focus on tree pruning. The research intends to test an operational method for 3D representation of plant elements in the digital context, using data integrated from different tools and according to a parametric logic of Digital Twins, such that it can be used for future developments in agriculture and in virtual training of professionals in the field.

## Keywords

green survey, reverse modeling, virtual training, digital twin, virtual scenarios



Detail of the semi-automatic reconstruction process of parametric branches. Authors' elaboration.

## Introduction

If measuring means attributing a numerical identity to what surrounds us, when the metric survey is aimed at elements characterized by their own uniqueness and singularity of shape and components such as trees, the operation of graphic-numerical coding of geometries becomes complex, and increasingly bound to a graphically prefigured three-dimensional conclusion [Parrinello et al. 2012].

The survey of vegetation, understood as a tool aimed both at the urban management of public green areas and at the improvement of primary agricultural production technologies, has been addressed, for many years, by means of topographic surveys, driven by the objective almost exclusive of a precise knowledge of the planimetric positioning of the individual plant units [Merenchino et al. 2007; Cattaneo et al. 2005]. This type of *in situ* documentation then corresponds, at a cartographic level, to a simplified representation of the trunk, created through specific graphic codes designed to describe the approximate size of the tree [Passamani 2023]. To this extreme discretization, the exponential development and use of digital technologies, such as applications of scanning instruments and photogrammetric instruments for landscape surveying, has contrasted a proliferation of numerical information [Merlo et al. 2018]. If architecture is “easily” understandable in its constituent forms, so much so that the 3D database that describes it can be organized and qualified as a whole in descriptive 3D drawings and documents [De Carlo et al. 2003], greenery does not seem to know adequate means that can translate it into a primary representation of a morphological context [Parrinello 2012].

Given the recent and interesting developments on the topic [Wang et al. 2022], it is imagined that AI can resolve these issues in a short time. For this reason, as part of a multi-disciplinary *Nodes* project [1] for technological innovation in the agro-industry sector, an experiment was started aimed at validating the reliability of some semi-automatic modeling algorithms on the production of a geometric model accurate data of a plant, specifically a hazelnut tree, detected with integrated acquisition methodologies.

## Demetra Project

In the primary industry sector, training activities in VR environment are still limitedly investigated and present results that are not entirely effective in terms of user-scenario interaction



Fig. 1. Phases of the first acquisition campaign with range-based and image-based instrumentation. Pictures by the authors.

[Jaeger et al. 2010]. Although some experiments have been promoted in this sense for the approximate modeling of types of trees and shrubs [Kim 2016], the proposed solutions they do not yet guarantee the perception of full immersion within the virtual scenario.

With the aim of responding to this need, the *Demetra* research project [2], launched by the University of Pavia in November 2023, intends to develop a Proof Of Concept (POC) of a training platform in a virtual environment for the agricultural operator; as as close to reality as possible. In particular, the research, within the field of representation, concerns: the analysis of the morphological complexities of the hazelnut plant, made possible by the collaboration between researchers and agronomists [3]; the structuring of an integrated lidar and photogrammetric survey methodology, aimed at building a highly detailed morphometric database; and the definition of a three-dimensional representative system trunk-branches-leaves consistent with the object investigated and at the same time discretized. This condition is necessary to facilitate the insertion of the digital duplicate within the virtual platform and guarantee a fluid human-scenario interaction [Wu et al. 2022].

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6
<b>Photos</b>	491	346	290	259	277	502
<b>Aligned</b>	389	182	289	259	261	500
<b>Sparse Cloud</b>	200.000 pt	200.000 pt	90.000 pt	80.000 pt	70.000 pt	150.000 pt
<b>Dense Cloud</b>	36 Mln pt	36 Mln pt	31 Mln pt	28 Mln pt	31 Mln pt	66 Mln pt
<b>Mesh Model</b>	5 Mln poly	6 Mln poly	5 Mln poly	5 Mln poly	5 Mln poly	10 Mln poly
<b>Textured</b>	Partial	Partial	Complete	Complete	Complete	Complete

Fig. 2. Summary table of the data processed by photogrammetric process. Elaboration by the authors.

### Integration of lidar and photogrammetric techniques for the survey of the hazelnut plant

Having identified the hazelnut grove on the campus of the Catholic University of Sacro Cuore of Piacenza [4], a methodology for digitalizing greenery was developed [5], aimed at obtaining a reliable and highly descriptive database of its geometric complexity.

The irregular shape of the arboreal architecture led to the exclusion from the beginning of an acquisition method based on a single sensor, favoring multi-resolution documentation suitable for describing the heterogeneous morphology of the vegetation [Verim et al. 2023]. In particular, the survey was conducted by immediately identifying various environmental risk factors [6], which were resolved by applying diversified methodologies and integrating range-based [7] and image-based [8] acquisitions (fig. 1). In order to guarantee maximum data integration in the post-production phase, control points have been set up around the survey area, both on vertical and horizontal planes.

