

# Procedure di rilievo tridimensionale integrato per la documentazione digitale e il progetto di trasformazione del tipo architettonico palazzo nei centri storici urbani

Digital documentation, recovery and restoration of Italian "palazzo" in the historical city centers through integrated 3D survey procedures

Fabiana Raco  
Guido Galvani

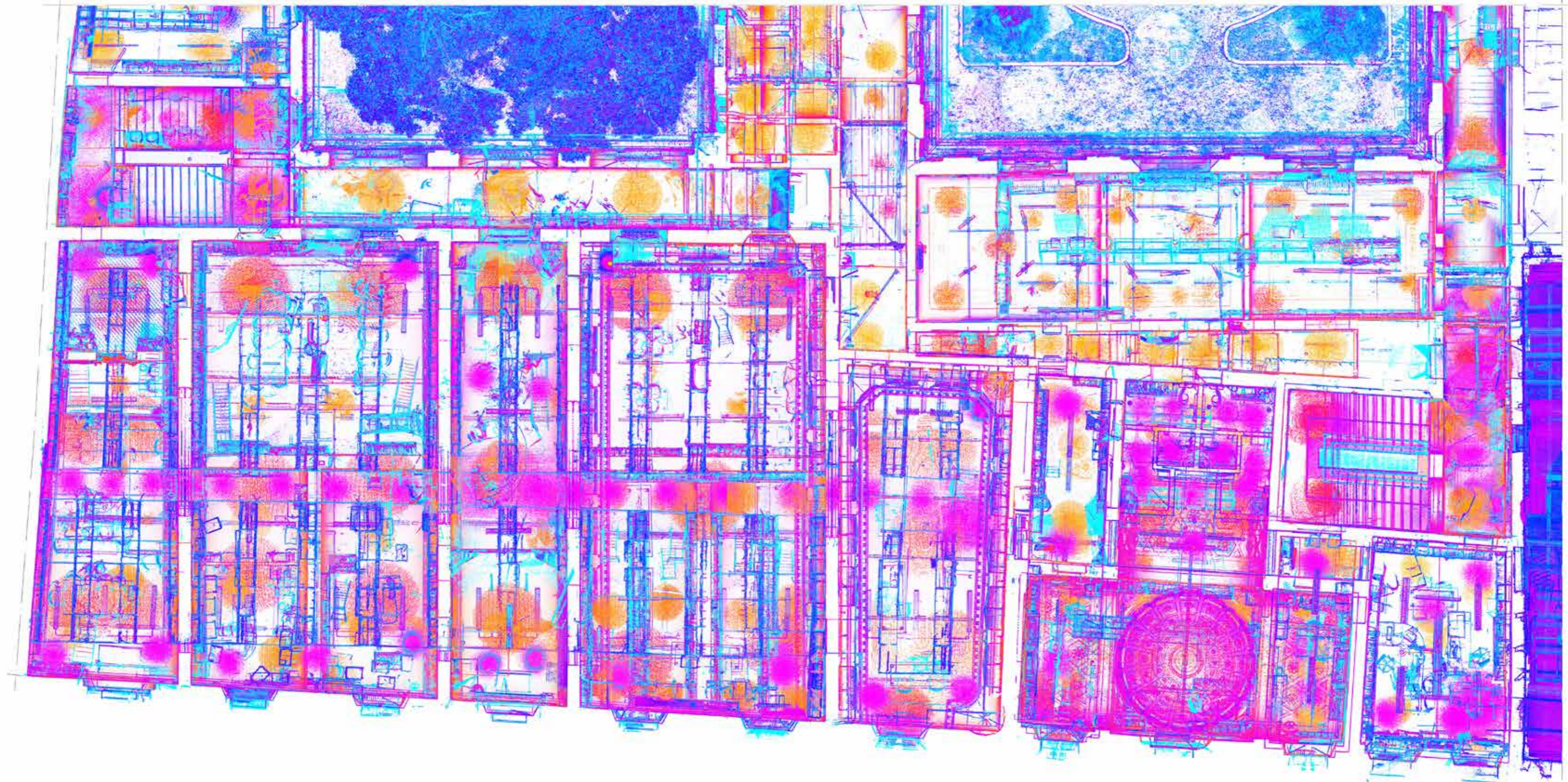
La documentazione digitale dell'architettura del Palazzo del Podestà a Mantova, di Palazzo Arese Litta a Milano e di Palazzo del Merenda a Forlì è un esempio di applicazione di procedure integrate di rilievo tridimensionale finalizzate al progetto e alla gestione dell'intervento sul patrimonio esistente.

*The digital documentation of the architecture of Palazzo del Podestà in Mantua, Palazzo Arese Litta in Milan and Palazzo del Merenda in Forlì is an example of the application of integrated three-dimensional survey procedures aimed at the design and management of the intervention on the built heritage.*

Rilievo digitale integrato di Palazzo Merenda, Forlì. Scalone monumentale. TekneHub-DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara

3D integrated digital survey of Palazzo Merenda, Forlì. Historical staircase. TekneHub-DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara





La documentazione digitale dell'architettura costruita rappresenta uno strumento strategico a favore dell'innovazione del progetto e della gestione del patrimonio costruito esistente, in particolare se finalizzata all'applicazione di strumenti integrati di modellazione avanzata, quali ad esempio gli strumenti di *Building Information Modeling*, e all'utilizzo di piattaforme collaborative di visualizzazione, interrogazione e gestione dei dati. I casi studio del Palazzo del Podestà a Mantova, di Palazzo Arese Litta a Milano e di Palazzo del Merenda a Forlì evidenziano il rapporto tra procedure integrate di rilievo tridimensionale, obiettivi specifici

Palazzo Merenda, Forlì: rilievo tridimensionale del piano nobile. TekneHub-DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara

Palazzo Merenda, Forlì: main floor (piano nobile), 3D survey. TekneHub-DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara

del progetto di intervento quali il miglioramento energetico del costruito esistente, analogo per complessità al progetto di miglioramento della vulnerabilità sismica, o di conoscenza per il progetto di restauro conservativo e la gestione digitale di un oggetto architettonico complesso per dimensioni, geometria e destinazioni d'uso.

