

Misura e modellazione parametrica per la gestione BIM-oriented del Patrimonio Arboreo

Andrea Lumini

Abstract

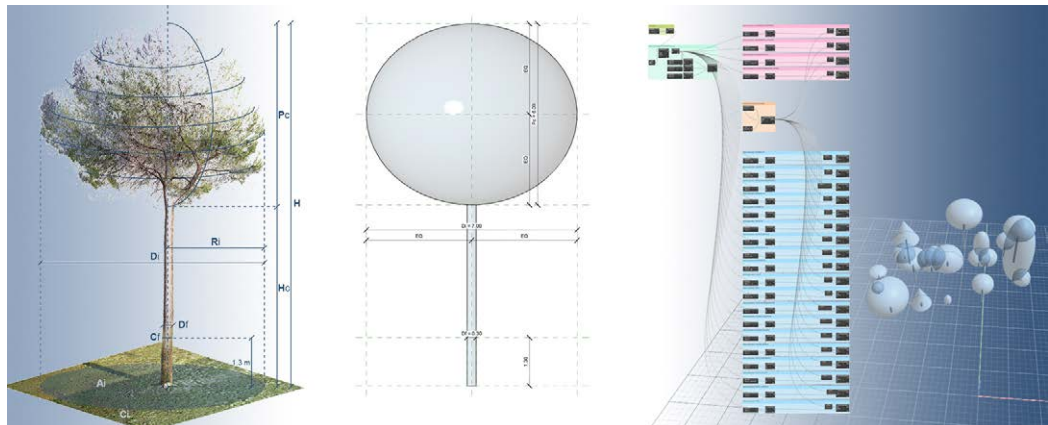
Il paper intende proporre un approccio innovativo alla modellazione e gestione del Patrimonio Arboreo attraverso l'utilizzo del BIM e del *visual-scripting*. Queste tematiche, che rientrano nell'aperto dibattito del *Landscape Information Modeling* (LIM), vengono esplorate focalizzandosi sul caso studio dell'Arboreto Sperimentale di Firenze, un'ampia area verde ospitata all'interno del complesso architettonico della Scuola di Guerra Aerea e caratterizzata da una ricca collezione arborea.

Partendo da dati metrici e informativi di essenze vegetali esistenti, ottenuti mediante rilievi laser-scanner e attività di schedatura del verde, vengono proposte due procedure sperimentali finalizzate ad integrare, rappresentare e implementare i risultati delle acquisizioni all'interno di un ambiente BIM. La prima riguarda lo sviluppo di prototipi parametrici BIM di individui arborei basati sulla rappresentazione stereometrica, mentre la seconda si concentra sulla programmazione di automatismi tramite *visual-scripting* per l'implementazione e l'arricchimento informativo dei modelli.

Queste sperimentazioni hanno permesso di definire un *workflow* metodologico rapido, interoperabile e implementabile nel tempo e parametricamente adeguato a molteplici finalità. In tal senso, gli approcci BIM applicati in questo studio, basati su fedeli *digital-twin* di essenze vegetali, rappresentano un'opportunità per la gestione informativa del Patrimonio Arboreo finalizzata alla sua documentazione e salvaguardia.

Parole chiave

Scan-to-BIM, landscape information modeling, visual-scripting, sistemi informativi, digital-twin



Approcci BIM e *visual-scripting* per la gestione informativa del patrimonio arboreo. Elaborazione dell'autore.

Introduzione

Il paper intende presentare alcune sperimentazioni condotte all'interno di un segmento di ricerca non ancora opportunamente discusso nel dibattito accademico: il BIM applicato al Patrimonio Arboreo. In particolare, partendo da dati metrici e informativi di essenze vegetali esistenti, ottenuti mediante rilievi laser-scanner e attività di schedatura del verde, vengono proposte due procedure sperimentali finalizzate ad integrare, rappresentare e implementare i risultati delle acquisizioni all'interno di un ambiente BIM. La prima finalizzata allo sviluppo di prototipi BIM di unità vegetali sintetizzati morfologicamente secondo le varie tipologie stereometriche, e definiti mediante specifici parametri geometrico-dendrologici. La seconda basata su una programmazione di automatismi tramite *visual-scripting* finalizzati all'implementazione e al *data enrichment* dei prototipi arborei in un ambiente BIM, secondo i dati spaziali e dimensionali acquisiti in fase di rilievo e quelli tassonomico-dendrologici identificati nella schedatura (fig. 1).

Lo scopo dello studio su queste tematiche – che rientrano all'interno del più generale ambito di ricerca del cosiddetto *Landscape Information Modeling* (LIM) [Ahmada, Aliyua 2012; Emara 2021] e del più particolare *Tree Information Modeling* (TIM) [Shu et al. 2022] – è quello di testare metodologie e procedure basate su un approccio automatizzato di modellazione parametrica informativa per supportare la transizione digitale di tutte quelle attività di documentazione, censimento e rilievo dendrologico di contesti vegetali.

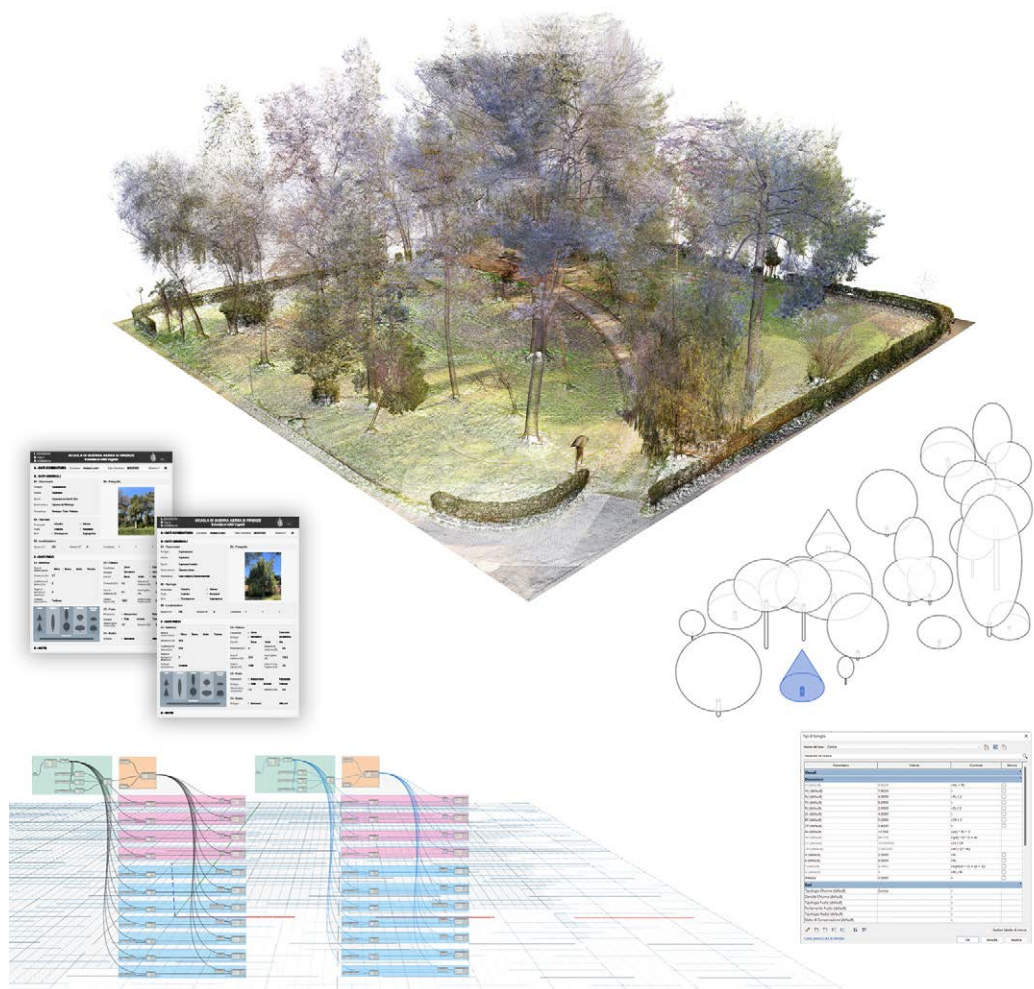


Fig. 1. Sintesi del workflow metodologico. Elaborazione dell'autore.

Le sperimentazioni illustrate rientrano all'interno di un ampio progetto di documentazione digitale del complesso architettonico della Scuola di Guerra Aerea di Firenze - oggi Istituto di Scienze Militari Aeronautiche (ISMA) - portato avanti dal 2017 dal laboratorio LRA del Dipartimento di Architettura di Firenze in collaborazione con l'amministrazione dell'Istituto [Lumini 2023]. Specificatamente, il presente contributo si focalizza sulla sfera ambientale del complesso, ed in particolare sull'area verde ospitata dall'Arboreto Sperimentale di Selvicoltura, per il quale sono state condotte consistenti campagne *ad hoc* di rilievo digitale e censimento degli individui arborei.

Il caso studio: l'Arboreto Sperimentale della Scuola di Guerra Aerea di Firenze

Nell'impostare il proprio progetto all'interno dell'area che dal 1938 avrebbe ospitato la Scuola di Guerra Aerea di Firenze, l'architetto Raffaello Fagnoni si trovò a procedere non solo secondo specifiche indicazioni urbanistico-progettuali definite preliminarmente dai tecnici del Ministero dell'Aeronautica, ma anche – e soprattutto – nel rispetto e nel mantenimento di un'ampia area verde preesistente e inglobata nel lotto di progetto [Fagnoni 1938; Podestà 2006].

Questa superficie di circa due ettari e mezzo, collocata in posizione centrale, e intorno alla quale Fagnoni articolò abilmente l'impianto distributivo dei fabbricati, ospitava il cosiddetto Arboreto Sperimentale della Stazione di Selvicoltura. Realizzato nel 1914 dalla cattedra di Selvicoltura del limitrofo Regio Istituto Superiore Agrario e Forestale, a quei tempi tenuta dal Prof. Alberto Cotta, aveva lo scopo di sperimentare e verificare la possibilità di acclimatazione di numerose specie esotiche provenienti da diverse latitudini [Puecher, Minucci 1935] (fig. 2).

Questa ingente collezione di essenze presente all'interno dell'Arboreto, con numerosi e rari taxa resistenti fino ad oggi, ha stimolato le ricerche di documentazione e digitalizzazione condotte inizialmente sul solo complesso architettonico a soffermarsi anche sul suo Patrimonio Arboreo, portando avanti processi di raccolta dati metrici e censimento delle unità vegetali, ma anche cercando di elaborare una metodologia per la loro rappresentazione tridimensionale e gestione informativa.



Fig. 2. L'arboreto sperimentale della Stazione di Selvicoltura di Firenze. Elaborazione dell'autore.

Rilievo digitale, schedatura e analisi dendrologica delle essenze vegetali

La definizione di un aggiornato quadro conoscitivo delle unità vegetali presenti in un contesto ambientale prevede l'elaborazione di una serie di attività documentarie e di analisi, le quali, se integrate con dati metricamente affidabili, permettono di sviluppare una struttura informativa completa dal punto di vista della misura e conoscenza dendrologica [Parrinello 2012].