The first results of the processing (fig. 2) provided an exemplary database of the plant system, characterized by high metric accuracy, but also by an approximate morphological digital representation. The cause of this finding lies on the one hand, in an excess of digital data acquired which generated excessive noise around the canopy, and on the other, in a generalized discontinuity of the cloud, due to the shadow areas produced by the foliage.

With the aim of reducing errors in the digital duplicate to a minimum, to resolve the difficulties encountered, a further acquisition campaign was conducted on completely bare trees [9] (fig. 3).

Fig. 3. Images from the second acquisition campaign of the two trees without their foliage. Pictures by the authors.



To maximize the yield of the final representation, each photogrammetric dataset was subjected to some automatic and manual cleaning processes [10], trying not to affect the three-dimensional data useful for the subsequent reconstruction phase. All datasets (lidar and photogrammetric) were finally aligned with each other based on homologous control points, using the Leica Cyclone software. (figs. 4, 5).

Differently from the first results, the three-dimensional database produced at the end of the new processing appears to have improved both in metric accuracy and in the morphological definition of the geometries. (figs. 6, 7, 8, 9).

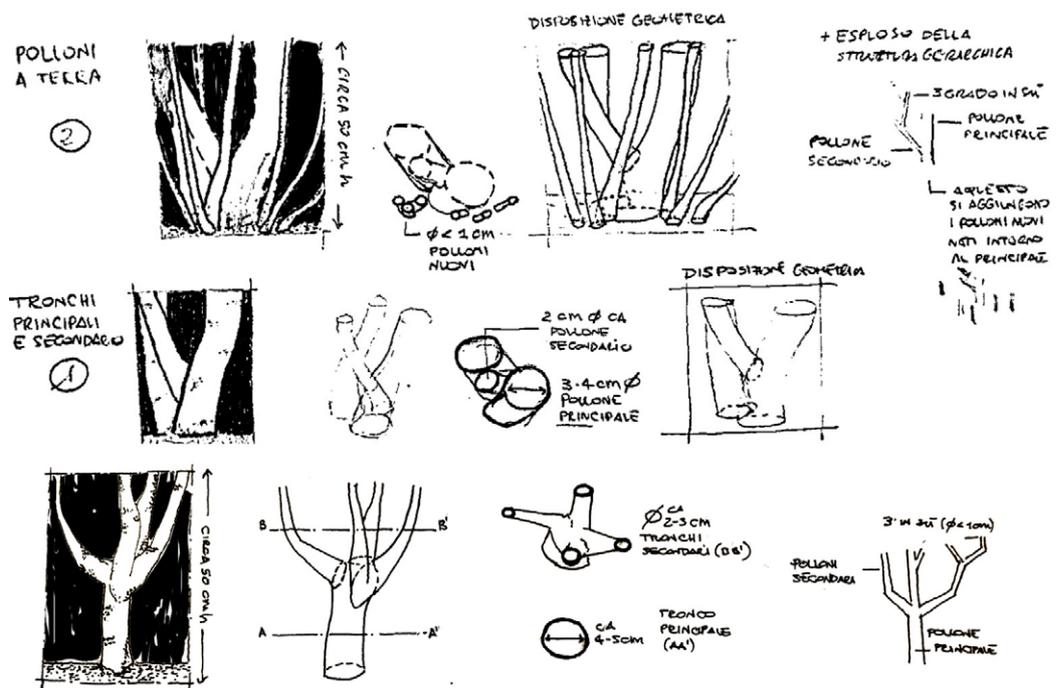


Fig. 4. Critical interpretation of the geometry and hierarchical structure of the tree branching, preparatory to the discretization of the point cloud and the reality-based modeling process. Elaborations by the authors.

### Generative modeling experiments

The construction phase of the 3D model required an analysis of the literature [Okura 2022; Liu et al. 2021; Argudo et al. 2016] to achieve precise geometric and dimensional