#### Inquadramento: finalità e processo

Lo studio e la conoscenza, attraverso il rilievo e la misura, del progetto realizzato è un momento di fondamentale importanza non solo ai fini della comprensione dell'architettura "nella sua consistenza

organica e nelle sue varie fasi" [1], ma anche in rapporto allo spazio urbano e di relazioni che caratterizzano il tessuto stratificato dei centri storici nel quale essa si inserisce, si modifica o è trasformata per accogliere usi diversi da quelli originariamente concepiti, con l'intento di reinserirla in un nuovo "ciclo edilizio" [2].

Il tipo architettonico del palazzo presenta caratteristiche morfologiche e distributive nonché dimensioni spesso paragonabili a quelle di un isolato urbano, tali da richiedere un progetto di rilievo dedicato e la definizione preliminare di criteri di gerarchizzazione dell'informazione, in aggiunta

ai parametri connessi alle diverse finalità del progetto: nuova destinazione d'uso; miglioramento dell'efficienza energetica; miglioramento sismico; abbattimento delle barriere architettoniche; conservazione e restauro. Similmente è conseguenza dei caratteri propri del tipo palazzo-brano di tessuto urbano storicizzato- la vocazione a accogliere, attraverso interventi più compatibili se paragonati a quelli resi necessari per altre tipologie architettoniche, funzioni diverse, pubbliche o private, da quelle d'origine. Il corpo principale caratterizzato dalla facciata monumentale nel suo rapporto con il maggiore





sistema distributivo verticale, spesso di tipo monumentale, e con la corte principale è, come nel caso di Palazzo Arese Litta a Milano, il primo e più importante elemento di relazione con il tessuto urbano, così come lo studio dei suoi caratteri geometrici e proporzionali in rapporto alle caratteristiche morfologiche, di continuità dei fronti urbani adiacenti e prospicienti e della sezione stradale si pone alla base dello studio delle trasformazioni della città.

Il carattere monumentale del fronte principale e degli spazi interni quali il Piano Nobile richiede, come avvenuto per il seicentesco palazzo nobiliare voluto dal Conte Bartolomeo Arese, un progetto di rilievo specifico in quanto finalizzato a costituire la base conoscitiva per la definizione delle modalità operative dell'intervento.

Palazzo Litta conserva infatti, pur nei passaggi a diverse destinazioni d'uso da palazzo nobiliare a sede della Società Ferroviaria Alta Italia prima e Ferrovie Italiane poi, i caratteri dell'impianto originario.

Palazzo Arese Litta, Milano: corte interna

Palazzo Arese Litta, Milan: historical courtyard

Divenuto infine proprietà del Demanio dello Stato è consegnato al Ministero per i Beni e le Attività Culturali per divenire sede degli uffici ministeriali della Lombardia che ne definisce gli obiettivi di intervento di conservazione, restauro e in parte rifunzionalizzazione.

Accanto alle caratteristiche del luogo e dell'architettura, la tipologia di committenza e le finalità del progetto hanno determinato le scelte strumentali e l'organizzazione e gerarchia della banca dati informativa ai fini della sua accessibilità.

In contesti di elevata densità informativa come quelli descritti l'esecuzione del rilievo tridimensionale richiede un numero estremamente elevato di stazioni, ottimizzato attraverso l'accurata esecuzione di poligonali principali e di secondo e terzo livello, come nel caso del rilievo del Palazzo del Podestà a Mantova.

Complessivamente sono state eseguite circa 400 stazioni per Palazzo del Podestà, 647 per Palazzo del Merenda a Forlì e 600 per Palazzo Arese Litta a

Digital documentation of the historical buildings provides both professionals and public administration with new opportunities to innovate project and management of the built heritage, with particular reference to the application of integrated advanced modeling tools, such as Building Information Modeling tools, and at the use of collaborative platforms for visualization, querying and data management. The case studies of the Palazzo del Podestà in Mantua, the

Palazzo Arese Litta in Milan and the Palazzo del Merenda in Forlì highlight the relation among 3D integrated survey procedures, specific objectives of the project, such as the energy performance improvement, which is as much complex as the seismic vulnerability improvement project, the restoration project and digital management of complex buildings.

State of the art: purposes and process

Studying and deepening the knowledge of the built heritage, through 3D survey and measurement, is a fundamental phase in order to both understand architecture "in its organic consistency and modifications over the time" [1] and to point out the relation between built heritage and urban space characteristics and stratification, with the aim of designing a new "building

cycle" [2].

The architecture of Italian "palazzo" is characterized by morphological and distributive characteristics as well as dimensions often comparable to those of an urban block, such as to require a specific survey project and the preliminary definition of information hierarchy criteria, in addition to the parameters related to the project purposes: new use; energy retrofit; seismic retrofit; removal of the architectural barriers; conservation and

restoration.

Similarly, the reuse of the built heritage, such as the "palazzo" architectural type, is a consequence of both the "vocation" of the place and the characteristics of the building.

The main body of the Italian palazzo is characterized by the monumental facade, which has a direct relation with the major vertical distribution system, often of monumental type, and with the main courtyard, such as in Palazzo Arese Litta in Milan.

Milano tali da richiedere, in fase di progetto di rilievo, la codifica e di un'apposita nomenclatura che le renda accessibili anche in fase di interrogazione da target diversi di utenza.

Il progetto di rilievo considera inoltre, in questo caso come negli altri esempi riportati, l'articolazione nel tempo dei diversi corpi di fabbrica che compongono il complesso architettonico.

Lo sviluppo del tipo architettonico palazzo nella direzione della profondità del lotto è articolato secondo una gerarchia di spazi privati e semipubblici, le corti, già all'origine concepiti per servire funzioni integrate e collegate dai diversi sistemi distributivi verticali, secondo lo sviluppo plano-altimetrico dell'edificio, che si articola su diversi livelli principali e piani ammezzati, e le caratteristiche topografiche della città. Allo stesso modo soluzioni morfologiche e sistemi costruttivi differenti sono contestualmente adottati, nel progetto e nella costruzione del palazzo, per rispondere a funzioni diverse, ma integrate.