In tal senso, per il caso studio dell'Arboreto Sperimentale, che si inserisce nel più ampio progetto di documentazione dell'intero complesso della Scuola di Guerra, è stato portato avanti un esteso rilievo digitale mediante laser-scanner [Lumini 2023]. L'elaborazione delle circa 150 scansioni [1] acquisite mediante uno strumento Z+F 5016, ha permesso di generare una nuvola di punti globale estremamente dettagliata dell'area dell'Arboreto e delle essenze vegetali in esso contenute (fig. 3).

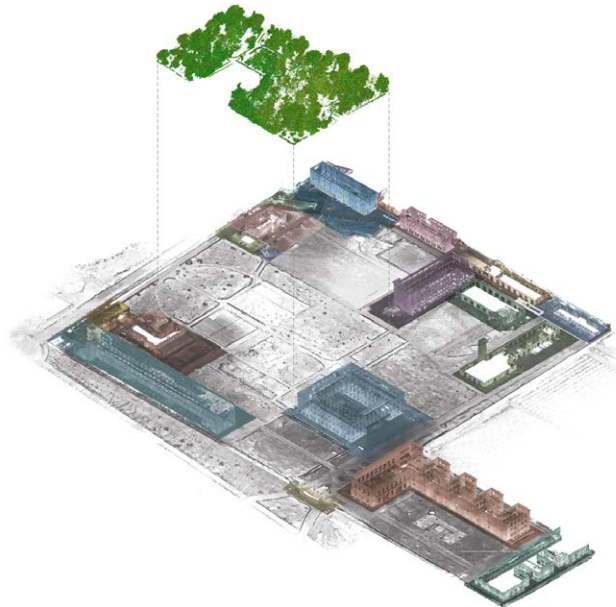


Fig. 3. Nuvola di punti globale del complesso della scuola di Guerra Aerea e individuazione dell'area ospitata dall'arboreto sperimentale. Elaborazione dell'autore.

Tale asset 3D è divenuto così la base metrico-morfologica su cui, in ambiente CAD e mediante specifici blocchi dinamici con attributi, sono state codificate e documentate planimetricamente le posizioni dei singoli individui arborei, incorporandone inoltre le caratteristiche morfologico-dimensionali e la relativa classificazione tassonomica (fig. 4).

Parallelamente a queste attività di rilievo digitale, per mappare e analizzare dendrologicamente le unità vegetali presenti, è stata inoltre condotta un'approfondita campagna di schedatura, registrando le rispettive informazioni tassonomiche annotate su specifici *Tag-ID* situati all'attacco a terra di ogni fusto [2] (fig. 5).

Per elaborare un modello di scheda censuaria digitale che garantisca una configurazione personalizzata e una compilazione agile è stato sfruttato il software *FileMaker Pro*. Questo database relazionale multiplatforma permette infatti non solo di strutturare graficamente una scheda standard e di predisporre sezioni e parametri descrittivi, ma anche di compilarla direttamente in situ o a posteriori. Quest'ultimo aspetto relativo alle possibilità di futura integrazione dei dati e successiva esportazione, come si vedrà, risulterà determinante per la gestione dei dati censiti e per la loro implementazione in ambiente BIM.

Dal punto di vista della struttura della scheda censuaria e dei descrittori in essa contenuti, è stata ripreso – in forma semplificata – un prototipo sviluppato dal team di ricerca del LRA di Firenze durante precedenti studi in questo ambito [Parrinello 2012].

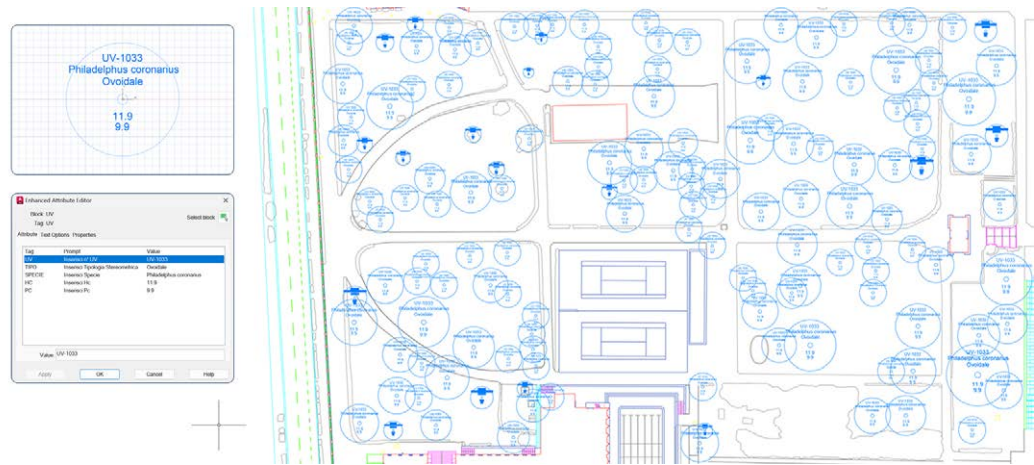


Fig. 4. Restituzione planimetrica degli individui arborei mediante blocchi dinamici CAD con attributi. Elaborazione dell'autore.



Fig. 5. I Tag-ID dei vari individui arborei. Elaborazione dell'autore.

Seguendo una logica informativa multidimensionale, la scheda è stata così strutturata secondo quattro distinte sezioni finalizzate a documentare il singolo individuo vegetale mediante descrittori omogenei e relazionati tra loro (fig. 6).

SEZIONI	PARAMETRI DESCRITTORI
Dati schedatura	Contiene descrittori identificativi relativi alla scheda e al tecnico rilevatore
Dati generali	Contiene descrittori generali dell'unità di studio, relativi alla classificazione tassonomica, alla individuazione tipologica vegetale, alla localizzazione e alla documentazione fotografica
Dati fisici	Contiene descrittori relativi alle caratteristiche fisiche dell'unità di studio, comprendenti le proprietà generali dell'individuo e quelle particolari degli elementi che lo compongono: chioma, fusto, radici
Note	Contiene un descrittore utilizzabile in caso di eventuali annotazioni ed osservazioni da parte del rilevatore

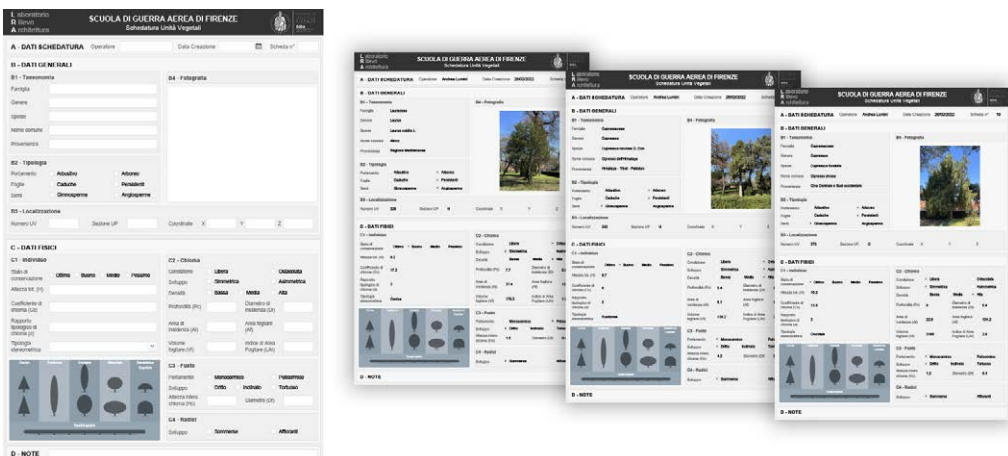


Fig. 6. Sezioni struttura scheda censuaria (in alto). Scheda censuaria standard ed esempi compilati *in situ* (in basso). Elaborazione dell'autore.

I risultati di questa schedatura, oltre a sviluppare una banca dati digitale a supporto delle successive operazioni in ambiente BIM, hanno permesso anche di condurre un confronto sulla densità numerica delle unità vegetali presenti rispetto a passati censimenti [Bernabei et al. 1998], constatandone una chiara tendenza lineare di progressiva riduzione [3], una situazione che deve quindi destare attenzione nella attuale e futura gestione degli interventi da operare.

Procedure sperimentali BIM per la modellazione parametrica e informativa del Patrimonio Arboreo

L'acquisizione dei dati metrici *range-based* e di quelli dendrologici ha rappresentato dunque il primo step metodologico per la creazione di modelli parametrici di unità vegetali di tipo arboreo [4] all'interno di questo progetto BIM. Sono state così portate avanti un serie di analisi valutative preliminari sullo stato dell'arte delle varie modalità operative sviluppate in questo ambito nel panorama accademico e commerciale [5], individuando la più efficiente nella creazione di specifiche famiglie composte da volumi geometrici elementari corrispondenti alle varie tipologie stereometriche [Gobeawan et al. 2021; Rötzer et al. 2021; Luka, Guo 2021]. La rappresentazione stereometrica è infatti ampiamente impiegata per la descrizione sintetica delle proprietà geometrico-morfologiche degli individui vegetali. La struttura, il portamento, la forma vengono sintetizzate attraverso l'approssimazione della chioma secondo solidi di rotazione semplificati, divenendo strumenti rappresentativi utili per la definizione delle proprietà spaziali degli apparati vegetali [Pretzsch et al. 2022].

Sono state così riprese le opzioni individuate anche all'interno della schedatura relative alla tipologia stereometrica, ovvero *Conica, Fusiforme, Ovoidale, Sferoidale, Cupolare, Emisferica e Quadrangolare*, e, dopo averle suddivise per morfologie geometriche simili, sono state sviluppate quattro prototipi di famiglie (fig. 7). Per lo sviluppo di queste famiglie di modello sono stati presi in considerazione i medesimi indici utilizzati nella schedatura per documentare e misurare le caratteristiche dei vari individui vegetali, mantenendo così aperta la possibilità di integrazione e sincronizzazione tra le due metodologie di documentazione. A tal fine, all'interno di Revit – il software BIM usato in questo progetto – sono stati creati due specifici gruppi di *parametri condivisi*, uno comprensivo delle caratteristiche tassonomico-dendrologiche, l'altro relativo alla descrizione dimensionale-morfologica dell'Unità Vegetale. In particolare, per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, si è fatto riferimento alle più diffuse variabili dimensionali utilizzate e sperimentate per la misurazione delle strutture arboree e delle sue componenti principali (chioma e fusto) [West 2015; Morgenroth, Östberg 2017; Sačkov et al. 2017] (fig. 8).

Questi parametri dimensionali – comuni a tutte le tipologie – una volta associati con specifici vincoli ai relativi solidi di rotazione permettono di attribuirne i relativi valori secondo due modalità: da input di dati metrici *range-based* o da formula matematica relazionale. Come è possibile riscontrare, sono state sfruttate al massimo le potenzialità geometrico-relazionali tra questi parametri, riducendo al minimo indispensabile i valori da inserire come input numerico. La sola acquisizione dei dati metrici *range-based* per i valori relativi alle altezze e ai diametri di fusto e chioma permette infatti di ottenere un *digital-twin* dimensionalmente assimilabile al suo corrispettivo reale.