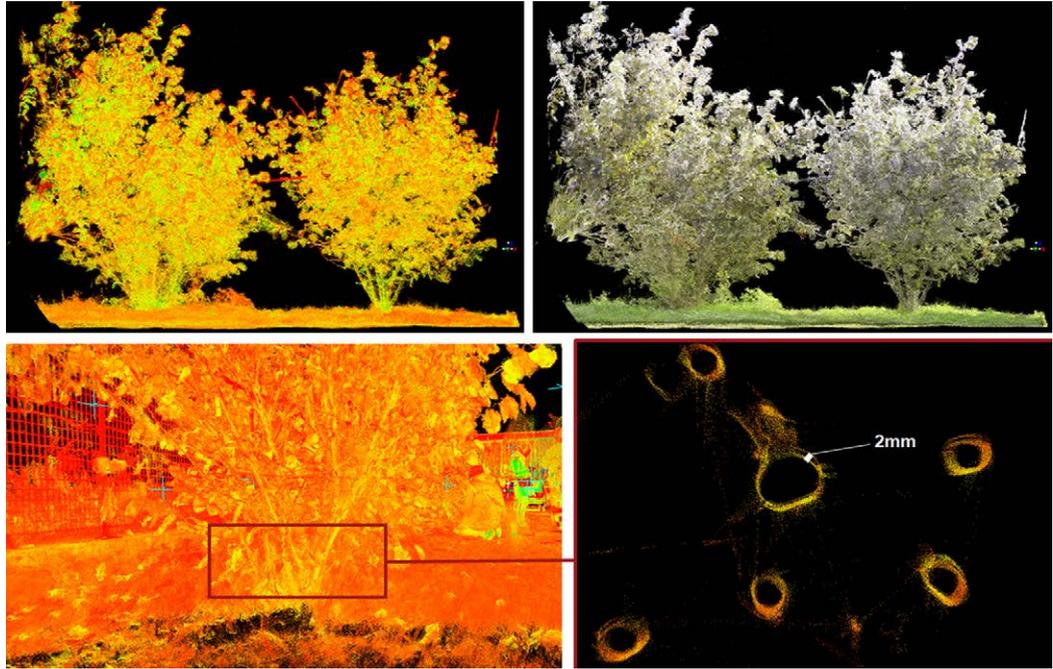


Fig. 5. Visualization of the Intensity map and RGB point clouds of the two plants analyzed. Below, the detail of a section of the main sucker with the error recorded. Elaborations by the authors.

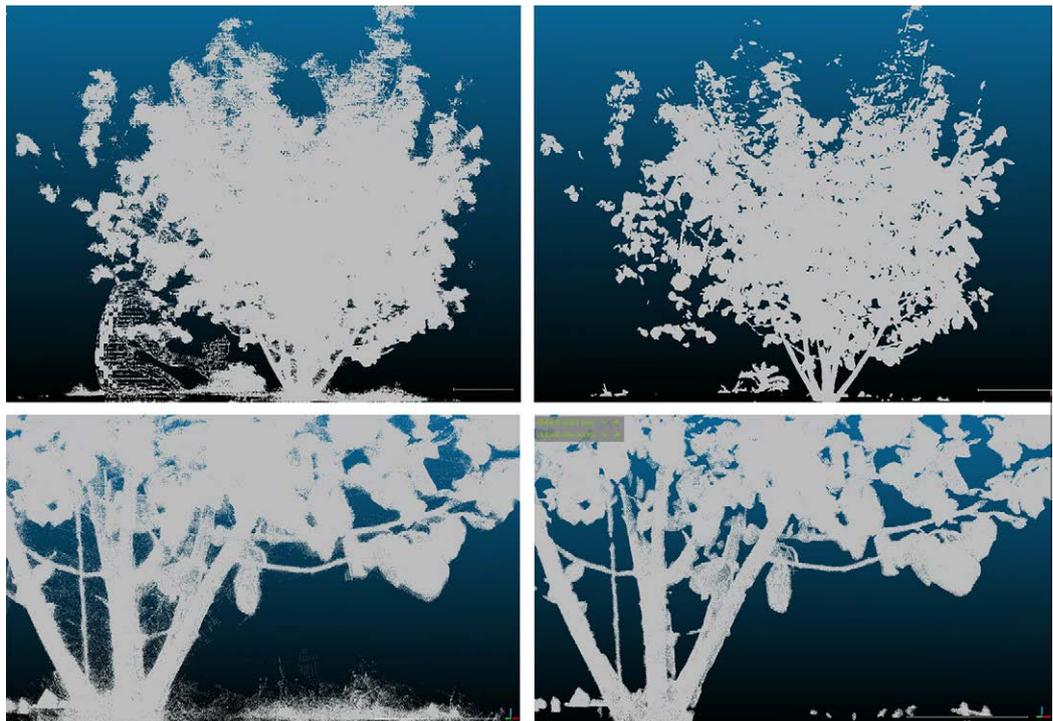


Fig. 6. Visualization of the 3D database from Lidar acquisition obtained on the non-grafted plant. On the left the tree point cloud from raw scans; on the right the point cloud filtered for noise optimization. Elaborations by the authors.