Un sistema complesso di stratificazioni dunque dal quale deriva un'ingente quantità di dati di tipologia diversa [3], la cui lettura diacronica costituisce un utile archivio della memoria geometrica dell'architettura e dell'edilizia storica, funzionale alle costanti e necessarie azioni di prevenzione e miglioramento che la fragilità del costruito esistente continua a evidenziare [4]. I casi studio del Palazzo del Podestà a Mantova [5], di Palazzo Arese Litta a Milano [6] e di Palazzo del Merenda a Forlì [7] ben evidenziano i rapporti di reciproca relazione tra l'architettura e la compatibilità con usi diversi, la lettura e comprensione dei quali si traduce nei criteri di esecuzione del rilievo e di gerarchizzazione del dato rilevato, al fine della sua gestione e

implementazione nel tempo.

La comprensione del tipo architettonico in rapporto al progetto guida il progetto di rilievo allo stesso modo in cui le caratteristiche morfologiche e dimensionali definiscono i criteri di ottimizzazione delle procedure di rilievo tridimensionale e le tecnologie impiegate.

## Scelte metodologiche e strumentali per il rilievo integrato dei centri storici

Un rilievo volumetricamente importante, quantitativamente e qualitativamente, richiede un progetto che renda efficiente il suo svolgimento, in ogni sua fase operativa [8], così come sostenibile la fase successiva di gestione e interrogazione del dato in rapporto alle dotazioni hardware e software disponibili e accessibili, in particolare, alla committenza.

Nei casi studio descritti la committenza si presenta pubblica, la quale esprime necessità di livelli di conoscenza e approfondimento successivi secondo un approccio multiscalare spesso correlato, ma non esclusivamente, alla complessità geometrica morfologica del complesso architettonico.

Un simile approccio non è infatti da intendersi connesso unicamente a finalità conoscitive per il progetto di restauro conservativo, come nel caso di Palazzo Arese Litta, ma si esprime come esigenza primaria anche nel rilievo del Palazzo del Merenda a Forlì finalizzato alla conoscenza per il progetto di miglioramento energetico del patrimonio costruito esistente di proprietà comunale.

Se nel primo caso infatti le acquisizioni morfometriche di dettaglio sono finalizzate alla comprensione di come le configurazioni geometrico-

The main courtyard represent the first and most important element of relation with the urban tissue, as well as the study of its geometric and proportional characteristics in relation to the morphological characteristics of the facade, whose continuity of the urban front and cross urban section is at the basis of the study of the of the city transformation. The monumental character of the main floor such as the piano nobile requires, as in the case study of the

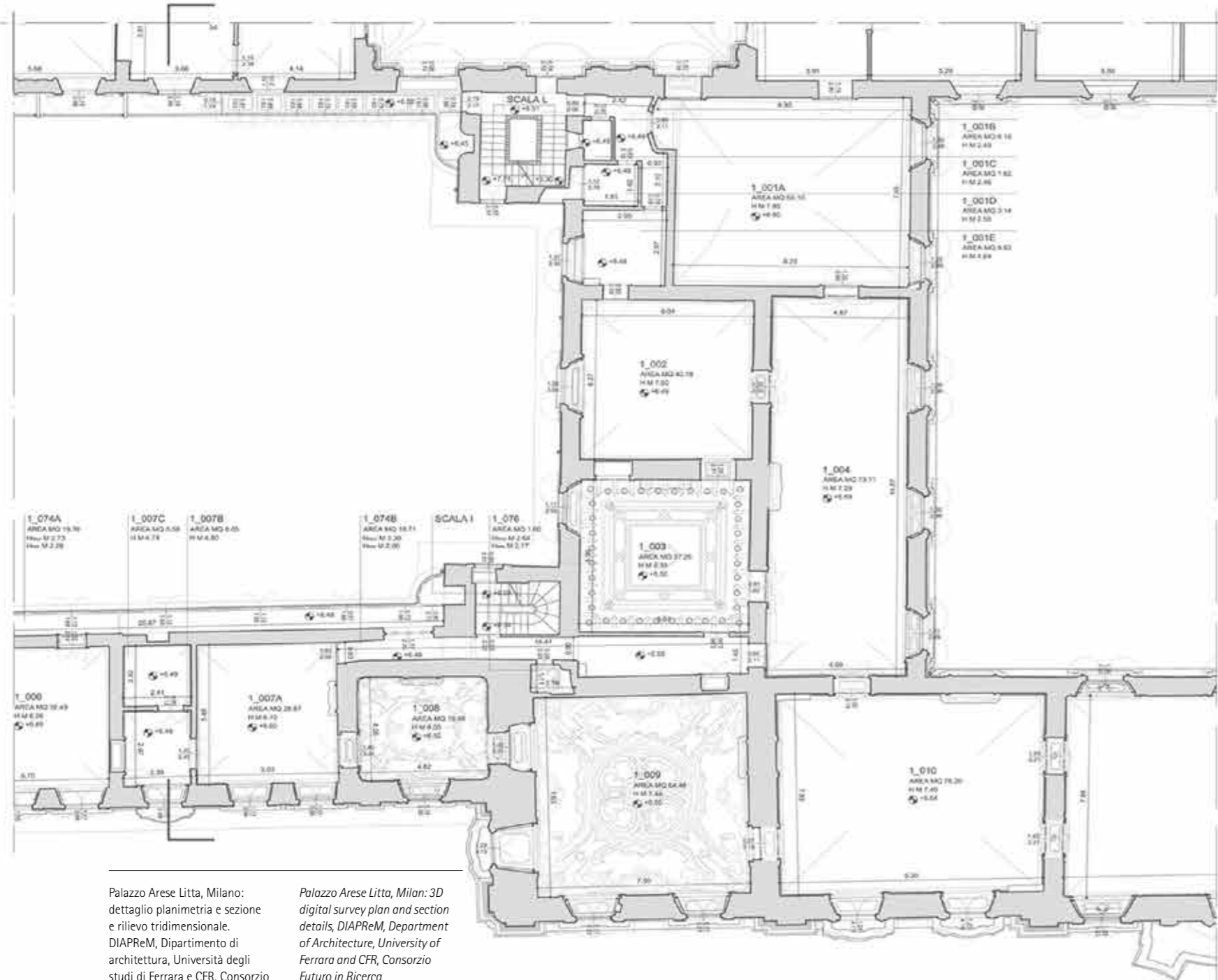
seventeenth-century noble palace commissioned by Count Bartolomeo Arese, a specific project of aiming at providing the cognitive basis for the definition of the operational methods of the 3D survey intervention. Definitely, Palazzo Litta maintains, even through the variety of uses over the time, from a noble palace to the headquarters of the Società Ferroviaria Alta Italia first and then Ferrovie Italiane, the characteristics of the original project. Finally, it