Visual-scripting di automatismi per l'implementazione e il data enrichment dei prototipi arborei BIM

Partendo dai risultati dei dati rilevati e dalle sperimentazioni condotte sui prototipi parametrici, lo studio si è poi mosso verso la ricerca di automatismi per la simultanea implementazione e *data enrichment* dei modelli arborei e delle rispettive caratteristiche informative all'interno un sistema BIM unico e interconnesso. A tal fine, è stata preliminarmente sfruttata l'interoperabilità tra i due database digitali sviluppati in fase di rilevazione all'interno degli ambienti FileMaker Pro e AutoCAD, contenenti rispettivamente le informazioni tassonomico-dendrologiche e quelle stereometrico-dimensionali.

ID FAMIGLIA	RIFERIMENTO GEOMETRICO	TIPOLOGIA STEREOMETRICA	FAMIGLIA NATIVA REVIT	PORTAMENTO INDIVIDUO
UV_α	<i>Cono</i>	<i>Conica</i>	<i>Verde metrico</i>	<i>Arboreo</i>
UV_β	<i>Ellissoide</i>	<i>Fusiforme Ovoidale Sferoidale</i>	<i>Verde metrico</i>	<i>Arboreo</i>
UV_γ	<i>Cupola</i>	<i>Cupolare Emisferica</i>	<i>Verde metrico</i>	<i>Arboreo</i>
UV_δ	<i>Parallelepipedo</i>	<i>Quadrangolare</i>	<i>Tetto da perimetro</i>	<i>Arbustivo</i>

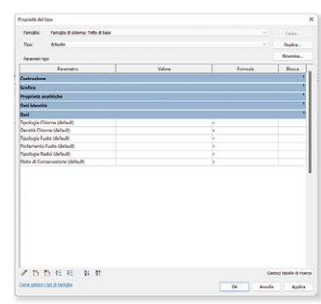
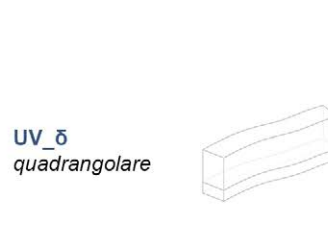
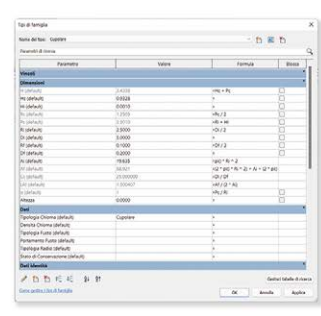
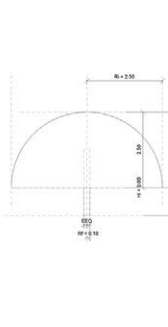
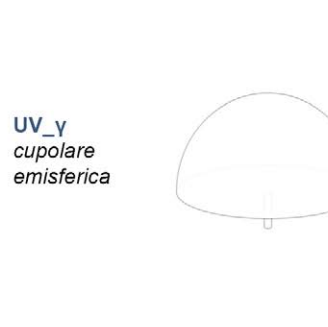
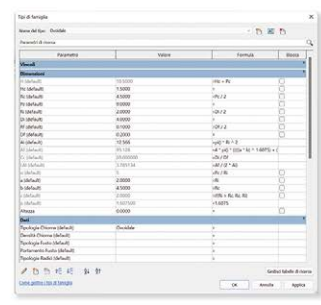
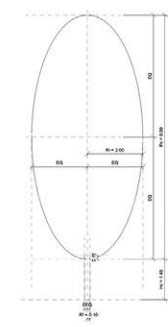
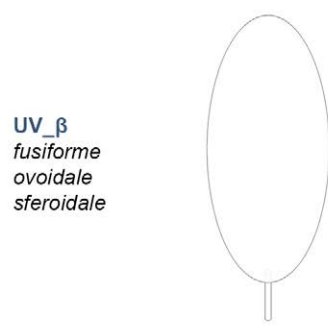
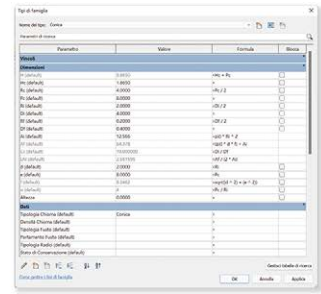
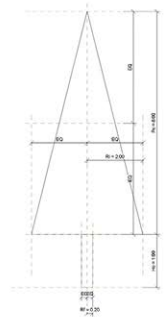
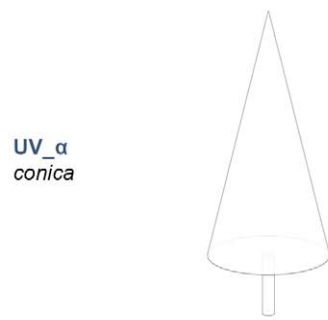
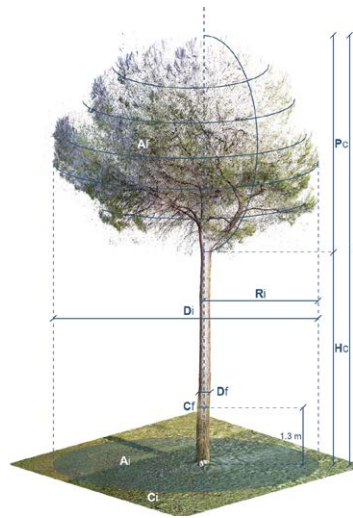


Fig. 7. Panoramica riferimenti geometrico-den-drologici per la creazione delle famiglie all'interno di Revit (in alto). Panoramica modellazione prototipi parametrici BIM secondo le varie tipologie stereometriche (in basso). Elaborazione dell'autore.

In particolare, quest'ultimi dati, essendo stati inseriti come attributi all'interno di blocchi CAD dinamici, sono stati agevolmente esportati sotto forma di tabella .xlsx mediante la funzione *DataExtraction*. Il foglio di calcolo creato, elencante tutte le Unità Vegetali e i loro rispettivi valori dei parametri dimensionali e stereometrici, è stato conseguentemente importato all'interno del file di schedatura di FileMaker Pro, dove, grazie alla medesima classificazione e *naming convention*, i campi non ancora redatti durante le campagne in situ si sono automaticamente sincronizzati e compilati, completando di fatto la schedatura di ogni individuo in tutte le sue sezioni.

Lo step successivo riguardante la *traduzione* di questi dati parametrici, sostanzialmente alfanumerici, in rappresentazioni 3D dei vari asset vegetali in ambiente BIM, è stato sviluppato portando avanti un processo di *visual-scripting* all'interno dell'applicativo *open-source* Dynamo. Questa piattaforma di *Visual Programming Language* (VPL) permette infatti di estendere le potenzialità di un processo BIM attraverso la manipolazione di elementi grafici chiamati "nodi", ognuno dei quali destinato ad eseguire uno specifico *task*, all'interno di uno schema a "grafo". Attraverso la creazione di specifici algoritmi, Dynamo permette quindi non solo di sviluppare processi di generazione di geometrie complesse o di automatizzare una modellazione parametrica iterativa, ma anche di coordinare in maniera efficiente e rapida la gestione delle informazioni presenti nel modello BIM, ed eventualmente integrarle con dati contenuti in applicativi gestionali esterni [Brusaporci et al. 2018; Sampietro et al. 2018] (fig. 9).



COMPONENTE	PARAMETRO	SIMBOLO	INPUT	FORMULA
CHIOMA	Profondità chioma	Pc	numerico	valore rilevato
	Circonferenza di insidenza	Ci	formula	$Ci = Di \cdot \pi$
	Diametro di insidenza	Di	numerico	valore rilevato
	Raggio di insidenza	Ri	formula	$Ri = Di / 2$
	Area di insidenza	Ai	formula	$Ai = \pi \cdot Ri^2$
	Area fogliare	Af	formula	variabile per tipologia stereometrica
	Volume fogliare	Vf	formula	variabile per tipologia stereometrica
FUSTO	Indice di area fogliare	LAI	formula	$LAI = Af / Ai$
	Altezza intersezione chioma	Hc	numerico	valore rilevato
	Circonferenza fusto	Cf	formula	$Cf = Df \cdot \pi$
INDIVIDUO ARBOREO	Diametro fusto	Df	numerico	valore rilevato
	Altezza totale	H	formula	$H = Hc + Pc$
	Coefficiente di chioma	Cc	formula	$Cc = Di / Df$
	Rapporto tipologico di chioma	α	formula	$\alpha = Pc / Ri$

Fig. 8. La misura parametrica di un individuo arboreo (in alto). Panoramica parametri dimensionali per la misura di un individuo arboreo (in basso). Elaborazione dell'autore.

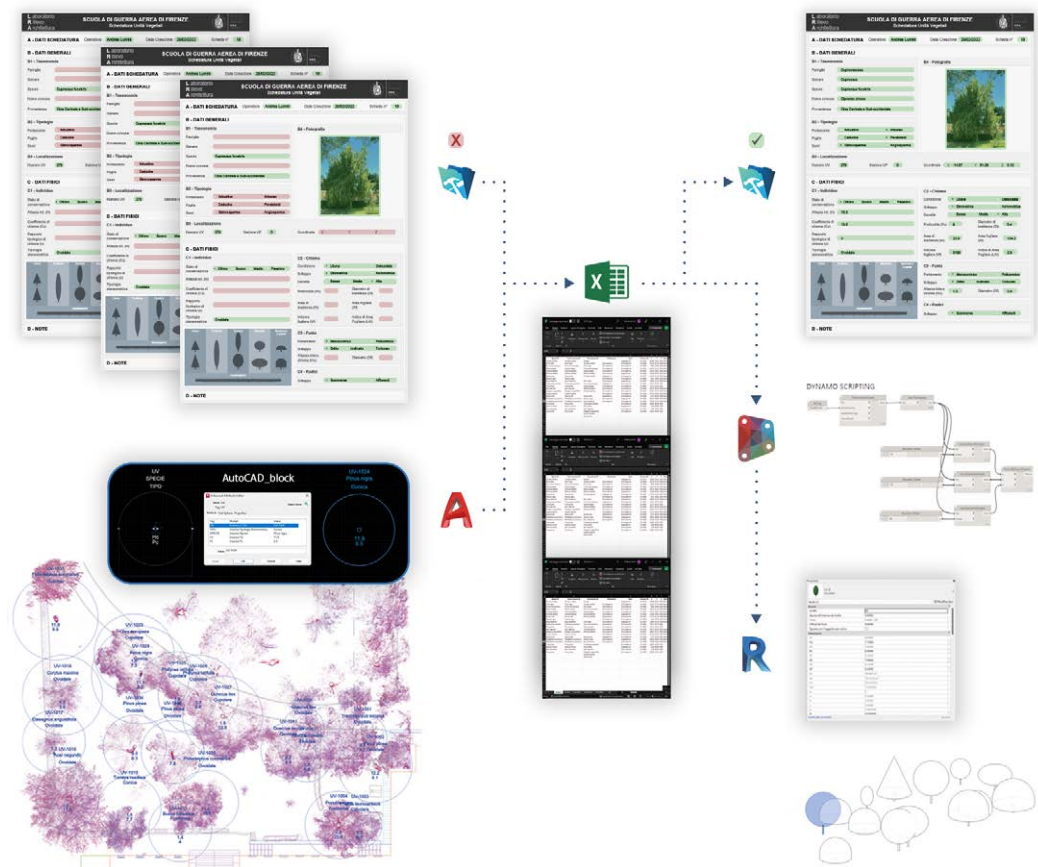


Fig. 9. Workflow globale per l'implementazione in ambiente BIM dei dati sviluppati dal rilievo digitale e dalle schedature. Elaborazione dell'autore.