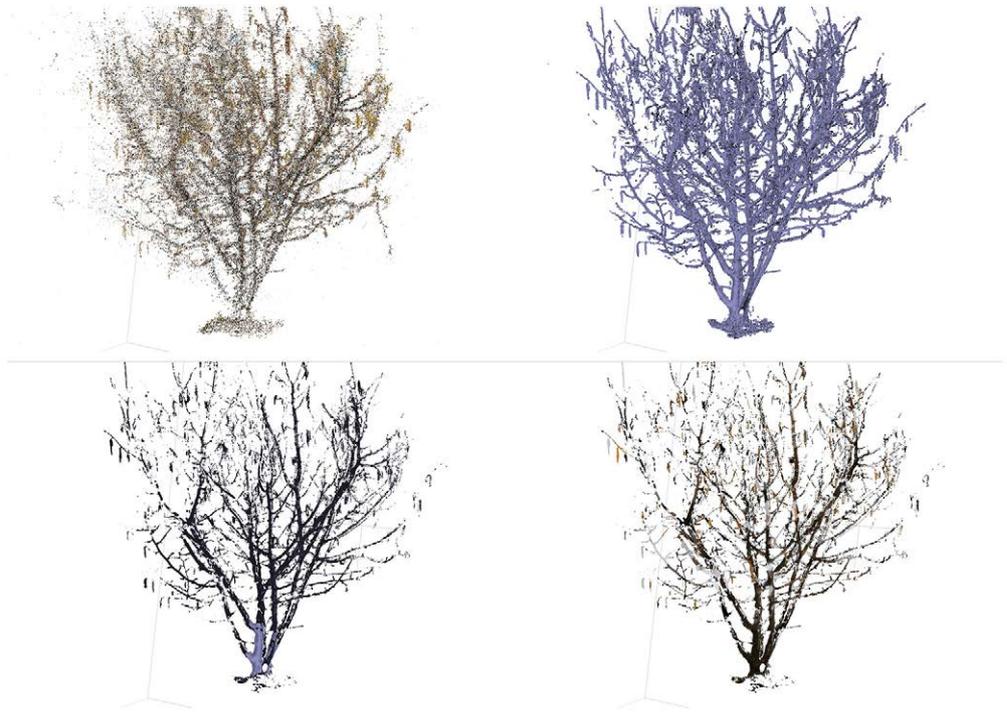


Fig. 7. Photogrammetric model reconstruction phases for a single set of photos. Sparse cloud, dense cloud, mesh model, textured model. Elaborations by the authors.

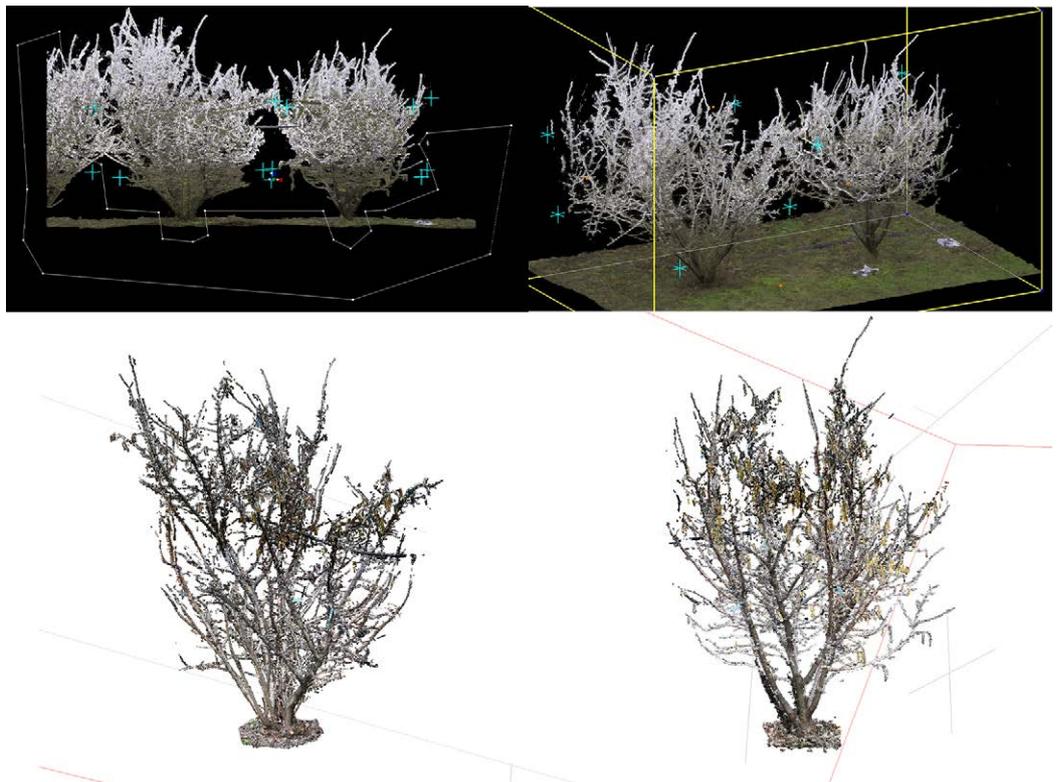


Fig. 8. Point cloud obtained from the Laser Scanner survey and merged with the clouds from the camera survey. The weight of the files is 3.1Gb and 1.1Gb respectively. Elaborations by the authors.