became the property of the Italian Government and was handed over to the Ministry of Cultural Heritage and Activities to become the headquarters of the Lombardy ministerial offices, which defines the objectives of its conservation, restoration and refunctioning. Alongside the characteristics of the site and the architecture, the type of client and the aims of the project determined the instrumental choices and the organization and hierarchy of the information database

for the purposes of its accessibility. Due to high information density databases such as those described, the execution of the three-dimensional survey requires an extremely high number of stations, optimized through the accurate execution of main polygonal and both second and third level polygons, as well as in case of the survey of the Palazzo del Podestà in Mantua. Overall, about 400 scan stations were realized for

Palazzo del Podestà, 647 for Palazzo del Merenda in Forlì and 600 for Palazzo Arese Litta in Milan, such as to require, during the survey project phase, the codification of special nomenclature in order to make them accessible to different target users. The survey project also considers the stratification over time of the different buildings portions, which determine the architectural complex. The development of the described architectural building





Palazzo Arese Litta, Milano: dettaglio planimetria e sezione e rilievo tridimensionale. DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara e CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

Palazzo Arese Litta, Milan: 3D digital survey plan and section details, DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara and CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

type, along the depth of the lot includes, according to a hierarchy of both private and semi-public spaces, the courtyards, originally designed to serve integrated functions and connected by the different vertical distribution systems, and the plan-altimetric development of the building, which is characterized by a variety of levels and mezzanine floors, according with the topographical characteristics of the city. Similarly, a plurality of morphological solutions

and building distribution systems are adopted at the same time, in the design and construction of the building, to respond to different but integrated functions. Moreover, the complex system of stratification described above determines a large amount of data of different types [3], whose diachronic understanding constitutes a useful archive of the geometric memory of built architecture and historical building, which is a studying phase in order to preserve a

fragile cultural heritage [4]. The case studies of Palazzo del Podestà in Mantua [5], Palazzo Arese Litta in Milan [6] and Palazzo del Merenda in Forlì [7] well highlight the mutual relation between architecture and compatibility with different uses from one point of view, in order to define the criteria for the execution of the integrated 3D survey and the hierarchy of the data surveyed, in order to manage and implement it over time. Definitely, understanding the architectural type in relation

to the recovery project scopes lead the survey project as well as the morphological and dimensional characteristics of the built architecture define the criteria for the optimization of the 3D survey procedures and the adopted technologies.

Historical city centers 3D survey technologies

Digital documentation through integrated 3D survey of complex buildings produces a big amount of data, which

require a project in order to make the data management phase and querying effective, with reference to the IT infrastructure, hardware and software, available for the target of end users involved. The case studies described put in evidence, the client is a public body, which requests several levels of detail in the querying of information and in-depth studying needs according to a multi-scale to the intervention on built heritage. Definitely, an approach to

querying the digital database based on successive levels of detail is an expressed need, as demonstrated by the case studies presented, regardless of the aims of the project. Moreover, in the case study of Palazzo Arese Litta the morphometric 3D survey of details is aimed at understanding how the geometric-spatial configurations contribute, with the decorative apparatus, to determine the consistency and the characteristics of the architectural space as well as

with reference to the Palazzo Merenda case-study, 3D survey aims at understanding the geometrical, morphological and technological characteristics of the state of the art that allow to improve the energy retrofit project. The digital information system of Palazzo del Merenda in Forlì meet a double public administration need: first improving the knowledge and digital documentation of the built heritage for the purposes of subsequent conservation

or restoration project; second, defining digital databases to support energy retrofit project with reference to the adoption and implementation of Building Information Modeling tools. The 3D survey project takes into account the digital information system management and querying as well in order to investigate a variety of issues. The ancient buildings do not allow easy integration of the new systems as required by a renovation project. Moreover,

the systems design is rarely carried out according to a truly integrated approach to the material and figurative characteristics of the built heritage [9]. Therefore, a 3D survey must take into account, first of all, the main critical issues that the subsequent energy retrofit project will address in order to define the criteria for the detailed survey and subsequent two-dimensional and three-dimensional representation of information. Optimization of data

acquisition procedures Architectural surveying and representing information from historical urban centres for the definition of digital databases means hierarchizing a large amount of data from different sources, direct and indirect, and making them available for subsequent implementations over time, in-depth investigations resulting from direct in situ surveys, or comparison with new digital databases created following traumatic events





spaziali concorrano, insieme agli apparati decorativi, a determinare la consistenza e insieme i caratteri dello spazio architettonico dall'altro sono funzionali a comprendere quelle caratteristiche geometriche, morfologiche insieme tecnologiche dello stato di fatto che consentono di migliorare la dotazione impiantistica e i conseguenti livelli di comfort e comportamento energetico.

Nel caso del sistema informativo progettato e realizzato per lo storico Palazzo del Merenda a Forlì è stata considerata pertanto una duplice esigenza espressa dalla committenza: da un lato di conoscenza e documentazione digitale del patrimonio costruito ai fini di successivi interventi di conservazione o restauro; dall'altro di definizione di una banca dati digitale a supporto di interventi di riqualificazione energetica del patrimonio costruito pubblico, in un'ottica di progressiva adozione e implementazione degli strumenti di Building Information Modeling. Il progetto di rilievo e conseguentemente di organizzazione della banca dati digitale tiene dunque

Palazzo Merenda, Forlì: dettaglio della corte interna

Palazzo Merenda, Forlì: historical courtyard detail.

in considerazione la necessità di interrogazione e visualizzazione contestuale, ad esempio, dei rapporti tra l'apparato decorativo o di arredo storico fisso degli ambienti di pregio e le morfologie, sezioni e nodi tecnologici, delle strutture orizzontali o di elevazione verticale per favorire scelte strategiche, più compatibili e meno invasive, in merito all'integrazione impiantistica.

