

n

Building Information Modeling, Data & Semantics

n. 9 dicembre / december 2021





INDICE/INDEX

EDITORIALE

EDITORIAL

T. Emler, G. M. Valenti

4

SCAN-TO-HBIM: RILIEVO INTEGRATO E MODELLAZIONE INFORMATIVA PER LA DOCUMENTAZIONE DEI DANNI ALLE STRUTTURE

SCAN-TO-HBIM: INTEGRATED SURVEY AND INFORMATION MODELLING FOR THE DOCUMENTATION OF STRUCTURAL DAMAGE

S. Balin, G. Cardani, F. Fiorillo

7

HBIM PER LA GESTIONE DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE. IL CASO STUDIO DI PALAZZO VITELLI ALLA CANNONIERA

HBIM FOR PUBLIC ADMINISTRATION MANAGEMENT. THE CASE STUDY OF PALAZZO VITELLI ALLA CANNONIERA.

F. Bianconi, M. Filippucci, A. Parisi, S. Battaglini

21

LA DOCUMENTAZIONE DEI CANALI NELLA PIANA PAVESE. ESPERIENZE DI RILEVAMENTO CON TECNOLOGIA SLAM PER LO SVILUPPO DI MODELLI INFORMATIVI

DOCUMENTATION OF THE WATERWAYS IN THE PAVIA FLAT LAND. EXPERIENCE IN DETECTION WITH SLAM TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION MODELS

S. Parrinello, S. La Placa

33

ESPERIENZE DI MACHINE LEARNING PER L'ARRICCHIMENTO INFORMATIVO DI MODELLI HBIM:

IL PROGETTO DECAI

MACHINE LEARNING EXPERIENCES FOR INFORMATION ENRICHMENT OF HBIM MODELS: THE DECAI PROJECT

M. Lo Turco, A. Tomalini

46

LA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO STORICO: TRA SEMANTICA E ONTOLOGIA

KNOWLEDGE OF HISTORICAL HERITAGE: BETWEEN SEMANTICS AND ONTOLOGY

S. Mollica

59

ENERGY DIGITAL TWIN: UNA PROCEDURA HBIM PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA NEGLI EDIFICI STORICI

ENERGY DIGITAL TWIN: AN HBIM PROCEDURE FOR ENERGY REDEVELOPMENT IN HISTORIC BUILDINGS

A. Caldarone

71

Curatore del numero Editor in Chief

Tommaso Empler, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Graziano Mario Valenti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Direzione Scientifica Associated Editors

Cecilia Bolognesi, *Politecnico di Milano, Milano, Italy*
Tommaso Empler, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Laura Inzerillo, *Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy*

Sandro Parrinello, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Francesco Ruperto, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Cettina Santagati, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*

Graziano Mario Valenti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Comitato Scientifico Scientific Committee

Pietro Baraton, *Provveditore Interregionale per le OO.PP. Lombardia ed E.Romagna*

Angelo Ciribini, *Presidente ISTE, Università di Brescia, Brescia, Italy*

Bruno Daniotti, *Project Manager InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Alberto Pavan, *Coordinatore norma UNI 11337, Responsabile Scientifico InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Gregorio Cangialosi, *BIM Manager and BIM Strategist, Studio CABE, Torino, Italy*

Anna Dell'Amico, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Emmanuel di Giacomo, *EMEA BIM & AEC Ecosystem Business, France*

Graziano Lento, *Anafyo Sagl, Ticino, Switzerland*

Paolo Galli, *Implementation Consultant BIM, Milano, Italy*

Diego Minato, *BIM Manager & Technical Consultant | BIM Strategist, Treviso, Italy*

Orges Lesh, *BIM Manager, SA Architects, Sdn Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia*

Chiara Rizzarda, *Deputy BIM Manager at Antonio Citterio Patricia Viel, Milano, Italy*

Yoseph Bausola Pagliero, *VPL and BIM expert, Roma/ Torino, Italy*

Armando Casella, *Bimfactory, Brescia, Italy*

Filippo Daniele, *Setin Roma, Italy*
Yusuf Arayici, *Hasan Kalyoncu University, Gaziantep, Turkey*

Maarten Bassier, *University of Leuven, Leuven, Belgium*

Stefano Bertocci, *Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italy*

Carlo Bianchini, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Maurizio Bocconcino, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Frédéric Bosché, *Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom*

Stefano Brusaporci, *Università degli Studi dell'Aquila, L'Aquila, Italy*

Clark Cory, *Purdue University, Indianapolis, USA*

Livio De Luca, *MAP/CNRS, Marseilles, France*

Antonella Di Luggo, *Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy*

Stephen Fai, *Carleton University, Ottawa, Canada*

Pablo Lorenzo Eiroa, *Cooper Union, New York, USA*

Andrea Giordano, *Università degli Studi di Padova, Padova, Italy*

Antonio Gómez-Blanco Pontes, *Universidad de Granada, Granada, Spain*

Sorin Hermon, *Cyprus Institute, Nicosia, Cyprus*

Arto Kiviniemi, *University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom*

Giovanna Massari, *Università degli Studi di Trento, Trento, Italy*

Maurice Murphy, *Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland*

Anna Osello, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Francesco Livio Rossini, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Livio Sacchi, *Università degli Studi "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara, Italy*

Andrew Sanders, *Penn University, Philadelphia, USA*

Alberto Sdegno, *Università degli Studi di Trieste, Trieste, Italy*

Jose Pedro Sousa, *Universidade do Porto, Porto, Portugal*

Massimo Stefani, *Harpaeas*

Comitato Editoriale Editorial Committee

Alexandra Fusinetti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Maria Laura Rossi, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

Papers are published under double blind review mode.

Editore

Direttore responsabile: Giuseppe Rufo

Progetto grafico: Ottavia Menzio, Alexandra Fusinetti. Copyright DEI Tipografia del Genio Civile, numero 1/2017 Direzione, Redazione e Pubblicità tel. 06/4416371 Ufficio Abbonamenti tel. 06/44163767 - 06/4416371 Fax 06/4403307 Periodico semestrale: Abbonamento annuo (2 numeri) 30,00 €: c/cp n. 65047003 intestato a: DEI Srl Tipografia del Genio Civile, via Cavour 179/A 00184 Roma Bonifico bancario: IT 91 O 03127 050110 0000 0019585 Unipol Banca. La Redazione è grata a tutti coloro che vorranno collaborare. I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono. Le opinioni espresse dagli Autori non impegnano la rivista. Eventuali errori o imprecisioni non comportano responsabilità della Casa Editrice e della Direzione che ha posto comunemente la massima cura nella revisione dei testi e nella realizzazione dell'opera.

www.dienne.org



La documentazione dei canali nella piana pavese. Esperienze di rilevamento con tecnologia SLAM per lo sviluppo di modelli informativi

Documentation of the waterways in the pavia flat land. Experience in detection with SLAM technology for the development of information models

Sandro Parrinello, Silvia La Placa

Università degli Studi di Pavia, DICAr – Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

sandro.parrinello@unipv.it, silvia.laplaca@unipv.it

Abstract

Ambizione della ricerca, promossa dal Laboratorio DA-da-LAB dell'Università di Pavia, è strutturare una metodologia e un protocollo operativo per ottimizzare le diverse fasi che caratterizzano la documentazione e la rappresentazione grafica tridimensionale dei territori agricoli della piana e delle loro reti di canalizzazione attraverso sistemi informativi. Vengono valutate le procedure più efficaci per la generazione di modelli affidabili e di rispondenza infografica attraverso la costruzione di atlanti digitali sugli elementi che costituiscono il paesaggio. Il risultato vuole essere un prodotto utile a promuovere la conoscenza del territorio, dalla cui consistenza, qualificabile in un *corpus* documentario composto da modelli, dati censuari e più in generale da sistemi informativi connessi alle nuvole di punti e ai rilievi 3D, si possano desumere informazioni tecniche, funzionali alle amministrazioni e ai consorzi allo scopo di una semplificazione e di un miglioramento della gestione, con vantaggi economici e produttivi.

Key Words

3D urban scene modeling, SLAM Survey, scan-to-bim, H-BIM infrastructure, Canalization.

Un sistema idrico e paesaggistico

Il paesaggio agricolo della piana pavese nel periodo invernale nasconde le numerose canalizzazioni che diversamente, in primavera e in estate, si manifestano trasformando la pianura in una distesa di specchi d'acqua contigui. A sottolineare le geometrie dei solchi durante tutto l'anno rimangono le formazioni vegetali che trovano sviluppo prevalentemente sugli argini (Fig. 1).