Fig. 9. Evaluation of the reliability of the acquired database, through the comparison between the point cloud obtained from Lidar scans and that from SfM photogrammetry. Elaborations by the authors.

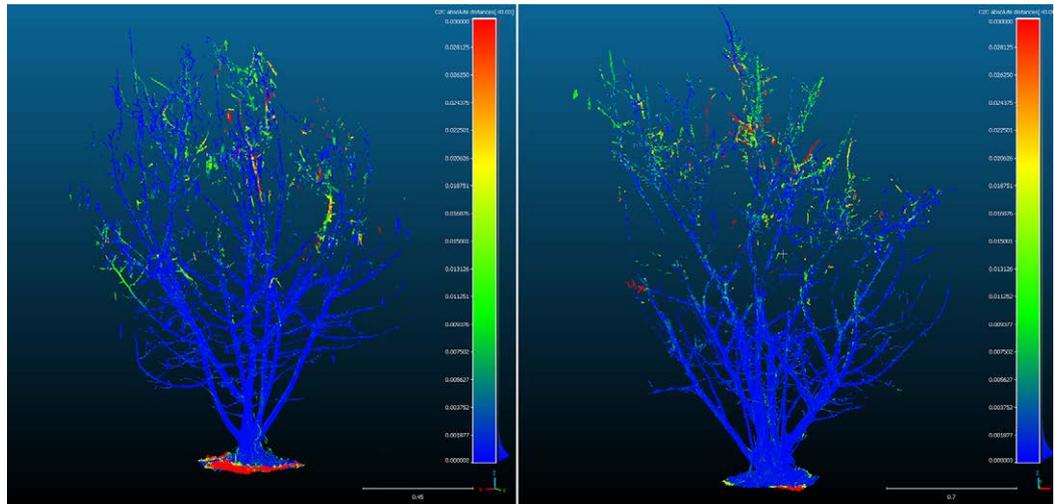


Fig. 10. Sequence of reconstruction of the branches on Speedtree software, in its various phases: import, assisted reading of the branches to extract the texture, recognition of the sections from which to generate the new branches, clearance (cleaning of the edges of the mesh), extension of the branches, shaping (torsion and orientation of the branches). Below, the alignment of the parametric branches with the original positions, through the import of a ghosted reference model. Elaborations by the authors.



characteristics. In particular, semi-automatic (reverse modeling and mesh from 3D scanner), manual (low poly mesh based on point cloud) and self-generative (semi-automatic, AI, deep learning) geometric modeling options were examined and compared. Following different tests, the option of semi-automatic transformation of the mesh model from photogrammetry into a generative model using SpeedTree software was chosen. A complex series of processes (fig. 10) made it possible to reproduce a digital twin of the original tree in parametric form, therefore controllable in all its aspects: length and number

of branches, radius of the sections of the different shoots, distance between the nodes, number of leaves, orientation of the plant and its components, forces experienced, twisting, texture blending, and hundreds more, allowing an absolutely faithful but always modifiable reproduction, unlike the static model.

To ensure maximum adherence between the model and the point cloud, a shape refinement technique was then studied, i.e. the import of the uncleaned merged model (the most complete one, mentioned previously) in semi-transparent form to be used as a reference to allow the operator to trace the original branches in 3D space.

The process took no more than 20 minutes per sucker, followed by multi-step branching of the main segments with appropriate parameters of twisting, internode, welding angle, and forces experienced (such as gravity and wind). Finally, the population of branches with realistic foliage required the use of samples from real hazelnut leaves, differentiated into approximately 10 varieties and deformed according to numerous parameters and leaves to make them completely irregular.

The final model (fig. 11) has approximately 500,000 polygons, including leaves, and 2048x2048 pixel textures for each branch, making it ideal for the virtual reality simulations (fig. 12) towards which the research tends.