Gli antichi edifici non sono infatti predisposti a accogliere le integrazioni impiantistiche che le necessità d'uso attuali richiedono. Inoltre, raramente il progetto impiantistico è condotto secondo un approccio effettivamente integrato e rispetto dei caratteri tanto di consistenza materica quanto figurative del patrimonio esistente [9]. Un progetto di rilievo condotto per queste finalità dovrà dunque tenere in conto, innanzitutto, delle principali criticità che il successivo progetto d'intervento di miglioramento energetico affronterà per definire i criteri di rilievo di dettaglio e di successiva rappresentazione bidimensionale e tridimensionale delle informazioni.

#### Rilievo digitale integrato di Palazzo Merenda, Forlì: scheda rilievo

CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO	
Superficie lotto (mq)	5003 mq
Superficie lorda del fabbricato (mq)	11334

RILIEVO TOPOGRAFICO	
Strumento (n., modello)	Leica Geosystems TPS 1202
Tempo di esecuzione (mesi)	7 gg
Poligonali principali chiuse (n.)	1
Poligonali di dettaglio aperte (n.)	7
Vertici poligonali (n.)	98
Punti di dettaglio (n.)	401
Compensazione ai minimi quadrati (sqm in mm)	3 mm

RILIEVO LASER SCANNER 3D	
Strumento (n., modello)	Leica Geosystems C10 Leica Geosystems P40
Tempo di esecuzione (mesi)	70 gg
Stazioni laser scanner 3D (n.)	647
Target acquisiti (n.)	1200
Coordinate spaziali acquisite (n.)	7.500.000.000
Valore medio di registrazione (mm)	3 mm

#### Palazzo Del Podestà, Mantova: scheda rilievo

CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO	
Superficie lotto (mq)	9000 mq
Superficie lorda del fabbricato (mq)	-

RILIEVO TOPOGRAFICO	
Strumento (n., modello)	1, Leica TCR 1200
Tempo di esecuzione (mesi)	-
Poligonali principali chiuse (n.)	1
Poligonali di dettaglio aperte (n.)	24
Vertici poligonali (n.)	250
Punti di dettaglio (n.)	890
Compensazione ai minimi quadrati (sqm in mm)	3 mm

RILIEVO LASER SCANNER 3D	
Strumento (n., modello)	2, Leica HDS 3000
Tempo di esecuzione (mesi)	1800
Stazioni laser scanner 3D (n.)	386
Target acquisiti (n.)	640
Coordinate spaziali acquisite (n.)	7.000.000.000
Valore medio di registrazione (mm)	3 mm

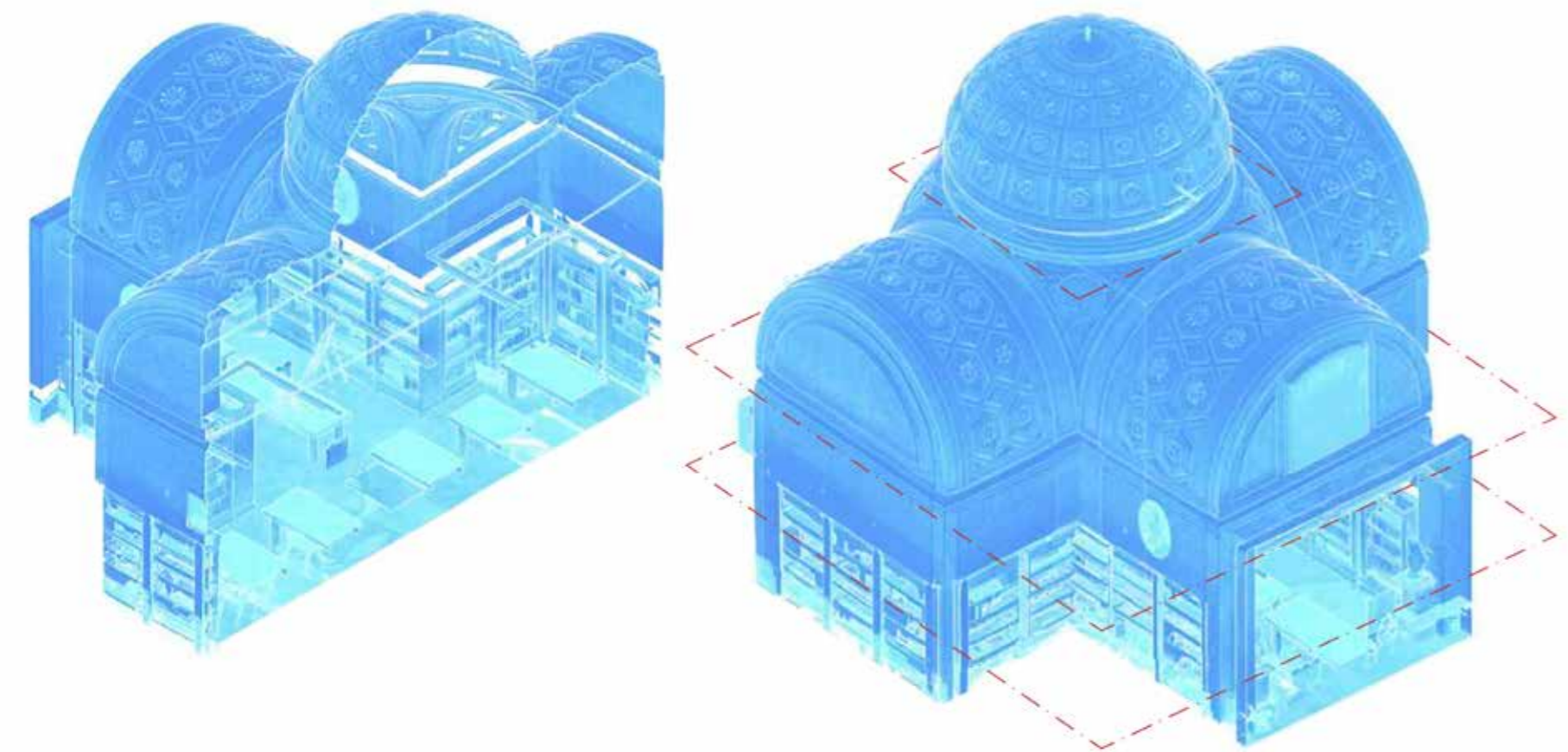
#### Palazzo Arese Litta, Milano: scheda rilievo

CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO	
Superficie lotto (mq)	14490 mq
Superficie lorda del fabbricato (mq)	45000

RILIEVO TOPOGRAFICO	
Strumento (n., modello)	1, Leica TCR 1101
Tempo di esecuzione (mesi)	3
Poligonali principali chiuse (n.)	1
Poligonali di dettaglio aperte (n.)	26
Vertici poligonali (n.)	249
Punti di dettaglio (n.)	1700
Compensazione ai minimi quadrati (sqm in mm)	3 mm

RILIEVO LASER SCANNER 3D	
Strumento (n., modello)	2, Leica HDS Scan Station 2
Tempo di esecuzione (h)	1920
Stazioni laser scanner 3D (n.)	600
Target acquisiti (n.)	1600
Coordinate spaziali acquisite (n.)	1.500.000.000
Valore medio di registrazione (mm)	3 mm





### Ottimizzazione delle procedure di acquisizione dati

Rilevare e rappresentare le informazioni dei centri storici urbani per la definizione di banche dati digitali significa gerarchizzare una grande quantità di dati derivanti da fonti diverse, dirette e indirette, e renderli disponibili a successive implementazioni nel tempo, approfondimenti risultanti da indagini dirette in situ, o al confronto con nuove banche dati digitali realizzate a seguito di eventi traumatici quali i contesti post-sisma [10].

Il progetto dei protocolli metodologici di rilievo tridimensionale integrato applicati per i casi studio

Palazzo Merenda, Forlì, rilievo tridimensionale: studio del volume dell'antica cappella al piano nobile ora parte della biblioteca. TekneHub-DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara

Palazzo Merenda, Forlì, 3D survey: study of the volume of the ancient chapel, main floor, which is part of today public library. TekneHub-DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara

indagati ha pertanto tenuto conto di:

- le caratteristiche tipologiche e geometrico morfologiche degli edifici oggetto di studio;
- le finalità dei progetti d'intervento espresse dalla committenza;
- la presenza di elementi e caratteristiche di interesse storico-artistico;
- scale di restituzione da 1:200 e 1:50 per la definizione del livello di accuratezza;
- dimensione finale e gerarchizzazione della banca dati digitale al fine della sua gestione e usabilità, anche in rapporto alle competenze effettive o attese degli utenti finali.

La fase di rilievo in campo è stata conseguentemente

condotta come integrazione di rilievo topografico, eseguito mediante stazione totale, e rilievo Laser Scanner 3D basato sulla tecnologia *time-of-flyght* il cui utilizzo è funzionale alla formulazione della struttura geometrica di dettaglio delle superfici e all'associazione delle coordinate colore RGB in falsi colori ai singoli punti per la formulazione di DEM (*Digital Elevation Model*).

La realizzazione di almeno una poligonale principale chiusa eseguita per centramento forzato e di varie poligonali aperte secondarie per punti di controllo, reti di target di secondo livello, è finalizzata a ridurre complessivamente il numero di stazioni e la superficie di sovrapposizione necessaria alla realizzazione del modello finale, tipica di un approccio morfologico al rilievo, riducendo al contempo l'errore sistematico e il numero complessivo di coordinate.

Per il controllo del modello finale del tipo architettonico palazzo è risultato strategico il rilievo dei corpi scala.

Gli approcci di ottimizzazione adottati hanno consentito di ottenere modelli complessivi, definiti dall'integrazione del rilievo topografico con il rilievo di dettaglio tridimensionale, compensati ai minimi quadrati con scarto quadratico medio di 3 mm ai vertici (target). Il rilievo integrato così condotto ha permesso di acquisire la conoscenza morfometrica di ambiti complessi quali ambienti ipogei, sistemi di coperture lignee e voltate, ma anche delle deformazioni geometriche non inferiori a 2 cm di elementi e sistemi costruttivi nei rapporti tra: le strutture portanti di copertura e gli elementi di cornice o marcapiano di facciata, anche con riferimento ai prospetti sulle corti interne; di singoli elementi lignei nelle orditure primaria e secondaria;

dei setti perimetrali; degli spessori murari nello sviluppo planoaltimetrico.

Nel caso del Palazzo del Podestà a Mantova è stato in particolare possibile approfondire lo stato delle deformazioni delle strutture orizzontali e verticali, oggetto successivamente di specifica rappresentazione negli elaborati bidimensionali richiesti. Le informazioni acquisite a seguito del rilievo hanno consentito la comprensione dello stato di fatto della fabbrica in rapporto alla documentazione storica e alle fasi di trasformazione subite nel tempo. Inoltre, i dati acquisiti costituiscono, come descritto in seguito, una memoria geometrica disponibile a successivi approfondimenti. Il Comune di Mantova ha inteso realizzare, a seguito dell'esperienza condotta nel corso del centenario albertiano, un rilievo tridimensionale avanzato del Palazzo del Podestà, edificio sito nel centro storico di Mantova e caratterizzato da uno sviluppo planimetrico di 9000 metri quadri, organizzati in 300 vani e un'altezza media di gronda di circa 24 metri. La documentazione digitale di Palazzo del Podestà condotta nel periodo 2006-2007 ha fornito una base conoscitiva organica del complesso architettonico utile anche a successive indagini comparative dello stato di fatto rese necessarie a causa di eventi traumatici, quali il terremoto del 2012 [11].

such as post-earthquake contexts [10]. The design of the integrated three-dimensional surveying methodological protocols adopted took into account: - the typological and geometric morphological characteristics of the buildings under study; - the aims of the intervention projects expressed by the client; - the presence of elements and characteristics of historical and artistic interest; - scale representation from