Abstract

The research, promoted by the DA-da-LAB Laboratory of the University of Pavia, aims to structure a methodology and an operational protocol for the documentation of water canals in the Pavia territory. This protocol appears necessary to optimize the various phases that characterize both the documentation activities and the three-dimensional graphic representation of the agricultural territories of the flat land and their canalization networks through information systems.

The study evaluates the most functional procedures to respect an infographics conformity in the building of reliable 3D models.

The investigation activities see the construction of digital atlases on the elements that constitute the landscape.

The result aims to product an informatic system to promote territory knowledge. This product qualifies as a documentary corpus made up of models, census data, and more generally of information systems connected to point clouds and 3D surveys. The result allows obtaining technical information, functional to administrations and consortia to simplify and improve the management of the territory, with economic and productive advantages.

Key Words

3D urban scene modeling, SLAM Survey, scan-to-bim, H-BIM infrastructure, Canalization.

A water and landscape system

The agricultural flat land of Pavia hides the canalization network in winter; the network of canals is visible in spring and summer, when its operation changes the landscape into an expanse of contiguous water mirrors. The vegetation, which develops mainly on the banks, remains throughout the year to underline the geometries of the irrigation canals (Fig. 1). If water and trees characterize the



Fig.1 Nel paesaggio della piana pavese l'estensione qualifica uno spazio prevalentemente orizzontale solcato dai nastri d'acqua dei canali irrigui. Lo sguardo si focalizza sull'orizzonte in corrispondenza degli argini che separano i diversi appezzamenti agricoli, dove si concentrano filari di alberi. Nelle rare giornate limpide le Alpi incominciano il paesaggio aggiungendo un'informazione sulla quota e sull'estensione verticale.

Fig.1 In the Pavia flat land landscape, the extension qualifies as horizontal space, crossed by the water strips of the irrigation canals. The gaze focuses on the horizon, where the banks separate the different agricultural plots, and where there are rows of trees. The Alps frame the landscape on clear days by adding information on altitude and vertical extension.

Se l'acqua e gli alberi connotano il paesaggio da un punto di vista ecologico e naturalistico, i manufatti idraulici distribuiti sul territorio (dalle conche sui Navigli alle chiuse lungo i canali), progettati e realizzati nei secoli¹ lo caratterizzano per importanza storica e culturale (Fig. 2). Il paesaggio storicizzato, costituito da tali impianti, rappresenta un patrimonio che richiede oggi la definizione di opportune documentazioni per supportare lo sviluppo di strategie di gestione e valorizzazione.

L'estensione, che caratterizza tale fenomeno, e la portata territoriale delle connessioni che queste infrastrutture promuovono, incoraggia l'ordinamento delle molteplici esperienze di indagine in un più complesso inquadramento del sistema. Il patrimonio diffuso e l'identità comune delle diverse rotte culturali che attraversano queste realtà produttive motiva la costruzione di atlanti e sistemi descrittivi funzionali alla creazione di quadri di sintesi per la diversa attribuzione di valori [2]. In particolare dunque alle attività di censimento e di schedatura si aggiungono azioni di rilevamento, condotte con l'intento di definire metodologie speditive per acquisire dati in grado di soddisfare le caratteristiche spaziali ed estensive di tale sistema.

Lo sviluppo di un percorso di conoscenza multidisciplinare² è teso ad accrescere una sensibilità che permetta di racco-

landscape from an ecological and naturalistic point of view, the hydraulic artifacts, distributed throughout the area, characterize it for its historical and cultural importance. These artifacts (hydraulic locks on the canals, hydraulic locks along the canals) have been designed and built over the centuries¹ (Fig. 2).

This infrastructures landscape represents an identity heritage that requires the definition of appropriate documentation activities to support the development of management and enhancement strategies. The extension of the hydraulic landscape and connections invite us to frame the multiple survey experiences in an overall system.

The widespread heritage reveals the common identity of many local cultural routes that cross these productive realities. Construction of atlases and descriptive systems is motivated to understand the specific qualities of a such complex environment for the creation of synthetic frameworks for the different attribution of values [2]. In particular, therefore, in addition to the census and filing activities, survey actions are necessary. These documentation actions aim to define expeditious methodologies to acquire reliable data, which objective is to satisfy the spatial and extensive characteristics of this system.

The development of a multidisciplinary path of knowledge² aims to increase an awareness that allows to collect and highlight even

1_ See Leonardo's period in Lombardy. See [1] Di Tullio, 2020.

2_ This project is part of broader research on the subject of water and hydraulic heritage, promoted by the Department of Civil Engineering and Architecture of the University of Pavia. In particular, professors, researchers, and doctoral students contribute to the survey activities by actively participating in national and international projects. Among these, see the European project Erasmus + KA201 H₂O Map: Innovative Learning by Hydraulic Heritage Mapping. Furthermore, the multidisciplinary nature of the aspects dealt with on the subject is an opportunity for exchanges and discussions with other Departments.

1_ Si veda il periodo di Leonardo in Lombardia Cfr. [1] Di Tullio, 2020.

2_ Il presente progetto si inserisce all'interno di una più ampia ricerca sul tema del patrimonio idrico e idraulico, promossa dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia. In particolare professori,



Fig.2 Le infrastrutture idriche determinano un'ampia rete di canali con elementi idraulici che raccontano la storia e le vicende di questo territorio altamente produttivo. Lo studio si focalizza sulla documentazione di elementi che coprono un arco temporale dalla fine del XVIII secolo ai primi anni del XX secolo.

Fig.2 The water infrastructures determine an extensive network of canals with hydraulic elements. These tell the story and the events of the highly productive territory. The study concerns the documentation of hydraulic features made between the end of the 18th century and the first years of the 20th century

gliere ed evidenziare, nella rappresentazione, anche ciò che non è visibile³, per restituire poi graficamente un paesaggio naturalistico che presenta minime variazioni morfometriche e una stabilitas loci alquanto mutevole. Campi, coltivi, argini e fondali mutano con le stagioni e in funzione dei cicli agricoli cui sono sottoposti. Occorre operare una lettura graduale tesa a definire dei limiti per discretizzare una struttura funzionale al ridisegno di tale sistema paesaggistico, interpretando e selezionando le informazioni più significative da restituire in relazione agli obiettivi preposti, sia quelli di analisi, che quelli di leggibilità e fruibilità della rappresentazione⁴.

ricercatori e dottorandi contribuiscono alle attività di indagine partecipando attivamente a progetti nazionali ed internazionali. Tra questi si veda il progetto europeo Erasmus+ KA201 HIO Map: Innovative Learning by Hydraulic Heritage Mapping. Inoltre, la multidisciplinarietà degli aspetti trattati sul tema è occasione continua di scambi e confronti con altri Dipartimenti.

3_ Si vedano le tecniche di coltivazione sviluppate in questi luoghi, le modalità di pesca e di sussistenza, l'impiego che avevano i canali maggiori o minori poche centinaia di anni fa e come la vita della città dipendeva e ruotava intorno ad essi (cfr. [3] Chierico, 2019). La modifica di destinazione d'uso dei percorsi idrici artificiali principali ha invertito la tendenza, rendendo marginali questi luoghi e generando un cambiamento percettivo notevole. Si tratta di un patrimonio culturale invisibile ma che segna la città assumendo importanza identitaria.

4_ Ad esempio, volendo disporre di un database tridimensionale per la più efficace e controllata gestione dell'acqua destinata all'irrigazione, sarà importante conoscere inclinazione, verso di scorrimento, presenza stagionale e

what is not visible³ in the representation. The goal is to graphically return a naturalistic landscape, which proposes minimal morphometric variations and changeable stabilitas loci. Fields, crops, banks, and canals change with changing seasons and according to the agricultural cycles to which they are subjected.

It is necessary to operate a gradual reading, which defines the limits to discretize a functional structure, for the redesign of this landscape system. It is necessary to understand and select the most meaningful information, concerning the intended objectives, both those of analysis and those of legibility and usability of the representation⁴.