Sulla base di queste considerazioni sono stati dunque testati all'interno di Dynamo una serie di nodi procedurali per il posizionamento e l'arricchimento informativo delle Unità Vegetali presenti nell'Arboreto, adattando morfologicamente e dimensionalmente i prototipi arborei BIM e implementandone i modelli con i rispettivi metadati informativi contenuti nel database di Filemaker Pro. Questa sequenza di *task* basata su processi di *visual-scripting* ha permesso dunque di automatizzare una serie di operazioni per la creazione e il popolamento informativo di istanze BIM che, all'interno di percorso di implementazione BIM di tipo tradizionale, avrebbero non solo richiesto tempistiche ampiamente maggiori, ma anche portato a probabili errori di tipo gestionale (fig. 10).

Conclusioni

Le sperimentazioni condotte sulla modellazione parametrica di prototipi arborei e sulla programmazione mediante *visual-scripting* di automatismi per il loro inserimento e arricchimento informativo in un ambiente BIM, hanno permesso di definire un workflow metodologico rapido, interoperabile tra diverse metodologie, implementabile nel tempo e parametricamente adeguato ad essere utilizzato per molteplici finalità. In tal senso, un approccio BIM di questo tipo, se integrato con i risultati di schedature e rilievi digitali, si configura come un efficace e affidabile strumento per la documentazione e gestione del Patrimonio Arboreo. Lo sviluppo di *digital-twin* BIM di individui arborei, rappresentati fedelmente e parametricamente sia dal punto di vista della misura che di quello relativo alle informazioni dendrologiche e fitosanitarie, rappresenta non solo una grande opportunità per progetti di salvaguardia, monitoraggio, manutenzione e documentazione di contesti arborei urbani e forestali, ma si inserisce anche in una prospettiva di digitalizzazione che sempre più caratterizza i flussi di lavoro di architetti paesaggisti, agronomi e amministrazioni.

In conclusione, i risultati ottenuti intendono porsi come punto di partenza per lo sviluppo di futuri studi *BIM-oriented* finalizzati alla gestione del Patrimonio Arboreo, concentrandosi in particolare sulle potenzialità interoperabili offerte dal formato aperto IFC, e sull'integrazione di modelli parametrici e informativi all'interno di infrastrutture GIS.

WORKFLOW VISUAL-SCRIPTING DYNAMO	
1	Scelta e importazione del file .xlsx estratto dalla schedatura
2	Scelta del foglio di calcolo corrispondente a una determinata tipologia stereometrica [6]
3	Letture dei dati presenti nelle varie colonne del singolo foglio di calcolo
4	Trasposizione di queste in righe e creazione di una lista ad elenco equivalente
5	Individuazione numerica delle righe contenenti le coordinate (x,y,z) ed estrazione dei rispettivi valori
6	Scelta del <i>Tipo di Famiglia</i> relativo alla tipologia stereometrica prescelta
7	Attribuzione delle coordinate estratte alle varie istanze di questo <i>Tipo di Famiglia</i> (le unità vegetali vengono geo-posizionate all'interno del progetto)
8	Scelta del livello di progetto su cui posizionarle
9	Individuazione numerica delle righe contenenti i parametri dimensionali essenziali (altezze e diametri di fusto e chioma) ed estrazione dei rispettivi valori
10	Attribuzione delle dimensioni estratte ai rispettivi parametri dimensionali relativi alle istanze di questo <i>Tipo di Famiglia</i> (le unità vegetali posizionate vengono adesso anche dimensionate)
11	Individuazione numerica delle righe contenenti i restanti parametri descrittivi ed estrazione dei rispettivi valori
12	Attribuzione delle informazioni estratte ai rispettivi parametri delle istanze di questo <i>Tipo di Famiglia</i> (le unità vegetali posizionate e dimensionate vengono informatizzate secondo i loro dettagli)

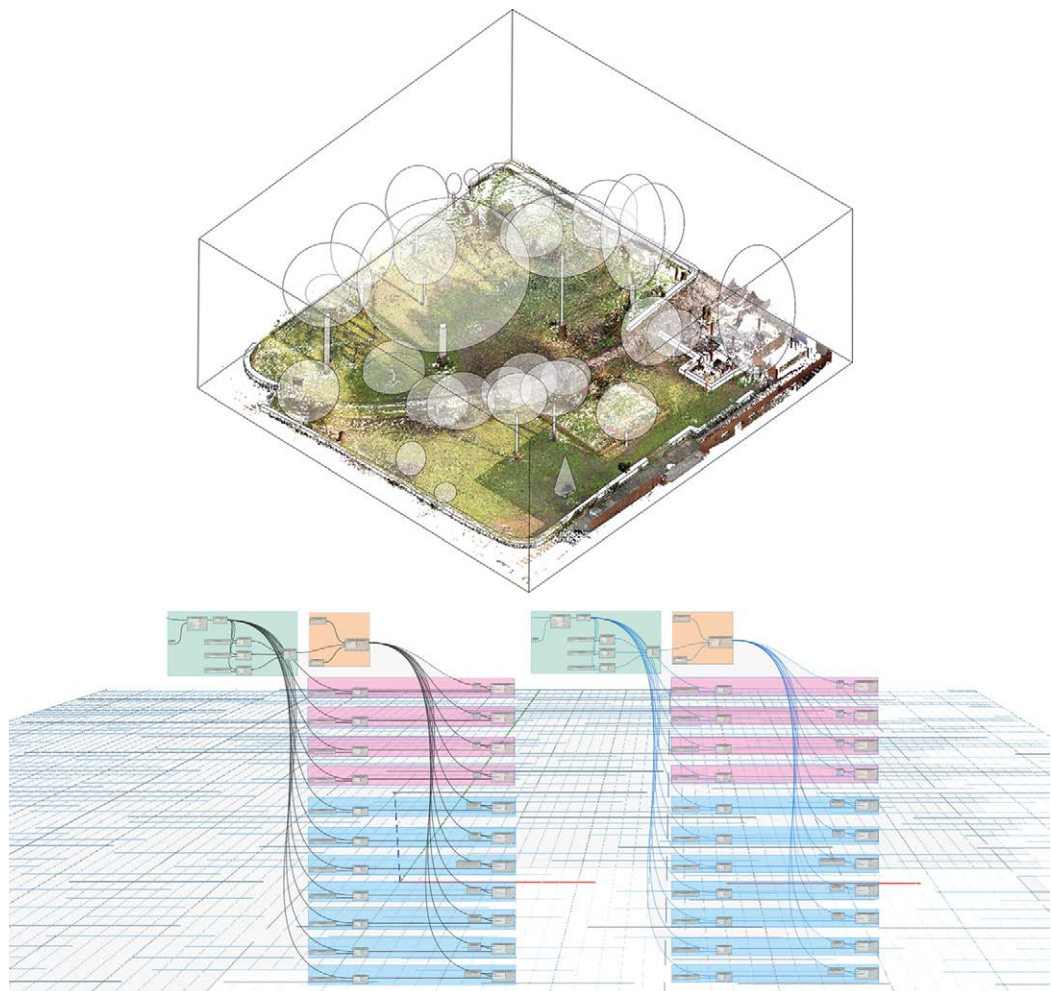


Fig. 10. Sequenza nodi procedurali Dynamo (in alto). Creazione di *digital-twin* BIM di individui arborei mediante automatismi di *visual-scripting* (in basso). Elaborazione dell'autore.

Note

[1] Il rilievo globale del complesso ha compreso circa 1000 scansioni.

[2] I Tag-ID presentano i seguenti dati: specie, nome comune, provenienza, numero UV e sezione UV. Le restanti proprietà vengono ricavate dal nome della specie.

[3] Il censimento iniziale nel 1935 contava n. 1074 unità, nel 1984 n. 637, nel 1997 n. 501, e infine, quello ricavato dai rilievi del 2020 n. 225.

[4] I modelli parametrici sviluppati si prestano anche per la rappresentazione di elementi arbustivi come le siepi.

[5] Esistono plugin a pagamento sviluppati per questo tipo di impiego, come CloudScapes Artisan RV o Archintelligence Environment.

[6] Il file .xlms esportato è stato preventivamente suddiviso in più fogli di calcolo, ognuno dei quali rinominato secondo le varie tipologie stereometriche e contenente i rispettivi dati di ognuna di queste. Tutti i successivi passaggi vengono eseguiti in maniera automatica e simultanea per ogni foglio.

Crediti

I dati e i risultati di questo progetto di ricerca, portato avanti dal 2017 dal laboratorio LRA del Dipartimento di Architettura di Firenze in collaborazione con l'amministrazione dell'Istituto, sotto la responsabilità scientifica del Prof. S. Bertocci ed il coordinamento scientifico del Dott. Arch. M. Ricciarini sono stati elaborati e finalizzati nell'ambito della tesi di dottorato di A. Lumini dal titolo "L'HBIM per la fruizione virtuale interattiva del Patrimonio Architettonico e dei metadati informativi. Il caso studio della Scuola di Guerra Aerea di Firenze", Università di Firenze, Dipartimento di Architettura (DIDA), XXXIV ciclo, 2023. Tutor: Prof. S. Bertocci. La struttura predisposta per la scheda censuaria è stata ripresa da un prototipo sviluppato dal Prof. S. Parrinello all'interno della sua tesi di dottorato, dal titolo "Rilevare il Verde Urbano. Strategie per la rappresentazione e la comprensione dei sistemi di acquisizione e di informazione del verde urbano".

Riferimenti bibliografici

Ahmada A.M., Aliyua A.A. (2012). The Need for Landscape Information Modelling (LIM) in Landscape Architecture. In *Proceedings of the 13th Digital Landscape Architecture Conference*. Bernburg (DE), 6-8 giugno 2013, pp. 531-540.

Bernabei G., et al. (1998). *L'arboreto della scuola di Guerra Aerea*. Firenze: IGM.

Bertocci S., Pancani G., Puma P. (2006). *Ville e parchi storici. Strategia per la conoscenza e il riuso sostenibile*. Firenze: Edifir.

Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes. In *Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, pp. 199-203. <http://dx.doi.org/10.1109/MetroArchaeo43810.2018.13620>

Emara M. (2021). Toward a suggested proposed model for the use of building information modeling (BIM) in the implementation phase for landscaping. In *Ain Shams Engineering Journal*, n. 13(2), pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2021.08.009>

Fagnoni R. (1938). La scuola di Applicazione per la R. Aeronautica a Firenze. In *Architettura*, n. XVI, pp. 239-369. doi: 10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-91-2021

Gobeawan L. et al. (2021). IFC-centric vegetation modelling for BIM. In *ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, n. VIII-4/W2, pp. 91-98.

Luka A., Guo Y. (2021). PlantingSMART: The Parametric Approach for Trees in BIM with Full Lifecycle Application. In *Journal of Digital Landscape Architecture*, n. 6, pp. 370-380.