1:200 and 1:50 for the definition of the level of accuracy; - final dimension and hierarchy of the digital database for the purpose of its management and usability, also in relation to the actual or expected skills of the end users. Consequently, the implementation phase took place as integration of topographical survey, performed by total station, and 3D Laser Scanner survey based on time-of-flight

technology, whose use is functional to the definition of the geometry of the surfaces in association with RGB color coordinates in false colors to the individual points for the formulation of DEM (Digital Elevation Model). Moreover, different polygon types, forced centered, were performed: from primary level to secondary level target network is aimed at reducing the overall number of scan stations and the overlapping surface necessary to realize the final model, typical of a

morphological approach to surveying, while reducing the systematic error and the overall number of coordinates. Definitely, the architectural survey of stairs was strategic in order to determine the end model. The adopted optimization approaches made it possible to accurately implement the model, by the integration of the topographical survey with the three-dimensional detail survey, Root mean square error of 3 mm. The 3D integrated survey

made it possible to acquire morphometric knowledge of complex areas such as hypogeal environments, wooden roofing systems and vaults, but also of geometric deformations of no less than 2 cm of elements and construction systems in the relation with: the load-bearing roof structures and the elements of the façade; individual wooden elements in the primary and secondary roof frame; the wall thicknesses in the planoaltimetric development.

With reference to Palazzo del Podestà in Mantua, the 3D integrated survey make possible to investigate the state plastic deformations of the horizontal and vertical structures, which were represented in the two-dimensional drawings required. As a result, the building state of art is compared to the historical documentation and the phases of transformation undergone over time. Moreover, the data constitutes, as described

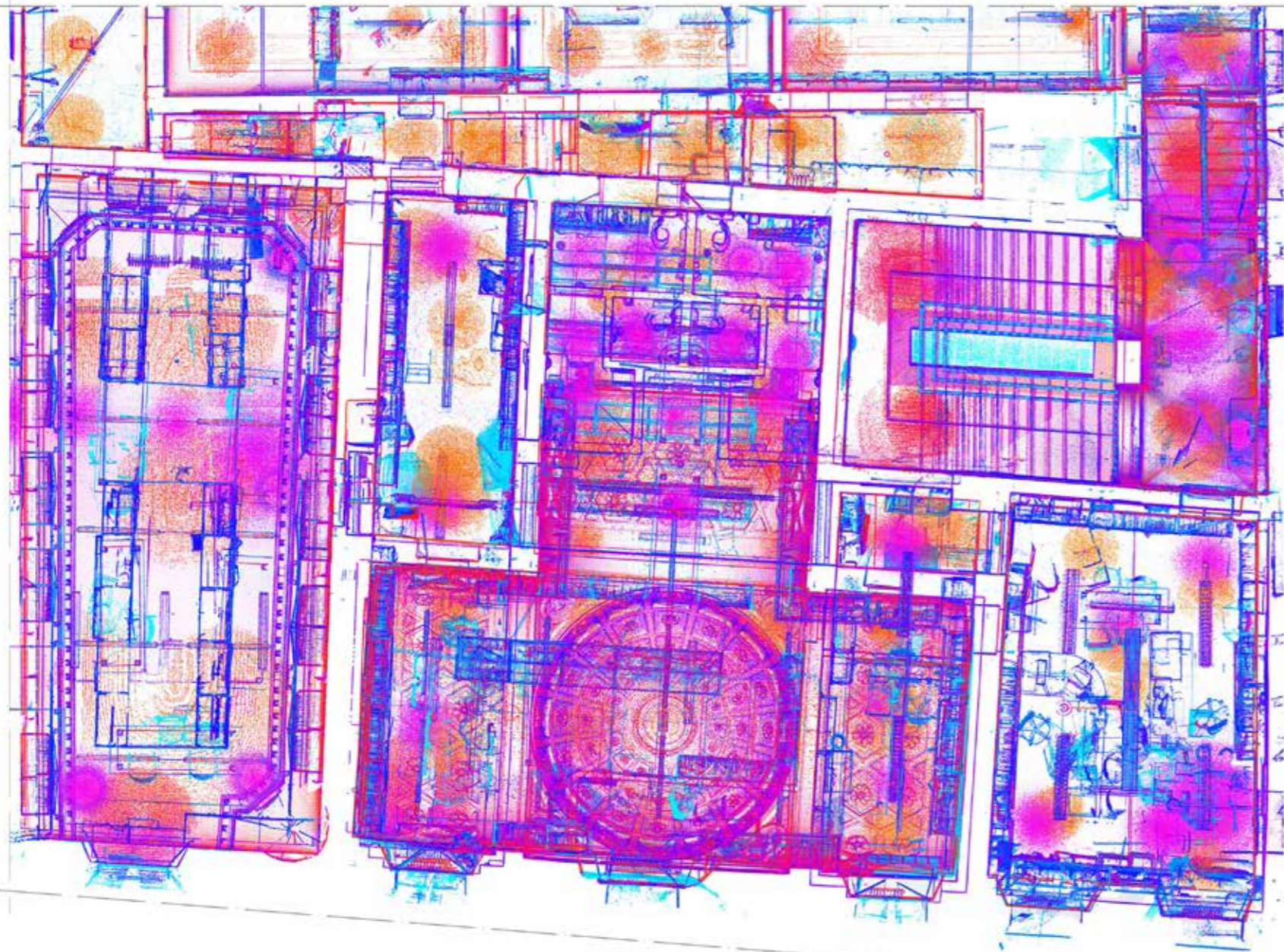
below, a geometric memory available for further analysis. Subsequently, through the experience carried out during the Albertian centenary the Municipality of Mantua intended to realize an advanced three-dimensional survey of the Palazzo del Podestà, a building located in the historical centre of Mantua and characterized by a planimetric development of 9000 square meters, organized in 300 rooms and an average height of about 24 meters. Finally, the digital

documentation of Palazzo del Podestà in 2006-2007 provides an organic base knowledge of the architectural complex, which is useful for subsequent comparative surveys such as those realized after the 2012 earthquake [11]. Data extraction challenges for 2D and 3D representation Ensuring accessibility of information is one of the main challenges in digital documentation of built heritage as mentioned above.