Some water canals have a constant flow rate, but most have a seasonal operation. The few trees present are distributed, in contiguous rows, along the major irrigation canals. Trees are the only visual borders of the Pavia flat land countryside. Single trees, spar-

3_ *See the cultivation techniques developed in these places, the fishing and subsistence methods, the use that the major or minor canals had a few hundred years ago, and how the city life depended and revolved around them (See [3] Chierico, 2019). The change in the intended use of the main artificial waterways has reversed the trend, making these places marginal and generating a notable perceptual change. It is an invisible cultural heritage but which marks the city assuming identity importance.*

4_ *For example, if you want to have a three-dimensional database for the most effective and controlled management of water for irrigation, it will be important to know the inclination, direction of flow, the seasonal and continuous presence of vegetation inside or on the banks of the canals of a given plot. In this case, the scale of representation need not continue beyond this level of detail.*



Fig. 3 Fotografie scattate durante le fasi di acquisizione. Da sinistra verso destra: rilievo mediante DJI Phantom 4 RTK; impostazione del piano di volo; dettaglio sul target di collegamento tra fotogrammetria close-range e acquisizione laser; documentazione fotografica e rilievo delle conche principali con laser scanner Leica RTC360; rilevamento di un canale con BLK2GO; rilievo degli argini con folta vegetazione mediante laser mobile KAARTA Stencil; acquisizione del target con GPS E-Survey; rilevamento con ZEB Horizon.

Fig. 3 Photographs of the acquisition phases. From left to right: survey by DJI Phantom 4 RTK; flight plan setting; detail on the connection target between close-range photogrammetry and laser acquisition; photographic documentation and survey of the hydraulic basins with Leica RTC360 laser scanner; survey of an irrigation canal with BLK2GO; embankment survey with thick vegetation using KAARTA Stencil mobile laser; target acquisition with GPS E-Survey; survey with ZEB Horizon.

Alcune vene d'acqua sono a portata costante, ma la maggior parte presenta un funzionamento stagionale. Le poche alberature presenti sono distribuite lungo gli scavi maggiori in filari contigui, unici confini visivi della campagna padana. Alberature singole, rade, sveltano a bordo dei campi e, in prossimità di queste, sono collocate piccole opere di attraversamento: strutture in laterizio che affondano nell'acqua dei canali sorreggendo stretti conci in pietra, sufficienti al passaggio di una persona alla volta. Un paesaggio difficile da misurare anche per l'ampia estensione che presenta.

Un database affidabile per la lettura multiscalare del territorio

Le canalizzazioni della piana lombarda, fatta eccezione per le grandi arterie nate per essere navigabili (Navigli), presentano un'ampiezza media da argine ad argine di circa un metro e mezzo e un livello dell'acqua che cambia a seconda della sta-

continuativa di vegetazione all'interno o sugli argini dei canali di un determinato appezzamento.

se, stand out on the edge of the fields. Small crossing works are placed near the trees: brick structures that sink into the water of the canals, supporting narrow stone ashlars, sufficient for the passage of one person at a time. A landscape is difficult to measure even for its large extension.

A reliable database for multiscalar reading of the territory

The canalizations of the Lombard flat land, except the important navigable waterways (Navigli), have an average width from the embankment to the embankment of about one and a half meters. The water level changes, according to seasons, but rarely exceeds 50 cm.

The crossing points are sparse but, with a pair of high boots, it is possible to walk the canals or pass them without difficulty. The survey operator, walking inside canals, can accurately acquire the data relating to the morphology of embankments. Digitally documenting these amphibious systems required a rethinking of current survey techniques. To obtain reliable databases from a metric and material point of view of such large areas, the use of TLS (Terre-

gione, ma che raramente supera i 50 cm. I punti di attraversamento sono radi, ma dotandosi di un paio di stivali alti è possibile percorrere i canali o superarli senza difficoltà. Il rilevatore, camminando all'interno del letto di questi ultimi, riesce ad acquisire con precisione i dati relativi alla morfologia degli argini. Documentare digitalmente questi sistemi anfibio però ha imposto una rivisitazione delle finora comprovate tecniche di rilevamento. Per ottenere database affidabili dal punto di vista metrico e materico di aree tanto vaste, l'impiego di strumenti TLS (*Terrestrial Laser Scanner*) risulta troppo oneroso in termini di tempo e poco funzionale.

L'orizzontalità del paesaggio e la quasi assenza di elementi verticali diviene una criticità nello sviluppo di un sistema di riferimento affidabile generato da sistemi di rilevamento locali e risulta necessario utilizzare strumenti dotati di sistemi GPS integrati. In particolare le azioni di rilevamento si sono concentrate mediante l'impiego di strumentazione mobile orientando la metodologia secondo un principio di integrazione scalare (Fig. 3).

La creazione di un sistema macroscopico di riferimento, costituito da una nuvola di punti estensiva, ha permesso poi di svolgere misurazioni più accurate per quelle aree in cui era necessario raggiungere un livello di dettaglio in relazione agli elementi idraulici presenti. Particolarmente utile l'impiego di droni⁵ [4], che permettono di generare una mappatura efficace e quasi priva di coni d'ombra e, in generale, coprire una vasta area di territorio in tempi relativamente brevi. La tecnologia di tipo fast survey, in questo caso MLS e UAV, consentono di superare le difficoltà relative a una ridotta accessibilità, anche per la presenza di aree con fitta vegetazione a ridosso dei canali, o alla eventuale mancanza di percorsi che permettano di acquisire dati relativi alle coperture dei fabbricati [5], caratteristiche che si ritrovano costantemente nel caso studio presentato. Per i rilevamenti da terra sono stati impiegati tre strumenti. Il *laser* mobile STENCIL KAARTA, che ha risposto bene alla presenza dell'acqua⁶ (Fig. 4), ma ha sofferto la mancanza di punti di riferimento verticali, generando in molti casi nuvole di punti distorte⁷.

5_ Questa ricerca è stata rafforzata in una collaborazione tra DJI Enterprise e l'Università di Pavia per lo sviluppo di attività di ricerca e la promozione delle diverse modalità di utilizzo dei droni per i beni culturali. Tale collaborazione si basa sull'"Accordo per lo sviluppo di attività di ricerca sulla documentazione digitale dei beni culturali e del paesaggio mediante droni" tra il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università degli Studi di Pavia e iFlight Technology Company Limited, firmato nel febbraio 2020, della durata di tre anni. In particolare, per l'acquisizione dati su questo caso studio è stato usato un DJI Phantom RTK.

6_ La presenza dell'acqua può rappresentare un elemento di disturbo per i laser, andando a duplicare o specchiare porzioni di edificato o terreno all'interno della nuvola di punti. Per risolvere questa eventuale problematica sono applicate soluzioni di acquisizione diverse caso per caso (cfr. [6]; [7]).

7_ All'interno del database generato, una porzione della nuvola appare duplicata e sovrapposta ortogonalmente al dato corretto. Pulire la nuvola da questa tipologia di errore risultava molto lento e difficoltoso, in quanto i punti sovrapposti erroneamente presentavano stessa quota altimetrica, rendendo difficile distinguere, nella pulizia della parte centrale, il dato corretto da quello errato, ben visibile invece agli estremi.

trial Laser Scanner) tools is too expensive in terms of time and not very functional.

The horizontal extension of the landscape and the almost absence of vertical elements become critical for the development of a reliable reference system, generated by local detection systems. It is necessary to use tools equipped with integrated GPS systems. In particular, mobile instrumentation was used in the survey actions, orienting the methodology according to a scalar integration principle (Fig. 3).

The creation of a macroscopic reference system, consisting of an extensive point cloud, made it possible to carry out more accurate measurements. These measurements are acquired in areas where there are hydraulic elements, for which it was necessary to reach a higher level of detail. Drones⁵ [4] are particularly useful. These allow to generate an effective and almost shadow-free mapping and to cover a large area in a relatively short time. Fast survey technologies, such as MLS and UAV, make it possible to overcome the difficulties related to reduced accessibility. The presence of areas with dense vegetation close to the canals and the lack of paths that allow the acquisition of data relating to the roofs of the buildings [5] are constant characteristics in the case study presented. Three instruments were used for ground surveys. The mobile laser STENCIL KAARTA, which responded well to the presence of water⁶ (Fig4), but suffered from the lack of vertical reference points, generating, in many cases, distorted point clouds⁷.

The BLK2GO mobile laser scanner, manufactured by Leica Geosystems, is designed for interior surveying and equipped with three integrated cameras and a very efficient use system. This had already been used successfully even in small urban portions, despite having a maximum range of 25 meters⁸, and allowed to detail some specific areas with very accurate data. Geo Slam's ZEB HORIZON instrument (Fig5). During the surveys, targets were specially positioned before each acquisition, to materialize some points in local coordinates within the database. In this way, it was possible to work with known coordinates (WGS) and to integrate data from different instruments (point clouds from TLS or UAVs). The photogrammetric targets chosen are large (50x50 cm) to facilitate

5_ This research was strengthened in a collaboration between DJI Enterprise and the University of Pavia for the development of research activities and the promotion of the different ways of using drones for cultural heritage. This collaboration is based on the "Agreement for the development of research activities on digital documentation of cultural heritage and landscape using drones" between the Department of Civil Engineering and Architecture of the University of Pavia and iFlight Technology Company Limited, signed in February 2020, lasting three years. In particular, a DJI Phantom RTK was used for data acquisition on this case study.