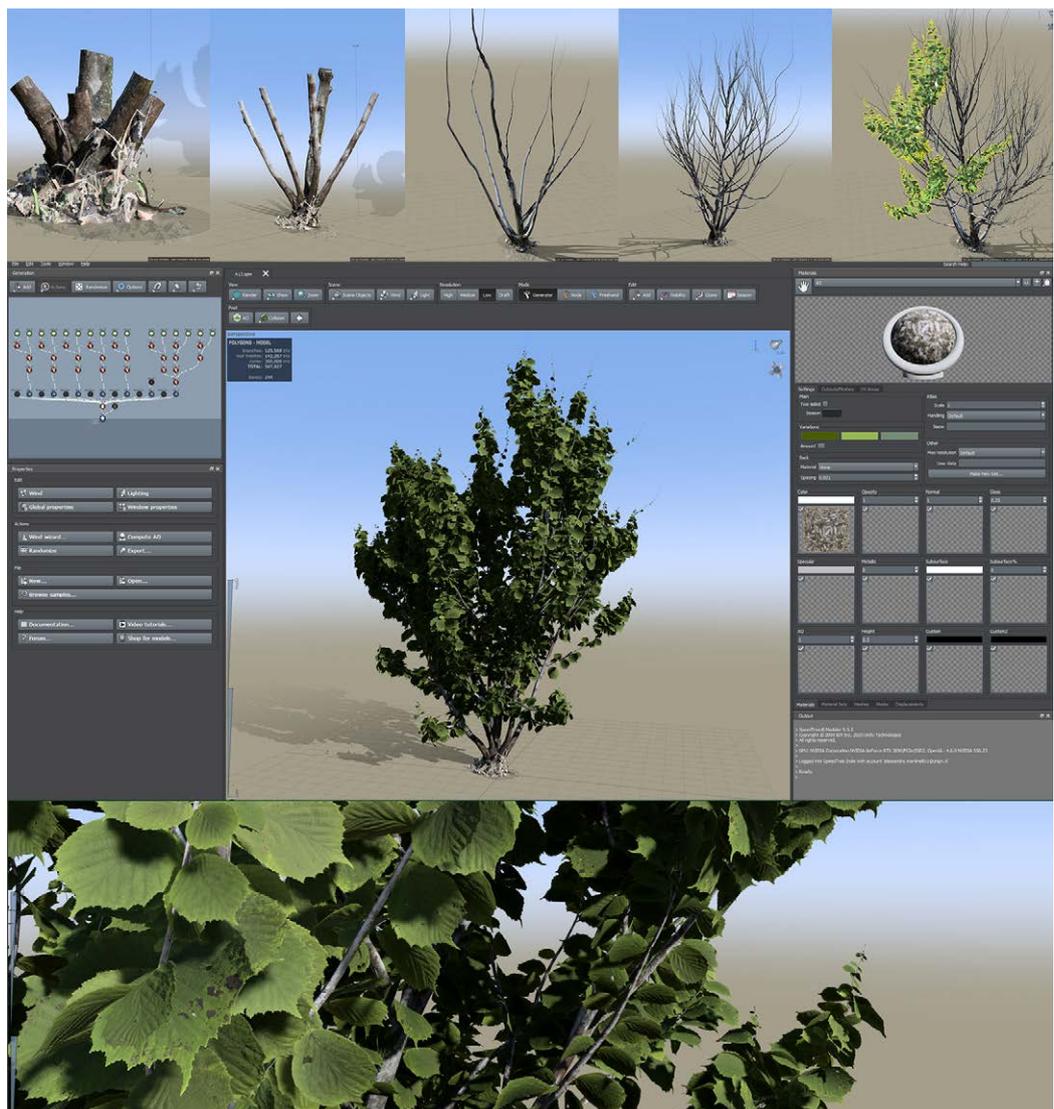


Fig. 11. Branching of the tree, positioning of the foliage, customization of the foliage, aimed at completing the model for insertion on the platform. Elaborations by the authors.

## Conclusioni

The proposed research highlights methods and techniques that focus on the data acquisition of plant elements and the applicability of an operational workflow for their representation in the digital context. The development of an integrated database, which is made up of data obtained through the use of different types of sensors, has offered the possibility of obtaining a differentiated three-dimensional representation with respect to the morphological characteristics of the arboreal architecture. At the same time, the models obtained demonstrate the effectiveness of the experimental workflow undertaken, allowing a geometrically faithful and, at the same time, parametrically controllable restitution of the digital tree, which will in turn be usable in the subsequent and potential phases of the research. The final model was specifically treated in terms of weight and texture quality to lend itself to the creation of virtual simulations, foreseeing a future development of research in the production of immersive realities available to professionals in the botanical sector; who can benefit from realistic models to train their own practice safely.



Fig. 12. Representation of the user's immersion with Meta Quest 2, within the simulation system with the core using Unreal Engine 5. Elaboration by the authors.