Lumini A. (2023). The integrated digital survey of the Florence Air Warfare School. HBIM-based protocols for documentation and information management. In *Disegnarecon*, n. 30(16). doi: 10.20365/disegnarecon.30.2023.11

Morgenroth J., Östberg J. (2017). Measuring and monitoring urban trees and urban forests. In F. Ferrini, C.C. Konijnendijk van den Bosch, A. Fini (a cura di). *Routledge Handbook of Urban Forestry*, pp. 33-48. London: Routledge.

Parrinello S. (2012). Banche dati e sistemi integrati per la gestione del verde urbano. In *Disegnarecon*, n. (5)10, pp. 273-278. doi: 10.6092/issn.1828-5961/3355.

Parrinello S., La Placa S. (2021). Documentation of the waterways in the Pavia flat land. Experience in detection with SLAM technology for the development of information models. In *Dn*, n. 9, pp. 34-46.

Parrinello S., Sanseverino A., Fu H. (2023). HBIM modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital ecosystem. In *ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, n. XLVIII-M-2, pp. 1157-1164. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1157-2023.

Podestà G. (2006). *Istituto di Scienze Militari Aeronautiche. L'Architettura di Raffaello Fagnoni per la Scuola di Applicazione Aeronautica*. Firenze: Polistampa.

Pretzsch H. et al. (2022) Linking crown structure with tree ring pattern: methodological considerations and proof of concept. In *Trees*, n. 36, pp. 1349-1367. doi: 10.1007/s00468-022-02297-x.

Puecher Passavalli L., Minucci del Rosso S. (1935). *L'arboreto sperimentale delle Cascine a Firenze*. Firenze: Tipografia Mariani Ricci.

Rötzer T. et al. (2021). Modelling Urban Tree Growth and Ecosystem Services: Review and Perspectives. In F.M. Cánovas, et al. (a cura di). *Progress in Botany*, vol. 82, pp. 405-464. Cham: Springer.

Sačkov I. et al. (2017). Integration of tree allometry rules to treetops detection and tree crowns delineation using airborne lidar data. In *iForest - Biogeosciences and Forestry*, n. 10, pp. 459- 467. doi: 10.3832/ifer2093-010

Sampietro F. et al. (2018). Computational design in the HBIM process. In T. Emler; G.M.Valenti (a cura di). *Proceedings of 3D Modeling & BIM, Nuove Frontiere*, Roma, 18-19 Aprile, 2018, pp. 298-313. Roma: DEI - Tipografia del Genio Civile.

Shu Q. et al. (2022). Tree Information Modeling: A Data Exchange Platform for Tree Design and Management. In *Forests*, n. 13(11), 1955. doi 10.3390/f13111955

West P.W. (2015). *Tree and Forest Measurement*. Cham: Springer.

Autori

Andrea Lumini, Università degli Studi di Firenze, andrea.lumini@unifi.it

Per citare questo capitolo: Andrea Lumini (2024). Misura e modellazione parametrica per la gestione BIM-oriented del Patrimonio Arboreo/Measure and parametric modeling for the BIM-oriented management of the Arboreal Heritage. 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. 1633-1656.

Measure and parametric modeling for the BIM-oriented management of the Arboreal Heritage

Andrea Lumini

Abstract

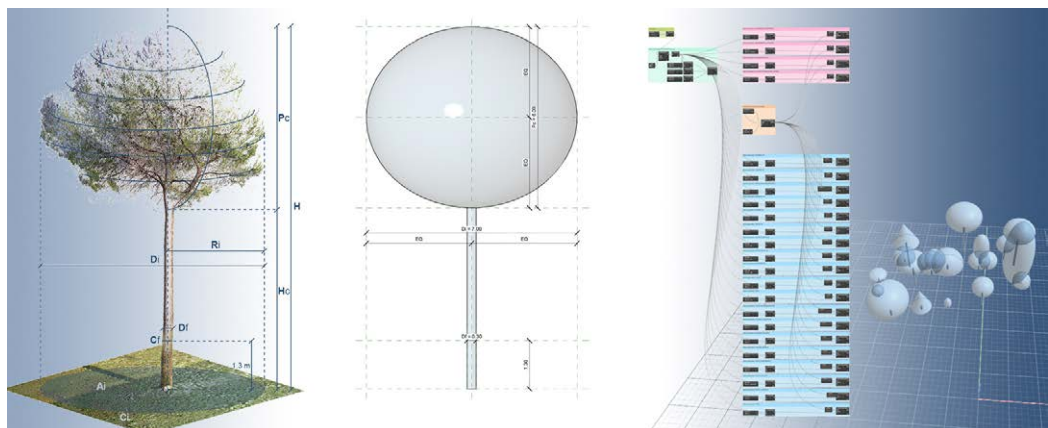
The paper aims to propose an innovative approach to modeling and management of the Arboreal Heritage through the use of BIM and visual-scripting. These issues, which are part of the open debate on *Landscape Information Modeling* (LIM), are explored by focusing on the case study of the Experimental Arboretum in Florence, a large green area housed within the architectural complex of the Air Warfare School and characterized by a rich tree collection.

Starting from metric and informative data of existing plant essences, obtained through laser-scanner surveys and filing activities, two experimental procedures aimed at integrating, representing, and implementing the results of the acquisitions within a BIM environment are proposed. The first concerns the development of parametric BIM prototypes of tree individuals based on stereometric representation, while the second focuses on programming automatisms using visual-scripting for the implementation and information enrichment of the models.

These experiments have made it possible to define a methodological workflow that is rapid, interoperable, and implementable over time, and parametrically suitable for multiple purposes. In this regard, the BIM approaches applied in this study, based on faithful digital-twin of plant essences, represent an opportunity for the information management of the Arboreal Heritage aimed at its documentation and preservation.

Keywords

Scan-to-BIM, landscape information modeling, visual-scripting, informative systems, digital-twin



BIM and visual-scripting approaches for information management of the arboreal heritage. Elaboration by the author.

Introduction

The paper aims to present some experiments conducted within a segment of research not yet appropriately discussed in the academic debate: BIM applied to Arboreal Heritage. In particular, starting from metric and informative data of existing plant essences, obtained through laser-scanner surveys and filing activities, two experimental procedures aimed at integrating, representing, and implementing the results of the acquisitions within a BIM environment are proposed. The first aimed at developing BIM prototypes of plant units morphologically synthesized according to the various stereometric types and defined through specific geometric-dendrological parameters. The second based on automatism programming through visual-scripting aimed at the implementation and data enrichment of tree prototypes in a BIM environment, according to the spatial and dimensional data acquired in the survey phase and the taxonomic-dendrological data identified in the census (fig. 1). The purpose of the study on these issues – which belong within the more general research field of the so-called *Landscape Information Modeling* (LIM) [Ahmada, Aliyua 2012; Emara 2021] and the more particular *Tree Information Modeling* (TIM) [Shu et al. 2022] – is to test methodologies and procedures based on an automated parametric information modeling approach to support the digital transition of all those activities of documentation, census and dendrological survey of vegetation contexts.

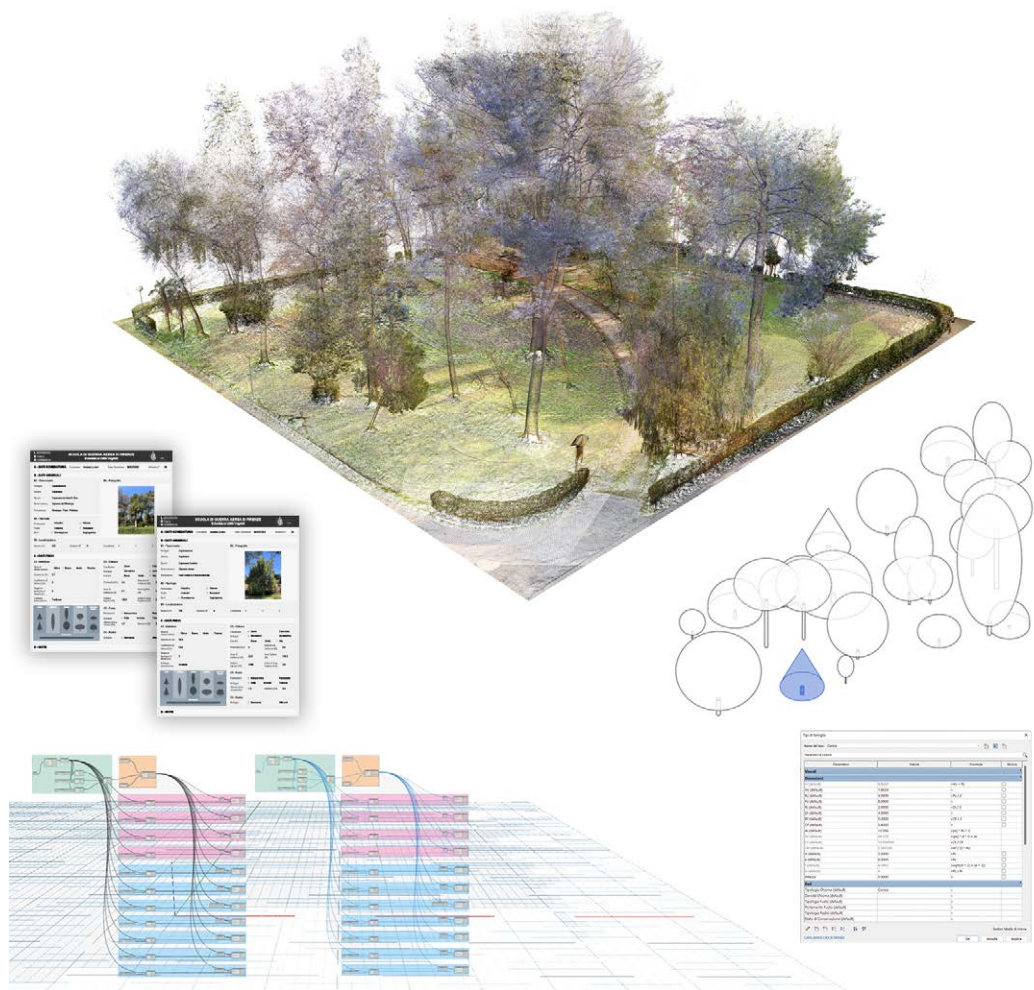


Fig. 1. Methodological workflow overview. Elaboration by the author.

The experiments illustrated are part of a broad project of digital documentation of the architectural complex of the Florence Air Warfare School – now the Institute of Military Aeronautical Sciences (ISMA) – carried out since 2017 by the LRA laboratory of the Department of Architecture in Florence, in collaboration with the administration of the Institute [Lumini 2023]. Specifically, the present contribution focuses on the environmental sphere of the complex, and in particular on the green area hosted by the Experimental Arboretum of the Silviculture Station, for which significant ad hoc campaigns of digital survey and census of tree individuals have been conducted.