6_ The presence of water can represent a disturbing element for lasers, duplicating or mirroring portions of buildings or land within the point cloud. To solve this possible problem different acquisition solutions are applied on a case-by-case basis (see [6]; [7]).

7_ Within the generated database, a portion of the cloud appears duplicated and orthogonally superimposed on the correct data. Cleaning the cloud from this type of error was very slow and difficult, as the overlapping points mistakenly had the same elevation, making it difficult to distinguish, in cleaning the central part, the correct data from the incorrect one, clearly visible instead at the extremes.

8_ For example, see the acquisition activity in the historic center of Pavia, within the project "Digital documentation and development of the HBIM model of the Castiglioni Brugnatelli College in Pavia" (<http://dadalab.unipv.it/ricerca/le-research/national-research/>)

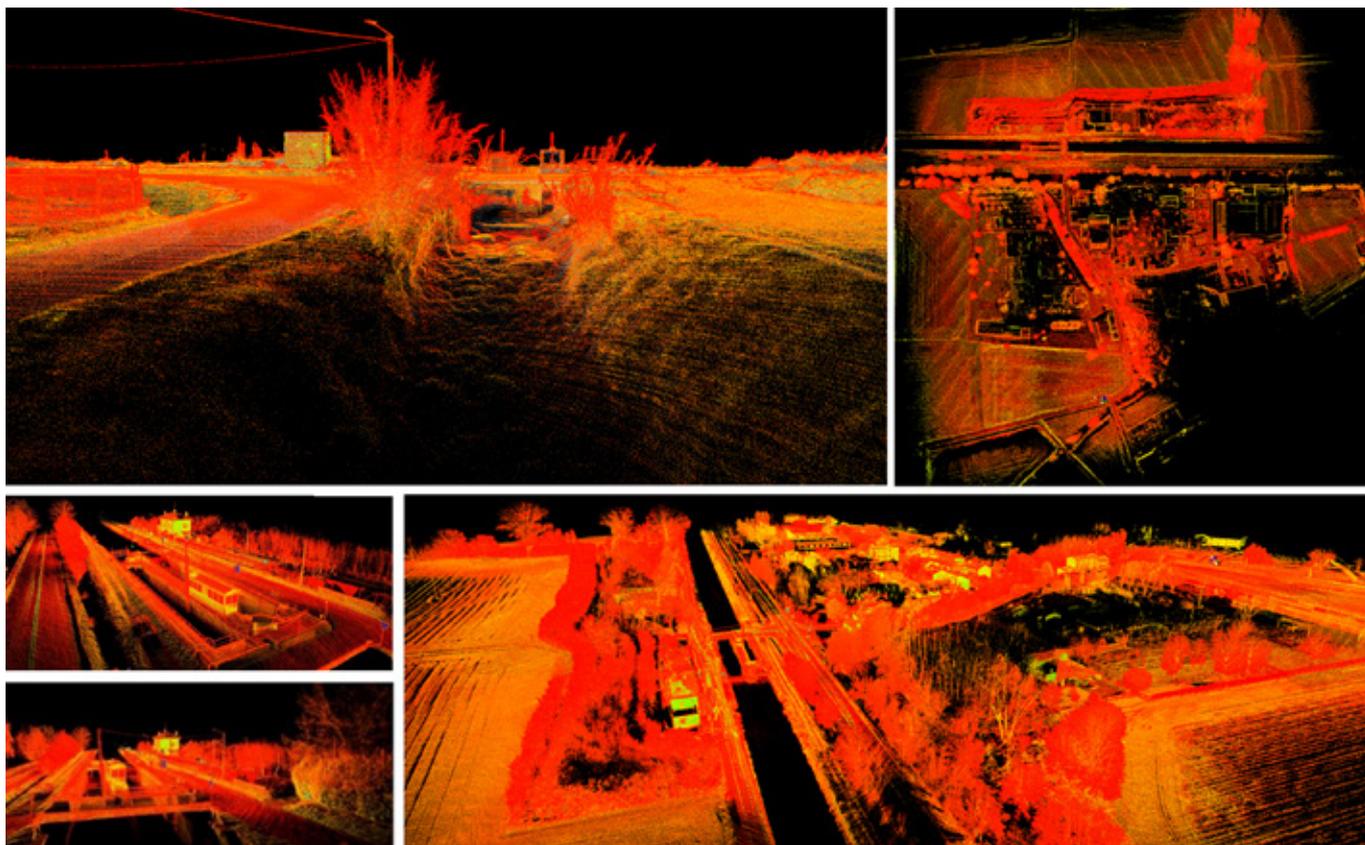


Fig. 4 Nuvole di punti del Naviglio pavese e del paesaggio agricolo della piana ottenute con mobile laser scanner STENCIL KAARTA. La post produzione del dato ha riguardato una pulitura e una conversione dei file generati sul software cloud compare e la registrazione dei percorsi, le scansioni, sul software Cyclone.

Fig. 4 The Naviglio Pavese and the flat land agricultural landscape point cloud obtained with the KAARTA Stencil laser scanner. The data's post-production involved cleaning and converting the files on Cloud Compare software. The scan paths recording was done using the Cyclone software.

Il laser scanner mobile BLK2GO, prodotto da Leica Geosystems, concepito per il rilievo di interni e dotato di una fotocamera integrata e un sistema di utilizzo molto efficiente, che era però già stato impiegato con successo anche in piccole porzioni urbane pur avendo una portata massima di 25 metri⁸, e che ha permesso di dettagliare con dati molto accurati alcune zone specifiche. Lo strumento ZEB HORIZON della Geo Slam⁹ (Fig. 5). Durante i rilievi sono stati appositamente posizionati, prima di ogni acquisizione, target per materializzare all'interno dei database alcuni punti in coordinate locali in modo da lavorare con coordinate note (WGS) e riuscire ad integrare i dati provenienti dai diversi rilievi condotti con differenti strumenti (es. nuvole di punti da TLS o UAVs). Sono stati scelti target fotogrammetrici di grandi dimensioni (50x50 cm) per facilitarne la ripresa da drone e una

8_ Si veda ad esempio l'attività di acquisizione nel centro storico di Pavia, all'interno del progetto "Documentazione digitale e sviluppo del modello HBIM del Collegio Castiglioni Brugnattelli a Pavia" (<http://dadalab.unipv.it/ricerca/le-ricerche/ricerche-nazionali/>)

9_ Per ottimizzare i risultati lo ZEB HORIZON può essere integrato con camera sferica, in modo da ottenere la colorazione della nuvola. Relativamente leggero, è possibile utilizzarlo sia portandolo a mano, sia con apposito kit a spalla: in questo caso abbinandolo con fotocamera e rendendolo fruibile anche muovendosi in bicicletta, per coprire aree particolarmente vaste.

shooting from a drone. The operator strategically positioned targets and then materialized the points on them, both with the mobile lasers and with the GPS E-Survey.

The survey with DJI Phantom RTK (Real-time kinematic positioning)⁹ drone took place in flight plan mode at an average altitude of 35 meters with an image overlap of 70% (Fig. 6).

The acquisition campaign made it possible to obtain databases oriented according to the same reference system (WGS 84, 32N), to create an overall digital space. The data produced were compared, then recorded, and finally tested.

Although the overall point cloud (Fig. 7) was managed within the Cyclone software, numerous software was used for the partial checks. A first comparison test saw the use of Agisoft Metashape software, on which the drone photogrammetry was processed. The chunks, containing the MLS clouds and the UAV clouds respectively, were aligned using the markers. The program allows you to read the composition of the parts. Then it is possible to dissect the three-dimensional model and verify the adherence between the two databases. To verify the reliability numerically and compare the different systems

9_ The RTK technology guarantees a high level of reliability of the drone position concerning the area subject to documentation: it acquires the signals coming from the satellites and replicates them on the receivers of its network, minimizing the measurement error up to reaching an accuracy of about 1 cm.