## Notes

[1] This article is produced as part of the *Nodes* project, financed by the MUR on M4C2 funds - Investment 1.5 Notice "Ecosystems of Innovation", within the framework of the EU-funded PNRR - NextGenerationEU (Grant agreement Cod. n.ECS000036). The *Nodes* ecosystem - Digital and Sustainable North West - offers innovation opportunities for the territory through calls for proposals addressed to organisations and enterprises.

[2] *Demetra* - DEMo simulation system and viRual Training for the Primary AgroIndustry Operator The multi-disciplinary project, financed by the European Union within Spoke 6 NODES, is coordinated by the University of Pavia and has the direction of DIII - Department of Industrial and Information Engineering (Scientific Responsible Prof. Marco Carnevale) and the collaboration of the DAda-LAB Laboratory of DICAr - Department of Civil Engineering and Architecture, for the acquisition and modelling phases (coordination Prof. Francesca Picchio).

[3] Thanks to the collaboration with the Department of Produzioni Vegetali Sostenibili (DIPRO.VES) of the Università Cattolica Sacro Cuore di Piacenza, which was the winner of the proposal 'DIGINUT - Development of digital twin tools for decision support in the hazelnut production chain' (scientific responsible Prof. Sergio Tombesi), complementary to the *Demetra* project.

[4] The surveys were carried out at the hazelnut grove of the Department of Produzioni Vegetali Sostenibili (DIPRO.VES) of the Università Cattolica del Sacro Cuore in Piacenza.

[5] The experimental activities concern two different case studies: a non-grafted hazel, characterised by a bushy habit due to the formation of numerous suckers at the base of the trunk, and a grafted hazel, distinguished by the presence of a main trunk and a more compact habit.

[6] The plants, exposed to the open air and therefore to the action of the wind, were subject to continuous movement of branches and leaves, conditioning the data acquisition campaign. In addition, the absence of fixed elements or reference points in the surrounding area complicated the process of aligning the scans.

[7] The TLS survey was carried out by planning the positioning of the scanner around the two trees, for a total of 22 scans at two different heights. The range-based acquisition only covered the trunk and the base of the main logs.

[8] For the same reason, the SfM photogrammetric acquisition focused on the base of the trees, for a total of 219 images. The small distance between the trees made it difficult to pass the instruments between the two crowns, further complicating the acquisition process.

[9] In particular, the photogrammetric restitution was carried out on 6 separate datasets of images, in order to observe the partial results and the actual improvement compared to the first campaign.

[10] In particular, the colour 'smart selection' tool was used to identify the areas with the most noise.

## References

Argudo O., Chica A., Andujar C. (2016). Single-picture reconstruction and rendering of trees for plausible vegetation synthesis. In *Computers & Graphics* n. 57, pp. 55-67. <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2016.03.005>>

Bertocci S. et al. (2006). Rilievo e conservazione del verde: dal censimento alla gestione programmata del patrimonio arboreo ornamentale dei parchi storici; sperimentazione di un database gestionale per il parco di Villa al Ventaglio. In S. Bertocci, G. Pancani, P. Puma (a cura di). *Strategia per la conoscenza e il riuso sostenibile. Atti del convegno Residenze, ville e parchi storici. Strategie per la conoscenza e il riuso sostenibile*, pp. 227-230. Lastra Signa, 24-25 settembre 2004. Firenze: Edifir.

Cattaneo N. et al. (2007). Specifiche tecniche per il rilievo topografico delle aree verdi nell'ambito del GIS tematico del Comune di Milano. *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA, Atti del 11a Conferenza Nazionale ASITA Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, pp. 1-6. Torino, 6-9 novembre 2007.

De Carlo L., Paris L. (2003). Il rilievo del verde urbano. In C. Cundari, L. Carnevali (a cura di). *Il rilevamento urbano. Tipologia Procedure Informatizzazione*, pp. 27-35, Bologna: Kappa.

Eysn L. et al. (2013). A Practical Approach for Extracting Tree Models in Forest Environments Based on Equirectangular Projections of Terrestrial Laser Scans. In *Remote Sensing* n. 5(11), pp. 5424-5448. <<https://doi.org/10.3390/rs5115424>>

Grisafi F. et al. (2023). Architecture and yield relationship in hazelnut tree. In *Acta Horti* n. 1366, pp. 331-336. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1366.40>>

Jaeger M. et al. (2010). VR Web based tree and vegetation representations for environmental applications and studies, an example on ChongMing Island. In *LandMod 2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling*. Atti del convegno LandMod 2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling, pp. 17-22. Montpellier, 3-5 febbraio 2010, FR: Quae.