The case study: the Experimental Arboretum of the Florence Air Warfare School

In setting up his project within the area that from 1938 would have housed the Florence Air Warfare School, architect Raffaello Fagnoni found himself proceeding not only in accordance with specific urban-planning indications defined in advance by the technicians of the Ministry of Aeronautics, but also - and above all - in respect and maintenance of a large pre-existing green area incorporated into the project lot [Fagnoni 1938; Podestà 2006]. This area of about two and a half hectares, centrally located and around which Fagnoni skillfully articulated the distributional layout of the buildings, housed the so-called Experimental Arboretum of the Silviculture Station. Realized in 1914 by the Chair of Silviculture of the neighboring Royal Higher Institute of Agriculture and Forestry, at that time held by Prof. Alberto Cotta, its purpose was to experiment and verify the possibility of acclimatization of numerous exotic species from different latitudes [Puecher, Minucci 1935] (fig. 2). This large collection of essences presents within the Arboretum, with numerous rare taxa enduring to this day, stimulated the documentation and digitization research initially conducted on just the architectural complex to dwell on its Arboreal Heritage as well, carrying out processes of metric data collection and census of plant units, but also trying to develop a methodology for their three-dimensional representation and information management.



Fig. 2. The Experimental arboretum of the Florence Silviculture Station. Elaboration by the author.

Digital survey, filing and dendrological analysis of plant essences

The definition of an updated cognitive framework of the plant units present in an environmental context involves the elaboration of a series of documentary and analytical activities, which, when integrated with metrically reliable data, allow the development of a complete information structure from the point of view of dendrological measurement and knowledge [Parrinello 2012].

In this sense, for the case study of the Experimental Arboretum, which is part of the larger project of documenting the entire War School complex, an extensive digital laser-scanner survey was carried out [Lumini 2023]. The processing of the approximately 150 scans [1] acquired through a Z+F 5016 instrument made it possible to generate an extremely detailed global point cloud of the Arboretum area and the plant essences it contains (fig. 3).

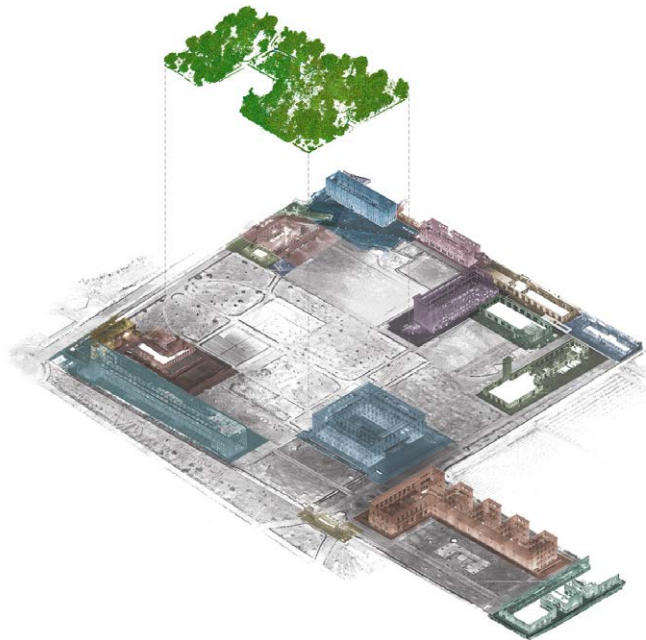


Fig. 3. Global point cloud of the Air Warfare School complex and identification of the area hosted by the experimental arboretum. Elaboration by the author.

This 3D asset thus became the metric-morphological basis on which, in the CAD environment and by means of specific dynamic blocks with attributes, the positions of the single tree individuals were encoded and documented planimetrically, incorporating as well their morphological-dimensional characteristics and related taxonomic classification (fig. 4).

Parallel to these digital survey activities, in order to map and dendrologically analyze the plant units present, a thorough filing campaign was also conducted, recording the respective taxonomic information noted on specific Tag-IDs located at the ground attachment of each stem [2] (fig. 5).

FileMaker Pro software was exploited to develop a digital census sheet template that would ensure customized configuration and agile compilation. Indeed, this cross-platform relational database allows not only to graphically structure a standard record and prepare sections and descriptor parameters, but also to compile it directly on-site or afterwards. The latter aspect related to the possibilities of future data integration and subsequent export, as will be seen, will be crucial for the management of census data and their implementation in the BIM environment.

From the point of view of the structure of the census sheet and the descriptors it contains, a prototype developed by the LRA research team in Florence during previous studies on this field [Parrinello 2012] has been taken up – in a simplified form.

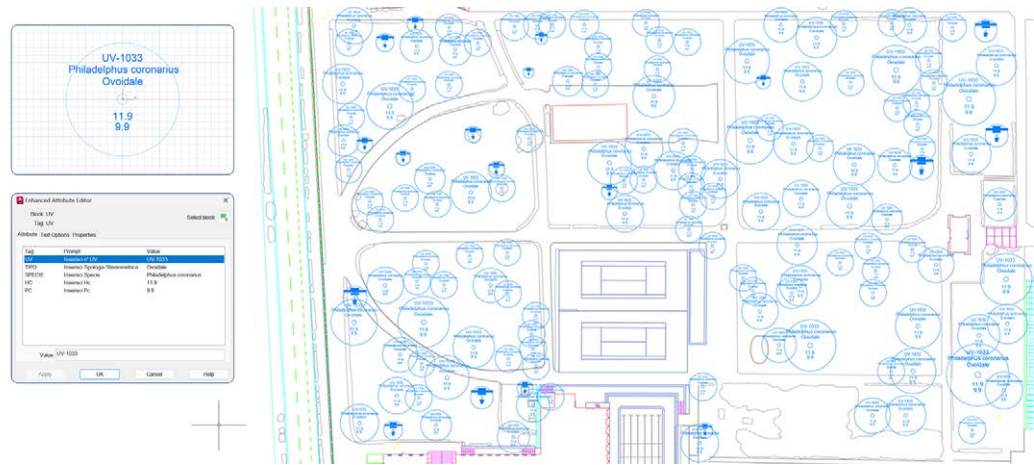


Fig. 4. Planimetric restitution of tree individuals using dynamic CAD blocks with attributes. Elaboration by the author.



Fig. 5. The Tag-IDs of the various tree individuals. Elaboration by the author.

Following a multidimensional information logic, the sheet was thus structured according to four distinct sections aimed at documenting the individual plant through homogeneous and related descriptors (fig. 6).

SECTIONS	PARAMETERS DESCRIPTORS
File data	Contains identifying descriptors related to the record and the surveyor technician
General data	Contains general descriptors of the studied plant unit, relating to taxonomic classification, plant type identification, location, and photographic documentation
Physical data	Contains descriptors related to the physical characteristics of the studied plant unit, including general properties of the individual tree and particular properties of its component elements: crown, stem, roots
Notes	Contains a descriptor that can be used in case of any annotations and observations by the surveyor

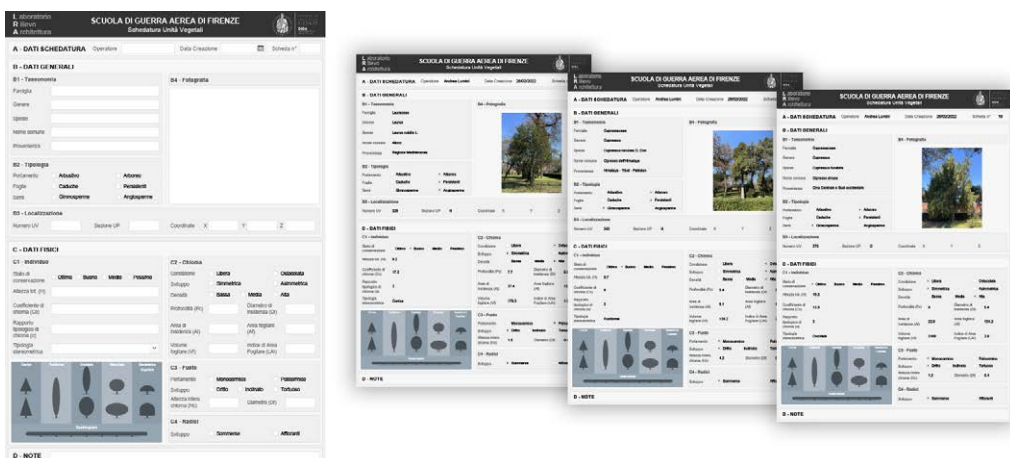


Fig. 6. Sections of the structure census sheet (top). Standard census sheet and examples filled in situ (above). Elaboration by the author.

The results of this filing, in addition to developing a digital database to support subsequent operations in the BIM environment, also made it possible to conduct a comparison of the numerical density of the plant units present compared to past censuses [Bernabei et al. 1998], noting a clear linear trend of progressive reduction [3], a situation that must therefore arouse attention in the current and future management of the interventions to be made.

Experimental BIM procedures for parametric and informational modeling of Arboreal Heritage

The acquisition of range-based metric and dendrological data was thus the first methodological step in the creation of parametric models of tree-type plant units [4] within this BIM project. A series of preliminary evaluative analyses were thus carried out on the state of the art of the various operative modes developed in this field in the academic and commercial panoramas [5], identifying the most efficient in the creation of specific families composed of elementary geometric volumes corresponding to the various stereometric types [Gobewan et al. 2021; Rötzer et al. 2021; Luka, Guo 2021].

Indeed, stereometric representation is widely used for the synthetic description of geometric-morphological properties of plant individuals. Structure, habit, and form are synthesized through the approximation of the crown according to simplified rotational solids, becoming useful representative tools for defining the spatial properties of plant systems [Pretzsch et al. 2022].

The options also identified within the filing related to stereometric typology, namely *Conical*, *Fusiform*, *Ovoid*, *Spheroidal*, *Cupular*, *Hemispherical*, and *Quadrangular*, were thus taken up and, after subdividing them by similar geometric morphologies, four prototype families were developed (fig. 7). For the development of these model families, the same indices used in the filing were taken into account to document and measure the characteristics of the various plant individuals, thus keeping open the possibility of integration and synchronization between the two documentation methodologies. For this purpose, two specific sets of *shared parameters* were created within Revit – the BIM software used within this project – one including taxonomic-dendrologic characteristics, the other relating to the dimensional-morphological description of the plant unit. Specifically, regarding the latter aspect, reference was made to the most widely used and tested dimensional variables for measuring tree structures and its main components (crown and stem) [West 2015; Morgenroth, Östberg 2017; Sačkov et al. 2017] (fig. 8).

These dimensional parameters – common to all types – once associated with specific constraints to the relevant rotational solids allow their relative values to be attributed in two ways: from range-based metric data inputs or from relational mathematical formula. As can be seen, the geometric-relational potential between these parameters has been exploited to the fullest extent, reducing the values to be entered as numerical input to the bare minimum. Indeed, the acquisition of range-based metric data for stem and crown heights and diameters alone makes it possible to obtain a digital-twin that is dimensionally assimilable to its real-life counterpart [6].

Visual-scripting of automatisms for implementation and data enrichment of BIM tree prototypes

Starting from the results of the surveyed data and the experiments conducted on the parametric prototypes, the study then moved toward finding automatisms for the simultaneous implementation and data enrichment of the tree models and their respective information features within a single, interconnected BIM system.

For this purpose, interoperability was preliminarily exploited between the two digital databases developed in the survey phase within the FileMaker Pro and AutoCAD environments, containing taxonomic-dendrological and stereometric-dimensional information, respectively. In particular, the latter data, having been entered as attributes within dynamic CAD blocks, were easily exported as an .xlsx table using the *DataExtraction* function.