Fig. 5 In alto nuvole di punti del Naviglio Pavese ottenute con mobile laser scanner ZEB HORIZON. Le scansioni sono state elaborate sul software proprietario GeoSLAM Hub e poi sono state gestite mediante il software cloud compare. In basso nuvole di punti di alcune porzioni di architettonico in prossimità del Naviglio acquisite mediante laser scanner mobile BLK2GO, registrate direttamente in ambiente Cyclone.

Fig. 5 Above: point clouds of the Naviglio Pavese, obtained with a ZEB HORIZON mobile laser scanner. The scans were processed on the proprietary software GeoSLAM Hub and then they were managed using the Cloud Compare software. Below: point clouds of architectural environments near the Naviglio, acquired using a BLK2GO mobile laser scanner, recorded directly in Cyclone software.

volta posizionati strategicamente, sugli stessi sono stati materializzati i punti sia con i *laser* mobile che con il GPS E-Survey.

Il rilievo con drone DJI Phantom RTK (*Real-time kinematic positioning*)¹⁰ è avvenuto in modalità piano di volo ad una quota media di 35 metri con una sovrapposizione delle immagini del 70% (Fig. 6). La campagna di acquisizione ha consentito di ottenere database orientati secondo lo stesso sistema di riferimento (WGS 84, 32N) per realizzare uno spazio digitale complessivo. I dati prodotti sono stati comparati, poi registrati ed infine collaudati.

Nonostante la nuvola di punti complessiva (Fig. 7) sia stata gestita all'interno del *software* Cyclone, per le verifiche parziali sono stati utilizzati numerosi *software*. Una prima prova di comparazione ha visto l'impiego del *software* Agisoft Metashape, sul quale era stata elaborata la fotogrammetria da drone. I *chunk*, contenenti rispettivamente le nuvole da MLS e le nuvole da UAV, sono stati allineati attraverso i *marker* lascian-

in more detail, partial registrations were also made on the Cloud Compare software. The overall database was then divided into contiguous sections, one every 2 meters. By changing the width of the slice (maintained in the various experiments in a range between 5 cm and 30 cm) it was possible to view in detail the difference of adhesion between the control points and at the border of the point clouds¹⁰.

The correspondence of the two databases from a metric point of view was then verified using the "distance computation" command.

The overall point cloud presents a considerable heterogeneity of data, despite the uniformity of the landscape. The portions relating to urban aggregates have a high data density, obtained by integrating the data acquired with mobile tools with the data from scans in a fixed location. The data relating to the areas around the canalizations were instead integrated with precise topographical surveys (Fig. 8).

A catalog of the technological elements of the water system adds to this metric information. The catalog is useful for the collection of information related to architectural qualities. Thus, census action

10_ Il La tecnologia RTK garantisce un elevato livello di affidabilità della posizione del drone rispetto all'area oggetto di documentazione: acquisisce i segnali provenienti dai satelliti e li replica sui ricevitori della propria rete, minimizzando l'errore di misurazione fino a raggiungere un'accuratezza di circa 1 cm.

10_ Within the generated database, a portion of the cloud appears duplicated and orthogonally superimposed on the correct data. Cleaning the cloud from this type of error was very slow and difficult, as the overlapping points mistakenly had the same elevation, making it difficult to distinguish, in cleaning the central part, the correct data from the incorrect one, clearly visible instead at the extremes.



Fig. 6 Viste di nuvole di punti ottenute tramite acquisizione fotogrammetrica close range condotta con drone DJI Phantom 4 RTK. I singoli chunk sono stati allineati mediante software metashape e poi importati direttamente in Cyclone.

Fig. 6 Point cloud views obtained by close-range photogrammetric acquisition conducted with DJI Phantom 4 RTK drone. The individual chunks were aligned using metashape software and then imported directly into Cyclone.

do comunque leggibile la composizione delle sue parti, per poi sezionare il modello tridimensionale in modo da verificare l'aderenza tra i due *database*. Per verificare numericamente l'affidabilità e confrontare in modo più dettagliato i diversi sistemi sono state eseguite delle registrazioni parziali anche sul *software* CloudCompare [8]. I *database* complessivi delle diverse porzioni sono stati quindi articolati in sezioni contigue, una ogni 2 metri. Modificando l'ampiezza della *slice* (mantenuta nelle varie sperimentazioni in un *range* tra i 5 e i 30 cm) è stato possibile visionare in dettaglio la differenza di aderenza tra le nuvole di punti in prossimità dei punti di controllo e non.

Utilizzando il comando "distance computation" è stata poi verificata la corrispondenza dei due *database* dal punto di vista metrico. La nuvola di punti complessiva presenta una notevole eterogeneità di dati, nonostante l'uniformità del paesaggio. Porzioni di aggregati urbani con dati più densi, dove si è provveduto ad integrare il dato mobile con quello ricavato da scansioni a postazione fissa, e aree, specialmente nelle canalizzazioni, dove si è integrato il dato con rilevamenti puntuali topografici (Fig. 8).

A queste informazioni metriche si somma poi una schedatura sviluppata sugli elementi tecnologici del sistema idrico, per la raccolta delle informazioni relative alle qualità del costruito. Anche questa azione di censimento è confluita in un

has been merged into a database, to carry out initial planning of the information to be then transferred to the information system.

□ Development of a landscape information model

The experimentation covered a vast area of the Naviglio Pavese, including the hamlet of Cassinino, near Pavia. In this area, there are all the different criticalities concerning the scalar vision of the survey. The 3D model must represent a small urban core, a system of fields and naturalistic elements, and a dense system of infrastructures, not just roads, which wind along the edge of the town.

To define a parametric modeling criterion for what has been described, the research did not look at a simplistic approximation categorization ordered according to pre-set LODs. The investigation sought to understand which aspects of the landscape were needed to be reproduced in the model (Fig. 9).

The result is a hybrid model, which combines the territory with the construction detail. From this, it is possible to develop different types of outputs. These can support a digital enhancement, as well as a more specific management mechanism. Different levels of modeling have been traced back to the terrain, ordered with an object configuration for fields, embankments, and canals, to the road infrastructures, and the built elements and