Kim J. (2016). Modeling and optimization of a tree based on virtual reality for immersive virtual landscape generation. In *Symmetry* n. 8(9): 93. <<https://doi.org/10.3390/sym8090093>>

Kurucu Y., Esetili T., Erden H., Öztürk G., Güven A. İ., Çamaşcıoğlu E. (2015). Digitalization of olive trees by using remote sensing techniques. In *Atti del convegno 2015 Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics)*, pp. 121-124. Istanbul, 10 settembre 2015. <<https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2015.7248143>>

Liu Y. et al. (2021). TreePartNet: Neural Decomposition of Point Clouds for 3D Tree Reconstruction. In *ACM Transactions on Graphics*, 40(6). <<https://doi.org/10.1145/3478513.3480486>>

Marenchino D. et al. (2007). Tecniche di rilievo arboreo per la creazione di una base geometrica per il Sistema Informativo Spaziale del castello e del parco di Racconigi. In *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA, Atti del 11a Conferenza Nazionale ASITA Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, Torino, 6-9 novembre 2007.

Merlo A. et al. (2018). Il rilievo digitale dei giardini urbani in siti storici. Il Complesso del Convento dei Cappuccini nel Programma 'Pistoia Millefiori'. In F. Bianconi, M. Filippucci (a cura di). *Il prossimo progetto. Realtà, rappresentazione, progetto*, pp. 233-242. Roma: Gangemi.

Okura, F. (2022). 3D modeling and reconstruction of plants and trees: A cross-cutting review across computer graphics, vision, and plant phenotyping. In *Breeding Science* n. 72, pp. 31-47. <<https://doi.org/10.1270/jsbbs.21074>>

Portarena S. et al. (2023). Grafted hazelnut: a sustainable agricultural practice to face summer stressful conditions. In *Acta Horti* n. 1379, pp. 303-308. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1379.43>>

Parrinello S. (2012). Banche dati e sistemi integrati per la gestione del verde urbano. In R. Mingucci, C. Bartolomei, L. Bravo, S. Garagnani (a cura di). In *Atti del 3° conferenza internazionale DoCo 2012 - Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano*, pp. 273-278. Tomar, 25-27 ottobre 2012.

Parrinello S., Pasquini M. (2012). Rilievo Integrato per la documentazione dei parchi storici. In M. Zoppi (a cura di). *La Villa, il Giardino, il Paesaggio. Un parco per gli Archivi Europei a Villa Salviati*, pp. 195-202. Firenze: Alinea.

Passamani I. (2023). Rilievo e rappresentazione delle architetture vegetali. In I. Passamani (a cura di). *Rilevare e valorizzare la memoria. Analisi e proposte per il cimitero Vantiniano*, pp. 110-116, Brescia: Grafo.

Sikora J., Turkiewicz J., Sound Absorption coefficients of granular materials. In *Mechanics and control* Vol. 29, n. 3, pp. 149-157.

Verim Ö., Ozan S. E. N. (2023). Application of reverse engineering method on agricultural machinery parts. In *International Advanced Researches and Engineering Journal* n. 7(1), pp. 35-40. <<https://doi.org/10.35860/iarej.1188175>>

Wang M. et al. (2022). Development of Digital Media Interactive Roaming System for Virtual Scenic Spots. In *Atti della 7th International Conference on Information Science, Computer Technology and Transportation (ISCTT 2022)*, pp. 1-5. Xishuangbanna, 27-29 maggio 2022.

Wu X. et al. (2022). A survey of human-in-the-loop for machine learning. In *Future Generation Computer Systems* n. 135, pp. 364-381. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.00941>>

Wenmaekers R., Hak C. (2015). A sound level distribution model for symphony orchestras: Possibilities and limitations. In *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain* Vol. 25, n. 3, pp. 219–231. <<https://doi.org/10.1037/pmu0000069>>

#### Authors

Francesca Picchio, Università di Pavia, francesca.picchio@unipv.it

Alessandro Martinelli, Università di Pavia, alessandro.martinelli@unipv.it

Silvia La Placa, Università di Pavia, silvia.laplaca@unipv.it

Francesca Galasso, Università di Pavia, francesca.galasso@unipv.it

Hangjun Fu, Università di Pavia, hangjun.fu@unipv.it

Marco Carnevale, Università di Pavia, marco.carnevale@unipv.it

To cite this chapter Picchio Francesca, Martinelli Alessandro, La Placa Silvia, Galasso Francesca, Fu Hangjun, Carnevale Marco (2024). Misurare e rappresentare il "verde": dal rilievo digitale alle piattaforme di training virtuale/Measuring and representing "green" elements: from digital surveying to virtual training platforms. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli*, pp. 561-582.