FAMILY ID	GEOMETRIC REFERENCE	STEREOMETRIC TYPE	NATIVE REVIT FAMILY	HABIT
UV_α	Cone	Conical	Metric plant	Arboreal
UV_β	Ellipsoid	Fusiform Ovoid Spheroidal	Metric plant	Arboreal
UV_γ	Dome	Dome Hemispherical	Metric plant	Arboreal
UV_δ	Parallelepiped	Quadrangular	Roof from perimeter	Shrubby

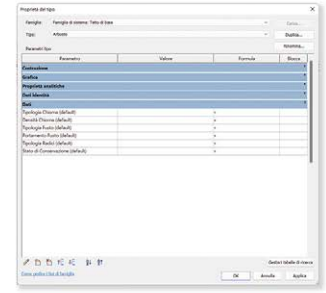
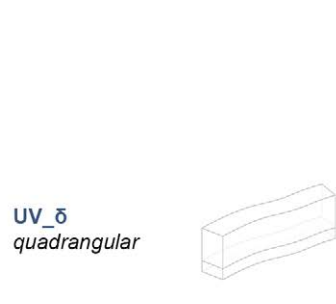
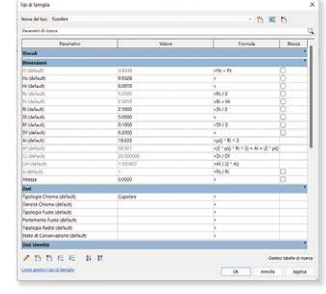
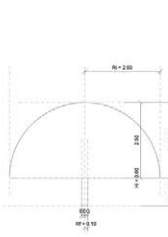
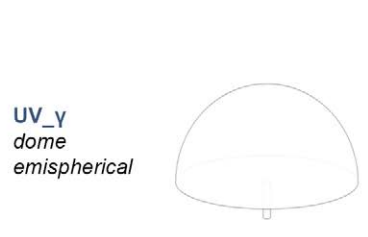
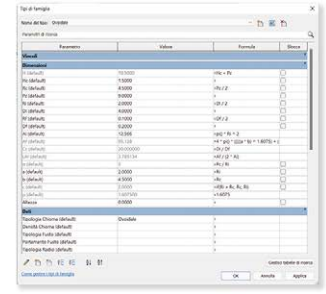
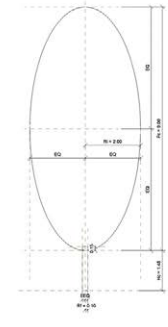
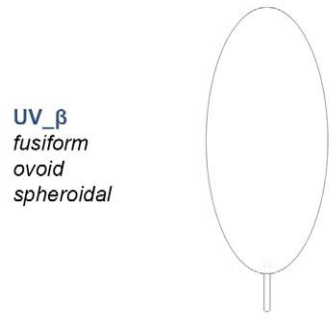
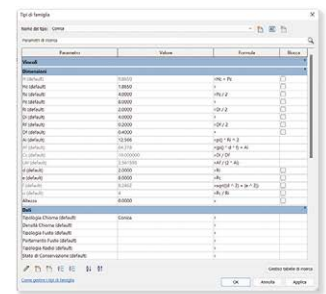
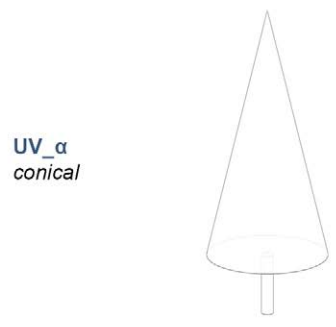
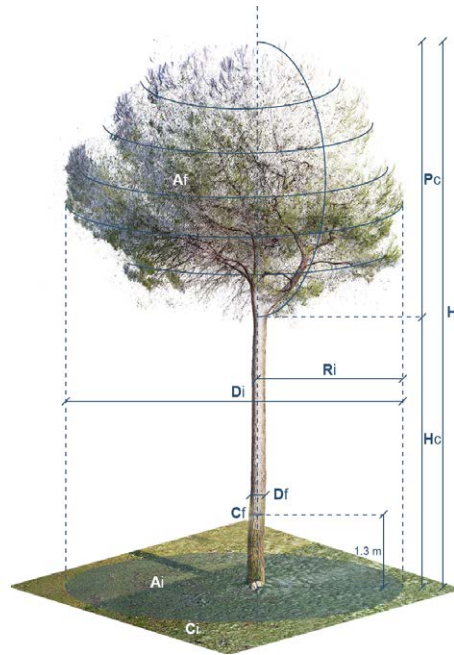


Fig. 7. Overview of geometric-dendrological references for creating families within Revit (top). Overview of modeling parametric BIM prototypes according to the various stereometric types (bottom). Elaboration by the author.

The spreadsheet created, listing all the plant units and their respective dimensional and stereometric parameter values, was consequently imported within the FileMaker Pro filing file, where, thanks to the same classification and naming convention, the fields not yet compiled during the on-site campaigns were automatically synchronized and filled in, effectively completing the filing of each individual in all its sections.

The next step concerning the translation of this parametric data, essentially alphanumeric, into 3D representations of the various plant assets in the BIM environment, was developed by carrying out a visual-scripting process within the *open-source* Dynamo application. This *Visual Programming Language* (VPL) platform, in fact, makes it possible to extend the potential of a BIM process through the manipulation of graphical elements called “nodes,” each of which is intended to perform a specific task, within a “graph” scheme. Through the creation of specific algorithms, Dynamo thus makes it possible not only to develop processes for generating complex geometries or automating iterative parametric modeling, but also to efficiently and quickly coordinate the management of the information present in the BIM model, and possibly integrate it with data contained in external management applications [Brusaporci et al. 2018; Sampietro et al. 2018] (fig. 9).



COMPONENT	PARAMETER	SYMBOL	INPUT	FORMULA
CROWN	Crown depth	Pc	numeric	surveyed value
	Crown circumference	Ci	formula	$Ci = Di \cdot \pi$
	Crown diameter	Di	numeric	surveyed value
	Crown radius	Ri	formula	$Ri = Di / 2$
	Crown area	Ai	formula	$Ai = \pi \cdot Ri^2$
	Leaf area	Af	formula	variable for stereometric type
	Leaf volume	Vf	formula	variable for stereometric type
STEM	Leaf area index	LAI	formula	$LAI = Af / Ai$
	Crown intersection height	Hc	numeric	surveyed value
	Stem circumference	Cf	formula	$Cf = Df \cdot \pi$
INDIVIDUAL TREE	Stem diameter	Df	numeric	surveyed value
	Total height	H	formula	$H = Hc + Pc$
	Crown coefficient	Cc	formula	$Cc = Di / Df$
	Crown type ratio	α	formula	$\alpha = Pc / Ri$

Fig. 8. The parametric measure of a tree individual (top). Overview of dimensional parameters for measuring a tree individual (bottom). Elaboration by the author.

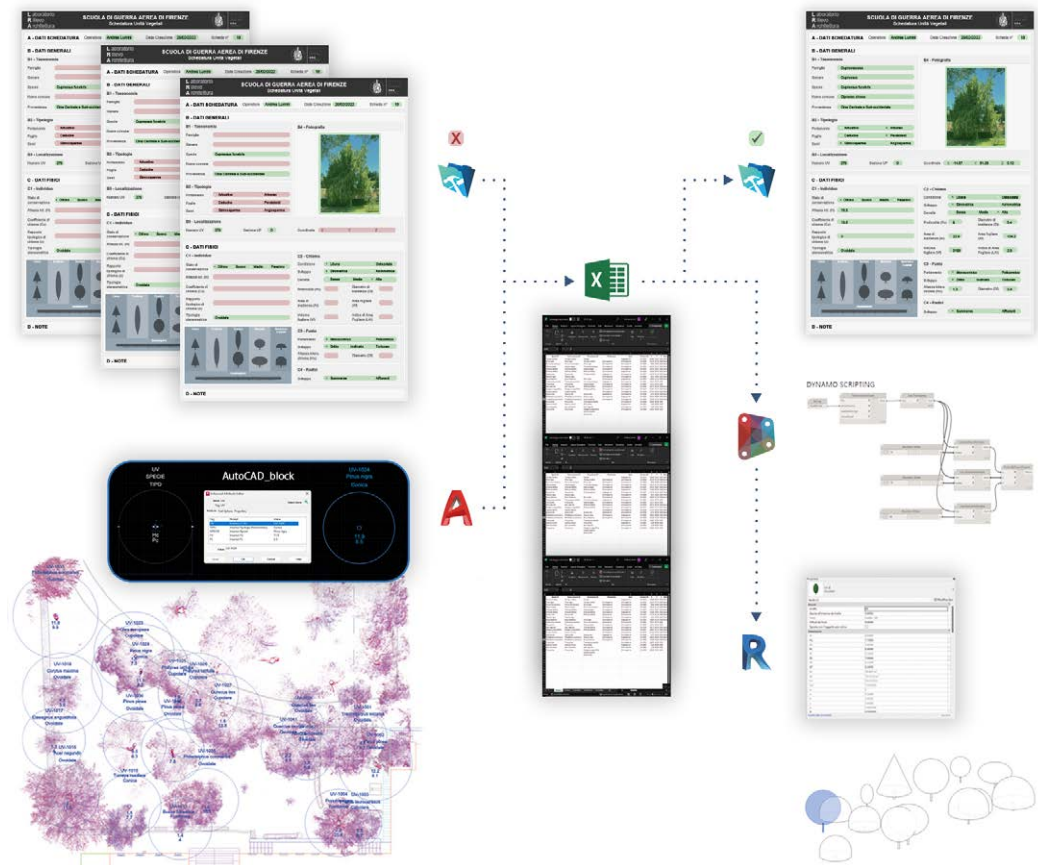


Fig. 9. Global workflow for the implementation in the BIM environment of the data developed from the digital survey and files. Elaboration by the author.

Based on these considerations, therefore, a series of procedural nodes were tested within Dynamo for the positioning and information enrichment of the plant units present in the Arboretum, morphologically and dimensionally adapting the BIM tree prototypes and implementing their models with the respective information metadata contained in the Filemaker Pro database. This sequence of tasks based on visual-scripting processes has thus made it possible to automate several operations for the creation and information populating of BIM instances that, within traditional BIM implementation path, would not only have required vastly increased timelines but also led to likely management errors (fig. 10).

Conclusions

The experiments conducted on parametric modeling of arboreal prototypes and the programming by visual-scripting of automatism for their insertion and information enrichment in a BIM environment, have allowed the definition of a methodological workflow that is rapid, interoperable among different methodologies, implementable over time and parametrically adequate to be used for multiple purposes. In this regard, such a BIM approach, when integrated with the results of digital filing and surveying, emerges as an effective and reliable tool for the documentation and management of the Arboreal Heritage.

The development of digital-twin BIM of arboreal individuals, faithfully and parametrically represented both from the point of view of their measure and of that related to dendrological and phytosanitary information, represents not only a great opportunity for projects of preservation, monitoring, maintenance and documentation of urban and forestry arboreal contexts, but also fits into a digitization perspective that increasingly characterizes the workflows of landscape architects, agronomists and public administrations.