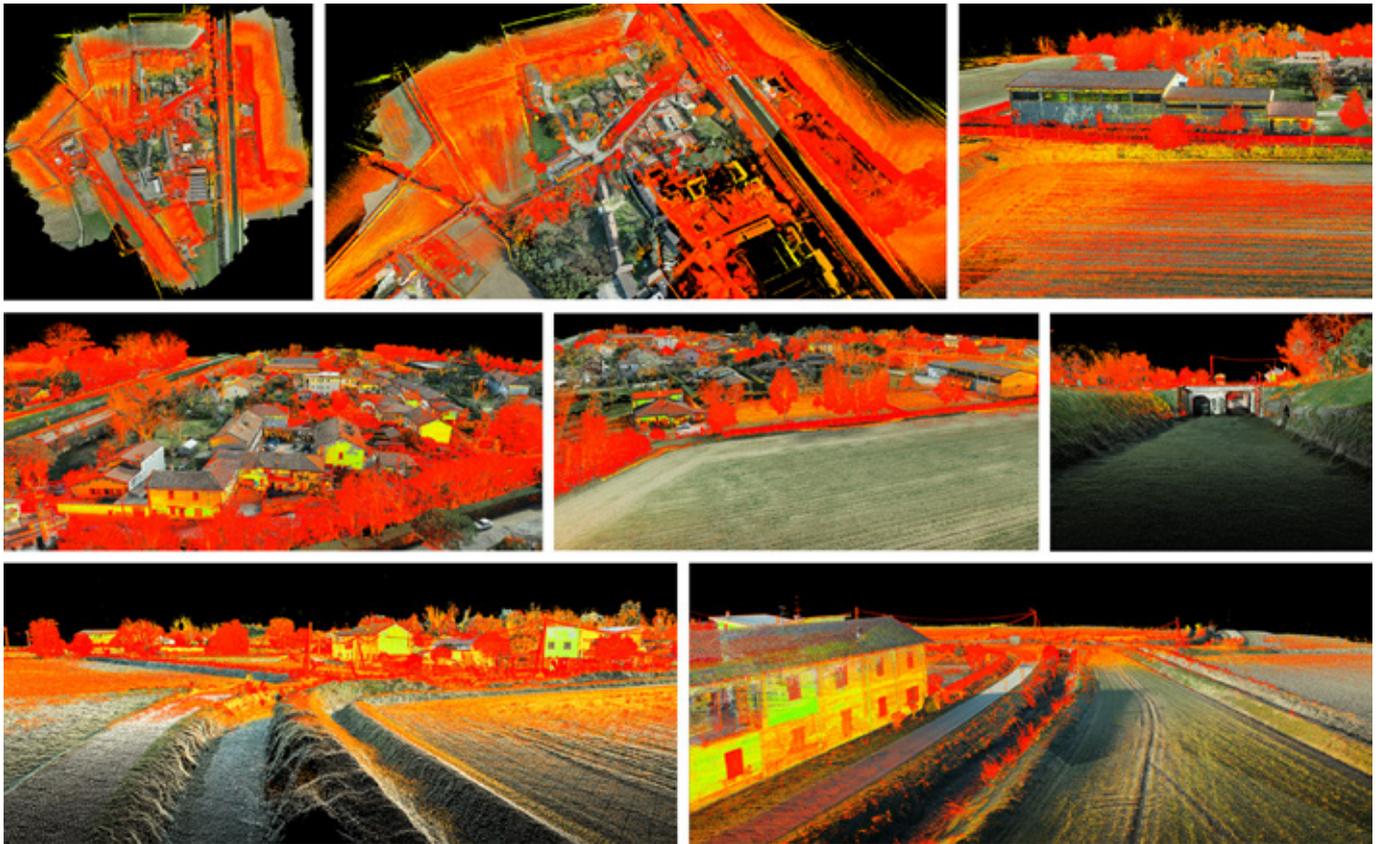


Fig. 7 Integrazione dei dati acquisiti e generazione della nuvola di punti complessiva in corrispondenza della frazione Cassinino.

Fig. 7 The acquired data integration and generation of the overall point cloud of the Cassinino urban fraction.

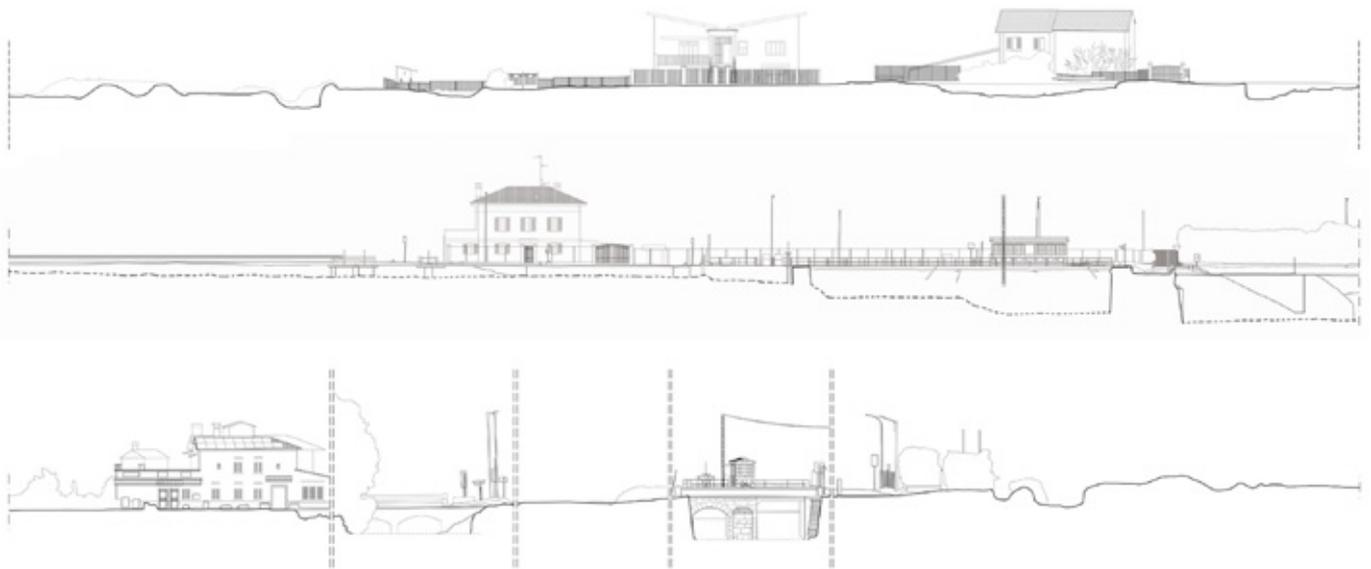


Fig. 8 Sezioni ambientali che inquadrano l'invaso del Naviglio Pavese e dei canali irrigui in corrispondenza della frazione Cassinino a nord di Pavia. Le sezioni, generate dalla nuvola di punti ogni 2 m per verificare l'aderenza delle diverse nuvole e per costruire un DTM generale del terreno, sono state incrementate con disegni e rappresentazioni del costruito con l'obiettivo di studiare i caratteri utili alla qualificazione del paesaggio da trasferire all'interno dei modelli 3D.

Fig. 8 Environmental sections of the Naviglio Pavese and irrigation canals in the Cassinino urban aggregate (north of Pavia). The point cloud slices were set every 2 m, to check the adherence between different clouds and build a general terrain DTM. The sections are enriched with drawings and representations of the built environment. The drawings made it possible to study the main features of the landscape. These characters were then inserted into the 3D models.

database con l'obiettivo di operare una prima progettualità sulle informazioni da trasferire poi nel sistema informativo.

□ Sviluppo di un modello informativo sul paesaggio

La sperimentazione si è concentrata su una vasta zona del Naviglio pavese, includendo la frazione di Cassinino, nei pressi di Pavia. In questa area sono presenti tutte le diverse criticità che includono la visione scalare del rilievo condotto. Il modello 3D deve così rappresentare un piccolo nucleo urbano, un sistema di campi e di elementi naturalistici e un denso sistema di infrastrutture, non solo viarie, che si snodano al margine dell'abitato.

Per definire un criterio di modellazione parametrica di quanto descritto si è immaginato di non orientarsi su una semplicistica categorizzazione di approssimazione ordinata secondo LOD preimpostati, ma cercando piuttosto di capire quali aspetti del paesaggio fosse necessario ripresentare nel modello (Fig. 9).

Il risultato è un modello ibrido, che coniuga il territorio con il dettaglio costruttivo e nel quale sia immaginabile sviluppare diverse tipologie di *output* che possano andare a vantaggio di una valorizzazione digitale, oltre che del più specifico meccanismo di gestione.

I diversi livelli di modellazione sono stati ricondotti al terreno, ordinato con una configurazione ad oggetto per campi, argini e canali, alle infrastrutture viarie ed agli elementi costruiti e di arredo urbano.

La nuvola di punti è stata scomposta per lavorare su porzioni ridotte, in relazione alle classi di oggetti principali, creando così delle attività di modellazione per elementi del costruito, ciascuno dei quali caratterizzato da un numero molto limitato di famiglie. Maggiore attenzione è stata data alle infrastrutture e agli elementi di arredo, immaginando di connettere al sistema informativo anche le specificità dei servizi a rete presenti (azione tuttavia mai completata). Riguardo al terreno una categorizzazione più specifica è stata rivolta ai canali ordinati secondo un criterio di lettura riconducibile alle diverse tipologie, individuate rispetto ad una lettura in sezione, dove è possibile caratterizzare le qualità relative ai diversi argini.

La definizione delle categorie di elementi idraulici, e lo sviluppo di un catalogo di dettagli costruttivi dell'ingegneria idraulica (Figg. 10-11), ha poi prodotto da un lato un sistema di elementi parametrici finiti, utili per il popolamento del modello anche in altre aree del sistema territoriale e, parallelamente, la possibilità di realizzare una mappa complessiva su quanto presente nel territorio, realizzando in un *file excel* condiviso, un censimento degli elementi suddiviso per categoria e posizione.

Il modello è stato impostato utilizzando la condivisione del lavoro in Revit tramite *Collaborative Model Server*. Il metodo di

urban furniture. The point cloud has been divided, concerning the main object classes, to work on small portions. Modeling activities were created for building elements, each of which is characterized by a very limited number of families. Greater attention was given to infrastructures and hydraulic and furnishing elements, imagining to connect the specific features of the network services present to the information system (however this action was never completed). About the terrain, a more specific categorization was addressed to the canals. These have been ordered according to a reading criterion attributable to the different typologies, identified for a sectional reading, where it is possible to characterize the qualities relating to the different embankments.

The definition of the categories of hydraulic elements, and the development of a catalog of construction details of hydraulic engineering (Figg. 10-11), have produced: on the one hand, a system of finite parametric elements, useful for the population of the model also in other areas of the territorial system; at the same time, the possibility of creating an overall map of what is in the territory, creating a census of the elements, divided by category and position in a shared excel file.

The model was set up using Worksharing in Revit via Collaborative Model Server. The work-sharing method allows multiple users to share and collaborate in a coordinated way, to develop the model in a single workspace.¹¹ [9] This also made it possible to monitor the various development phases of the model components, highlighting the modeled elements, those loaded into the project, and those subjected to final cloud/model adherence validation and compliance verification [10].

□ Conclusions

The proposed experimentation constitutes an example of hybridization between a BIM land and an H-BIM. This research proposes a solution of visualization and representation of the territory, through a typical BIM analysis and development on the architectural scale. The adherence of the model to the point cloud is certified by scan-to-bim procedures, for which each element was created respecting the metric information obtained from the survey. The different descriptors involved, classified and categorized into families, help to report thematic maps on the landscape.

We tried to manage BIM as if we were working on a GIS, at least at the project level of the information system. We imagine that this promiscuity can then generate new levels of synthesis for the management of the heritage [11]. The level reached is certainly convincing on the representative qualities of the model and leaves space for experimentation to verify how thematic maps or tools for narrating the landscape of the canals can contribute to the enhancement of this heritage.

About the implementation of the model, further experimentation is necessary to better qualify the dynamic information. On the one hand, the categorization of agricultural areas, with data relating to the different actions carried out over time, also concer-

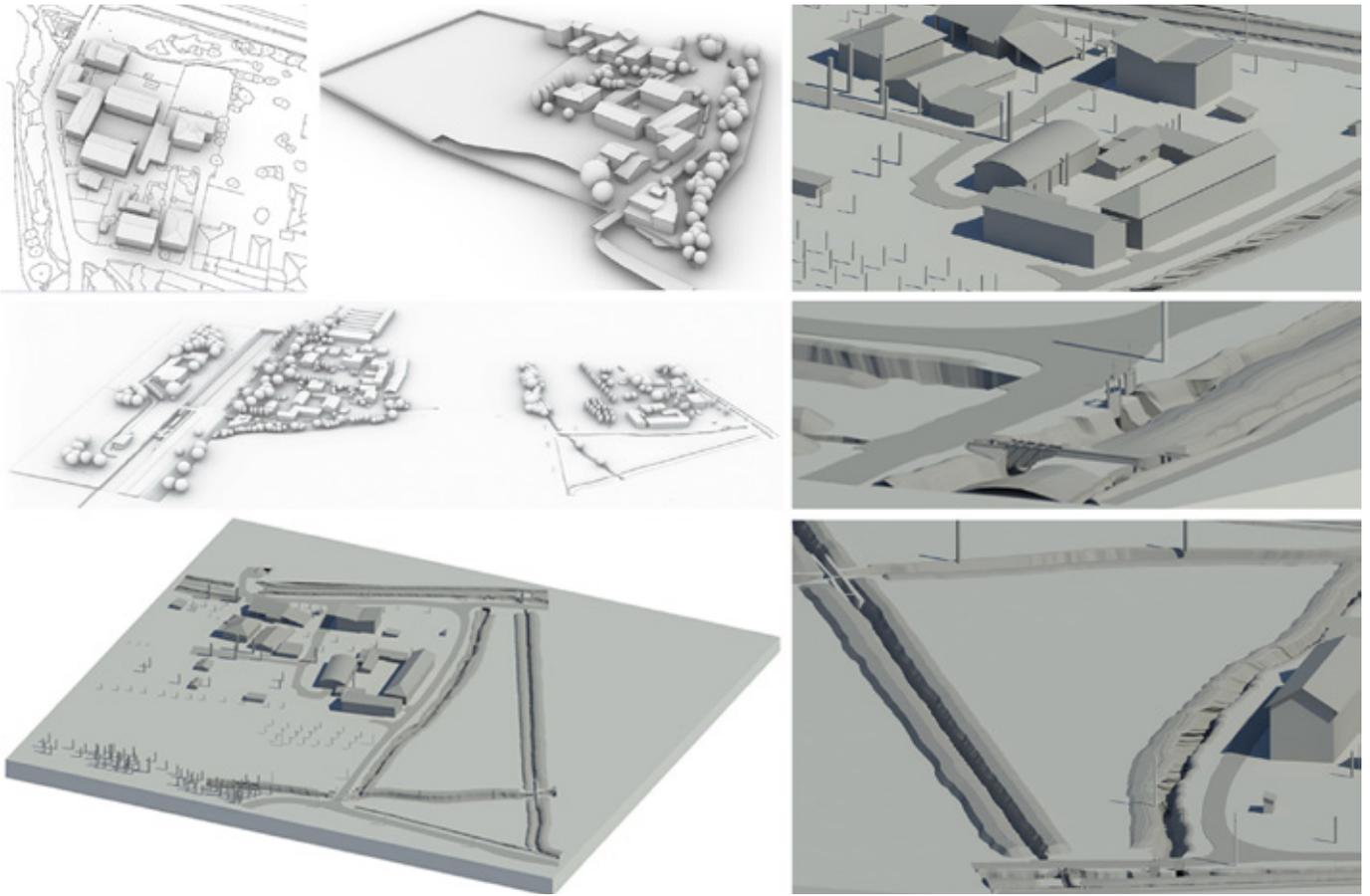


Fig. 9 Modellazione parametrica di una porzione del terreno contenente campi, argini, canali, infrastrutture viarie e un piccolo aggregato urbano per la definizione dei livelli di approssimazione e caratterizzazione del sistema informativo.

Fig. 9 Parametric modeling of an area containing fields, embankments, canals, road infrastructures and a small urban aggregate. Modeling aims to define the levels of approximation and characterize the information system.

condivisione del lavoro consente a più utenti di condividere e collaborare in modo coordinato per sviluppare il modello in un unico ambiente di lavoro.¹¹ [9] Ciò ha consentito anche di monitorare le varie fasi di sviluppo delle componenti del modello, evidenziando gli elementi modellati, quelli caricati nel progetto, e quelli sottoposti a validazione finale di aderenza cloud/modello e verifica di conformità [10].

□ Conclusioni

La sperimentazione proposta costituisce un esempio di ibridazione tra un BIM land ed un H-BIM in quanto propone una soluzione di visualizzazione e rappresentazione del territorio condotta con un criterio di analisi e di sviluppo che è genericamente proprio del BIM alla scala architettonica, sull'esistente.

L'aderenza del modello alla nuvola di punti, certificata dalle procedure *scan-to-bim* per le quali ciascun elemento è stato realizzato rispettando le informazioni metriche desunte dal rilievo, si unisce ad una classificazione e categorizzazione di famiglie dove i diversi descrittori coinvolti possono contribuire a riportare mappe tematiche sul paesaggio. In un certo senso si è cer-

ning the seasonal treatment and work schedules relating to the different plots, on the other, the monitoring of water paths.

One of the next steps is to connect the digital platform with active sensors arranged along the main channels, some already present. The objective is to define how the model can be an active interlocutor for possible monitoring.