In conclusion, the results obtained are intended to serve as a starting point for the develop-

ment of future BIM-oriented studies aimed at Arboreal Heritage management, focusing in particular on the interoperable potential offered by the open IFC format, and the integration of parametric and information models within GIS infrastructures.

WORKFLOW VISUAL-SCRIPTING DYNAMO	
1	Selection and import of the .xlsx file extracted from the filing
2	Selection of the spreadsheet corresponding to a given stereometric type [7]
3	Reading the data present in the various columns of the individual spreadsheet
4	Transposition of these into rows and creation of an equivalent list to list
5	Numerical identification of the rows containing the coordinates (x,y,z) and extraction of the respective values
6	Selection of the <i>Family Type</i> related to the chosen stereometric type
7	Assignment of the extracted coordinates to the various instances of this <i>Family Type</i> (plant units are geo-positioned within the project)
8	Selection of the project layer on which to place them
9	Numerical identification of the rows containing the essential dimensional parameters (stem and crown heights and diameters) and extraction of their respective values
10	Assignment of the extracted dimensions to the respective dimensional parameters related to the instances of this <i>Family Type</i> (placed plant units are now also dimensioned)
11	Numerical identification of the rows containing the remaining descriptive parameters and extraction of their respective values
12	Attribution of the extracted information to the respective parameters of the instances of this <i>Family Type</i> (placed and dimensioned plant units are informatized according to their details)

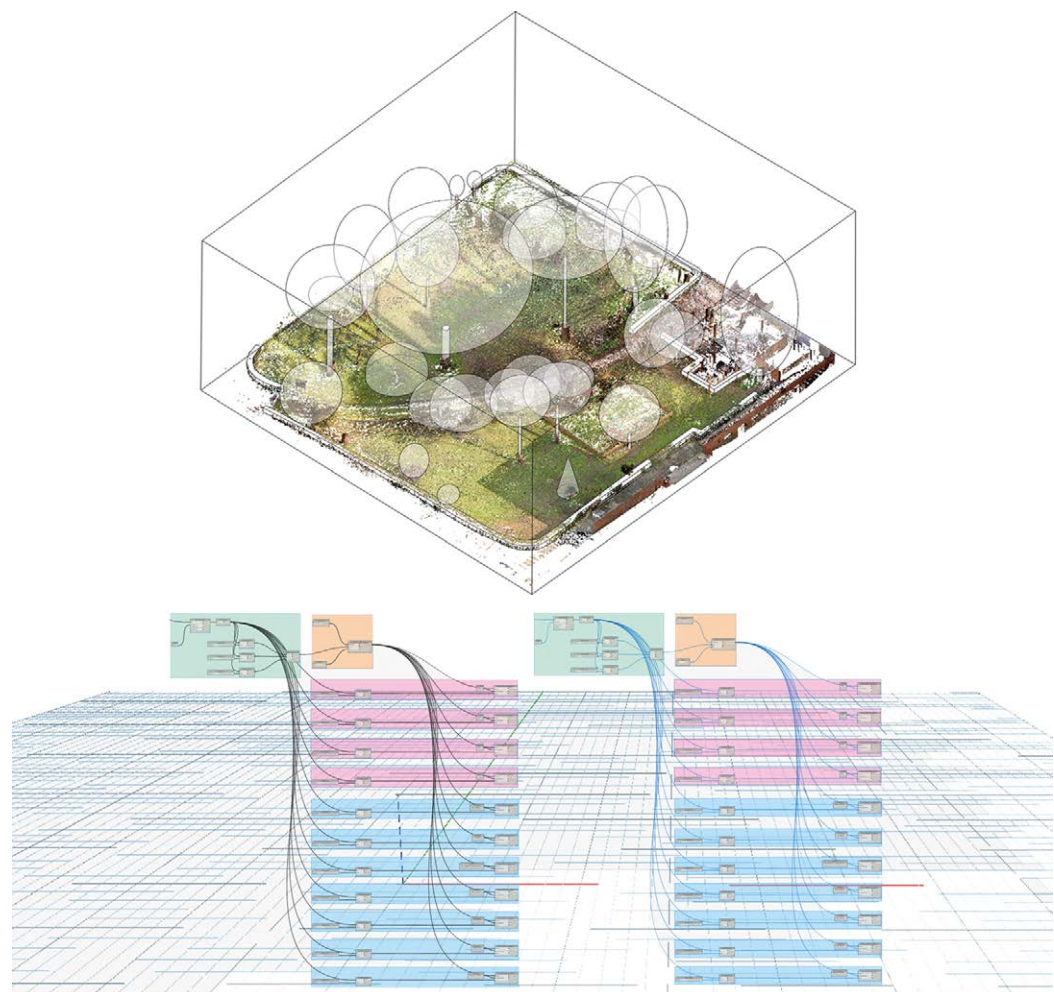


Fig. 10. Dynamo procedural node sequence (top). BIM digital-twin creation of tree individuals using visual-scripting automatisms (bottom). Elaboration by the author.

Notes

[1] The global survey of the complex involved about 1000 scans.

[2] Tag-IDs have the following data: species, common name, provenance, unit number and unit section. The remaining properties are derived from the species name.

[3] The initial census in 1935 counted No. 1074 tree individuals, in 1984 No. 637, in 1997 No. 501, and finally, the one derived from the 2020 surveys, No. 225.

[4] The developed parametric models also lend themselves to the representation of shrub elements such as hedges.

[5] There are paid plugins developed for such use, such as CloudScapes Artisan RV or Archintelligence Environment.

[6] It should be noted that for the abbreviations in the "SYMBOLS" column of the following table – as well as for some of the images (figs. 7, 8) – the Italian wording has been retained.

[7] The exported .xlms file was previously divided into several spreadsheets, each renamed according to the various stereometric types and containing the respective data for each of them. All subsequent steps are performed automatically and simultaneously for each sheet.

Credits

The data and results of this research project, carried out since 2017 by the LRA laboratory of the Department of Architecture in Florence in collaboration with the administration of the Institute, under the scientific responsibility of Prof. S. Bertocci and the scientific coordination of Dr. Arch. M. Ricciarini, were elaborated and finalized as part of A. Lumini's doctoral thesis entitled "HBIM for interactive virtual fruition of Architectural Heritage and information metadata. The case study of the Florence Air War School", University of Florence, Department of Architecture (DIDA), XXXIV cycle, 2023. Tutor: Prof. S. Bertocci. The structure prepared for the census sheet was taken from a prototype developed by Prof. S. Parrinello as part of his doctoral thesis, entitled "Surveying the Urban Green. Strategies for the representation and understanding of urban green acquisition and information systems."

References

- Ahmada A.M., Aliyua A.A. (2012). The Need for Landscape Information Modelling (LIM) in Landscape Architecture. In *Proceedings of the 13th Digital Landscape Architecture Conference*. Bernburg (DE), 6-8 giugno 2013, pp. 531-540.
- Bernabei G., et al. (1998). *L'arboreto della scuola di Guerra Aerea*. Firenze: IGM.
- Bertocci S., Pancani G., Puma P. (2006). *Ville e parchi storici. Strategia per la conoscenza e il riuso sostenibile*. Firenze: Edifir.
- Brusaporci S., Maiezza P., Tata A. (2018). Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes. In *Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArcheo)*, pp. 199-203. <http://dx.doi.org/10.1109/MetroArcheo43810.2018.13620>
- Emara M. (2021). Toward a suggested proposed model for the use of building information modeling (BIM) in the implementation phase for landscaping. In *Ain Shams Engineering Journal*, n. 13(2), pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2021.08.009>
- Fagnoni R. (1938). La scuola di Applicazione per la R. Aeronautica a Firenze. In *Architettura*, n. XVI, pp. 239-369. doi: 10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-91-2021
- Gobeawan L. et al. (2021). IFC-centric vegetation modelling for BIM. In *ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, n. VIII-4/W2, pp. 91-98.
- Luka A., Guo Y. (2021). PlantingSMART: The Parametric Approach for Trees in BIM with Full Lifecycle Application. In *Journal of Digital Landscape Architecture*, n. 6, pp. 370-380.
- Lumini A. (2023). The integrated digital survey of the Florence Air Warfare School. HBIM-based protocols for documentation and information management. In *Disegnarecon*, n. 30(16). doi: 10.20365/disegnarecon.30.2023.11.
- Morgenroth J., Östberg J. (2017). Measuring and monitoring urban trees and urban forests. In F. Ferrini, C.C. Konijnendijk van den Bosch, A. Fini (Eds.). *Routledge Handbook of Urban Forestry*, pp. 33-48. London: Routledge.
- Parrinello S. (2012). Banche dati e sistemi integrati per la gestione del verde urbano. In *Disegnarecon*, n. (5)10, pp. 273-278. doi: 10.6092/issn.1828-5961/3355.
- Parrinello S., La Placa S. (2021). Documentation of the waterways in the Pavia flat land. Experience in detection with SLAM technology for the development of information models. In *Dn*, n. 9, pp. 34-46.
- Parrinello S., Sanseverino A., Fu H. (2023). HBIM modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital ecosystem. In *ISPRS Annals of Photogrammetry Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, n. XLVIII-M-2, pp. 1157-1164. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1157-2023.
- Podestà G. (2006). *Istituto di Scienze Militari Aeronautiche. L'Architettura di Raffaello Fagnoni per la Scuola di Applicazione Aeronautica*. Firenze: Polistampa.
- Pretzsch H. et al. (2022) Linking crown structure with tree ring pattern: methodological considerations and proof of concept. In *Trees*, n. 36, pp. 1349-1367. doi: 10.1007/s00468-022-02297-x.

Puecher Passavalli L., Minucci del Rosso S. (1935). *L' arboreto sperimentale delle Cascine a Firenze*. Firenze: Tipografia Mariani Ricci.

Rötzer T. et al. (2021). Modelling Urban Tree Growth and Ecosystem Services: Review and Perspectives. In F.M. Cánovas, et al. (Eds.), *Progress in Botany*, vol. 82, pp. 405-464. Cham: Springer.

Sačkov I. et al. (2017). Integration of tree allometry rules to treetops detection and tree crowns delineation using airborne lidar data. In *iForest - Biogeosciences and Forestry*, n. 10, pp. 459- 467. doi: 10.3832/ifer2093-010

Sampietro F. et al. (2018). Computational design in the HBIM process. In T. Emler; G.M. Valenti (Eds.), *Proceedings of 3D Modeling & BIM, Nuove Frontiere*, Roma, 18-19 Aprile, 2018, pp. 298-313. Roma: DEI - Tipografia del Genio Civile.

Shu Q. et al. (2022). Tree Information Modeling: A Data Exchange Platform for Tree Design and Management. In *Forests*, n. 13(11), 1955. doi 10.3390/f13111955

West P.W. (2015). *Tree and Forest Measurement*. Cham: Springer.

Authors

Andrea Lumini, Università degli Studi di Firenze, andrea.lumini@unifi.it

To cite this chapter: Andrea Lumini (2024). Misura e modellazione parametrica per la gestione BIM-oriented del Patrimonio Arboreo/Measure and parametric modeling for the BIM-oriented management of the Arboreal Heritage. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.), *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. 1633-1656.