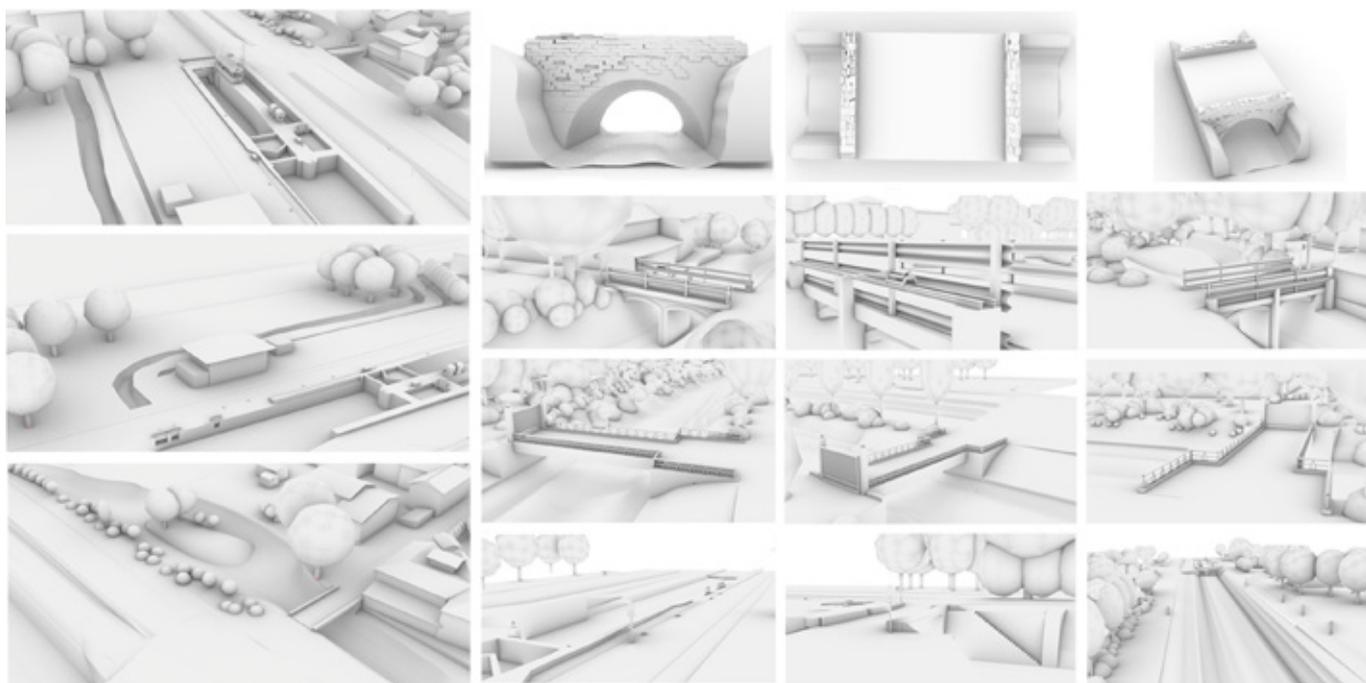


Fig. 10 Dettaglio sulla modellazione BIM delle infrastrutture, dei ponti e degli elementi strettamente connessi al patrimonio idrico.

Fig. 10 Detail on the BIM modeling of infrastructures, bridges, and elements strictly connected to the water heritage.

cato di trattare il BIM come se stessi lavorando su un GIS, quantomeno a livello di progetto del sistema informativo, immaginando che tale promiscuità potesse poi generare nuovi livelli di sintesi per la gestione del patrimonio [11]. Il livello raggiunto è certamente convincente sulle qualità rappresentative del modello e lascia ampi spazi di sperimentazione per verificare come certe mappe tematiche o strumenti di racconto del paesaggio dei navigli possono contribuire alla valorizzazione di questo patrimonio. Riguardo all'implementazione del modello si rende necessaria un'ulteriore sperimentazione che possa qualificarne meglio le informazioni dinamiche. Da un lato la categorizzazione delle aree agricole con dati che riguardano le diverse azioni condotte nel tempo, anche rispetto al trattamento stagionale e alle tempistiche di lavoro relative ai diversi appezzamenti, dall'altro il monitoraggio dei percorsi dell'acqua. Uno dei prossimi passi è quello di connettere la piattaforma digitale con sensori attivi disposti lungo i canali principali, alcuni già presenti, per definire come il modello possa configurarsi interlocutore attivo dei possibili monitoraggi.

□ Bibliografia / References

[1] Di Tullio M. (2020). Un paesaggio domesticato. Uomini e ambiente nella pianura lombarda ai tempi di Leonardo. In E. Lissoni, L. Molino (a cura di). *L'acqua che tocchi. Leonardo anima e materia*, pp. 70 -73, 78 – 83 Pavia: Silvana Editoriale. ISBN 978-88-3664-51-21.

[2] Bertocci, S., Bigongiari, M., Ricciarini, M. (2019). Digital survey for landscape knowledge: Garfagnana case studies for tourism development and Versilia case study for hydraulic analysis. In: DISEGNARECON, *Drawing the territory and the landscape*. Vol. 12/n.22 - Giugno 2019, ISSN 1828-5961, DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.22.2019.3>.

[3] Chierico, P.V. (2019). *Il Naviglio di Pavia 1819 – 2019 Duecento anni di storia, aneddoti, immagini e curiosità in cento schede illustrate*. Pavia: PI-ME Editrice S.r.l.. ISBN 978-88-7963-412-0.

[4] Parrinello, S., Picchio, F. (2019). Integration and Comparison of Close Range SfM methodologies for the analysis and the development of the historical city center of Bethlehem. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLII-2/W9, p. 589-595, ISPRS, Bergamo, 6-7-8 febbraio 2019, ISSN 1682-1777, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-589-2019.

[5] Dell'Amico, A., La Placa, S. (2019). L'applicazione di tecnologie SLAM per il rilevamento di grandi complessi fortificati. In: Sandro Parrinello; Francesca Picchio. *Dalmazia e Montenegro. Le fortificazioni Venete nel bacino del Mediterraneo Orientale. Procedure per la conoscenza e la Documentazione Digitale del Patrimonio Storico Fortificato*. pp. 21-29, Pavia: Pavia University Press, ISBN 9788869521379.

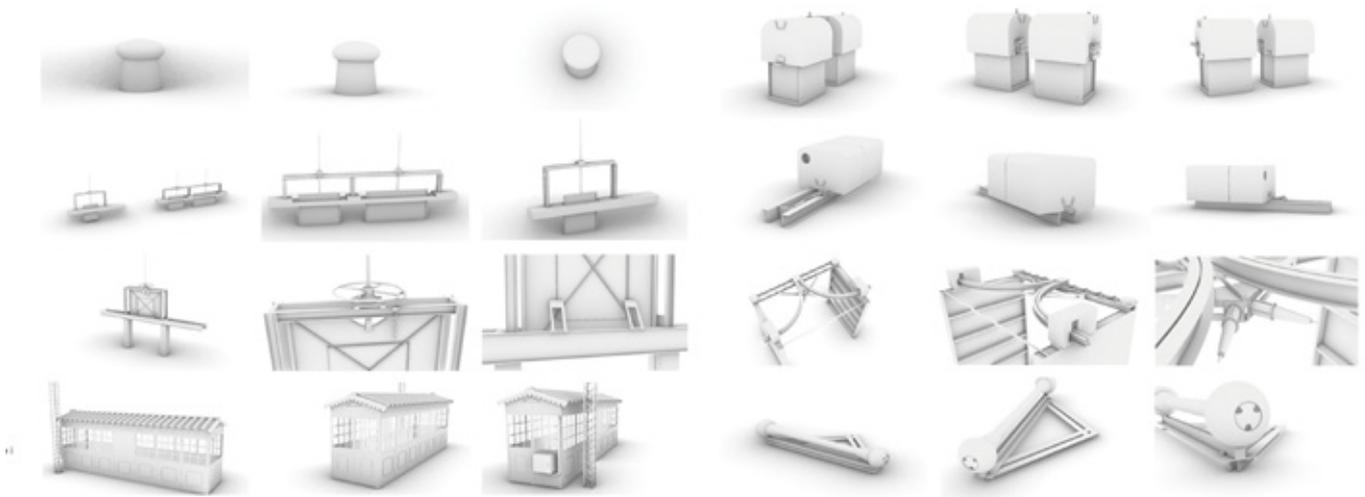


Fig. 11 Modellazione BIM degli elementi idraulici storici ancora collocati sulle conche del Naviglio Pavese. I modelli sono stati importati sul software Rhinoceros per ottimizzarne le visualizzazioni.

Fig. 11 BIM modeling of the historical hydraulic elements still located on the Naviglio Pavese hydraulic basins. The models have been imported into Rhinoceros software to optimize their visualization.

[6] Dell’Amico, A. (2020). The application of fast survey technologies for urban surveying: the documentation of the historic center of Santa Cruz de Mompox. In: Barba S., Parrinello S., Limongiello M., Dell’Amico, A., (eds) D-SITE Drones - Systems of Information on cultural hEritage. For a spatial and social investigation. pp. 132-141, Pavia: Pavia University Press, ISBN 978-88-6952-120-1.

[7] Dell’Amico, A. (2021). Mobile Laser Scanner Mapping System’s for the Efficiency of the Survey and Representation Processes. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XLVI-M-1-2021, pp. 199–205, ISSN 1682-1777, doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-199-2021>.

[8] Sammartano, G., Spanò, A. (2018). Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition. In: Applied Geomatics. Vol. 10, pp. 317–339, ISSN 1866-928X, doi: <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>.

[9] Dell’Amico, A. (2020). H-BIM: information flows and data digitization process. In: Dienne. Vol.7/2020, pp. 54-67, ISSN 2610-8755.

[10] Di Giuda, G. M. (a cura di), (2019). Introduzione al BIM: Protocolli di modellazione e gestione informativa. Bologna: Società Editrice Esculapio, ISBN 978-8893851343.

[11] 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. Vol. 13, Issue 2, pp. 1-7, ISSN 2090-4479, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.08.009>.