Consequently, it is of main importance arrange data into a hierarchy as well as define representation protocols for the production of two-dimensional and three-dimensional information; first of all, setting of a single coordinate system, then, the codification of the section plans, considering the articulation in elevation of the different floor and mezzanines and the aims of the survey. Querying a digital database allows to investigate, also through the use of open

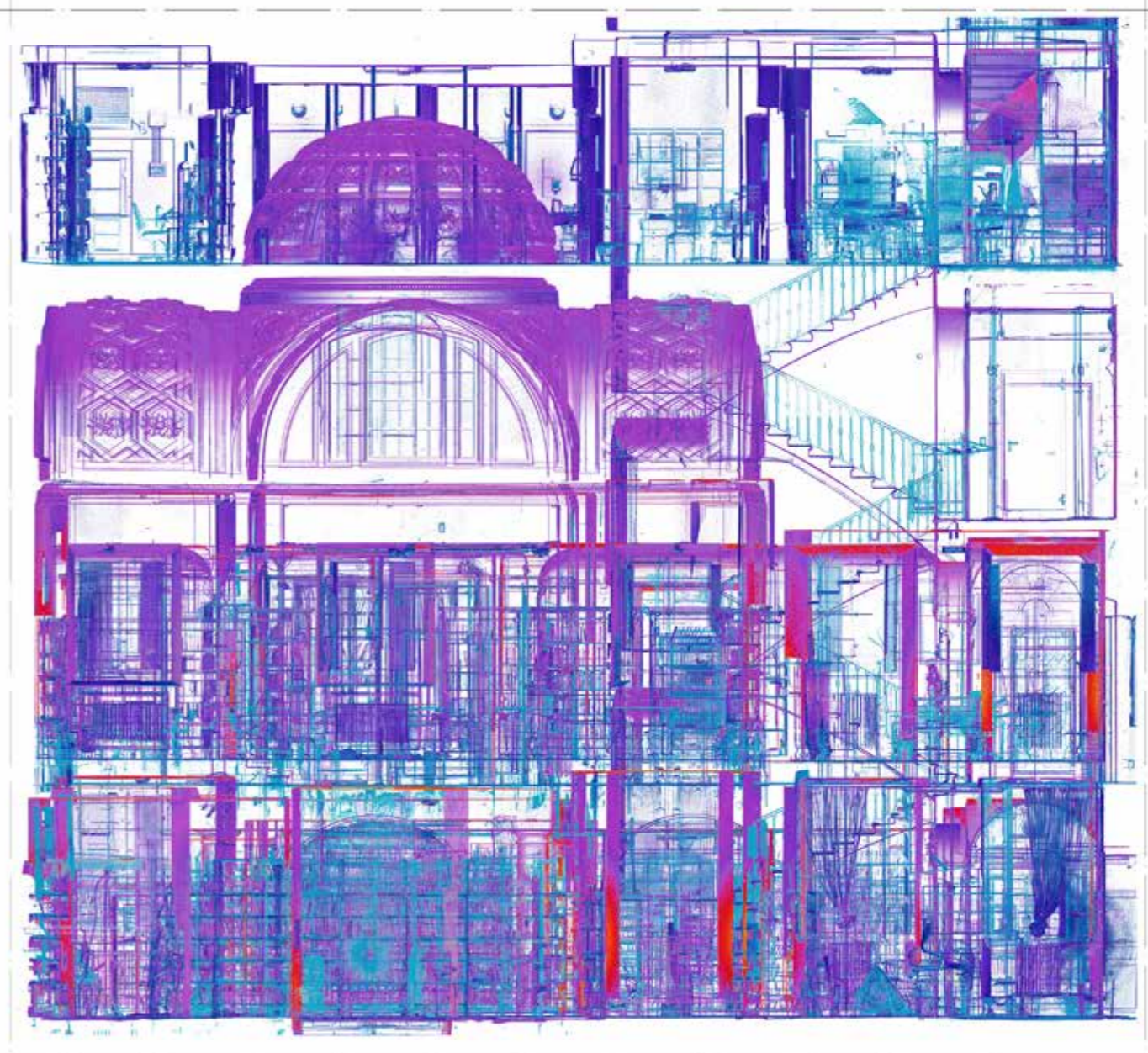
source software, the three-dimensional information thanks to cross section planes, as well as to measure and to represent morphological characteristics of the elevation structures such as tapering walls, cavities, niches, which can be represented to provide additional information on the architectural construction system, even in the absence or completion of a building diagnosis results. With reference to the definition of an Information Management Plan, as





### Problematiche di estrazione dei dati per la rappresentazione bidimensionale e tridimensionale

Banche dati digitali generate da rilievi complessi come nei casi citati necessitano non solo di essere adeguatamente gerarchizzate per garantire l'accessibilità dell'informazione, ma di alcune operazioni specifiche per l'estrazione e rappresentazione delle informazioni bidimensionali e tridimensionali.



Innanzitutto, la definizione di un unico sistema di coordinate. Successivamente la codifica dei piani di sezione, considerando l'articolazione in alzato dei diversi piani e ammezzati e le finalità del rilievo dalle quali discendono elaborati di approfondimento specifici. La possibilità di interrogare, oggi anche attraverso

l'uso di applicativi *open source*, il data base tridimensionale attraverso piani di sezione paralleli al piano di sezione scelto come rappresentativo consente di indagare, misurare e rappresentare caratteristiche morfologiche delle strutture di elevazione quali rastremazioni della sezione muraria, cavedi, nicchie, che possono essere restituite in

#### Conclusion

If properly designed, executed and organized, the integrated three-dimensional survey can contribute, in contexts of particular architectural and informative complexity, to improve the accessibility and usability of the different types of data associated with the variety of use and information associated with the investigated built heritage. Consequently, designing a reliable geometric-morphological database

is a consequence of the organization of the information hierarchy in order to allow, through also open source software, the understanding of architecture and its changes over time. Moreover, investigating and understanding a three-dimensional space, deal with the capacity for associate an adequate organization of two-dimensional representation output at different scales, as the project on the built heritage and the requests of the clients demonstrate,

Meanwhile, an integrated 3D digitale database can allow greater accessibility of information, including historical-documental, iconographic and photographic information. Definitely, it is necessary to share with all the actors involved common criteria in order to manage: representation of information at the different scales, in relation to the three-dimensional survey of the built heritage; querying information through

applications and software that require a common base knowledge.

Palazzo Merenda, Forlì, rilievo tridimensionale: studio in pianta e sezione del volume dell'antica cappella. TekneHub-DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara

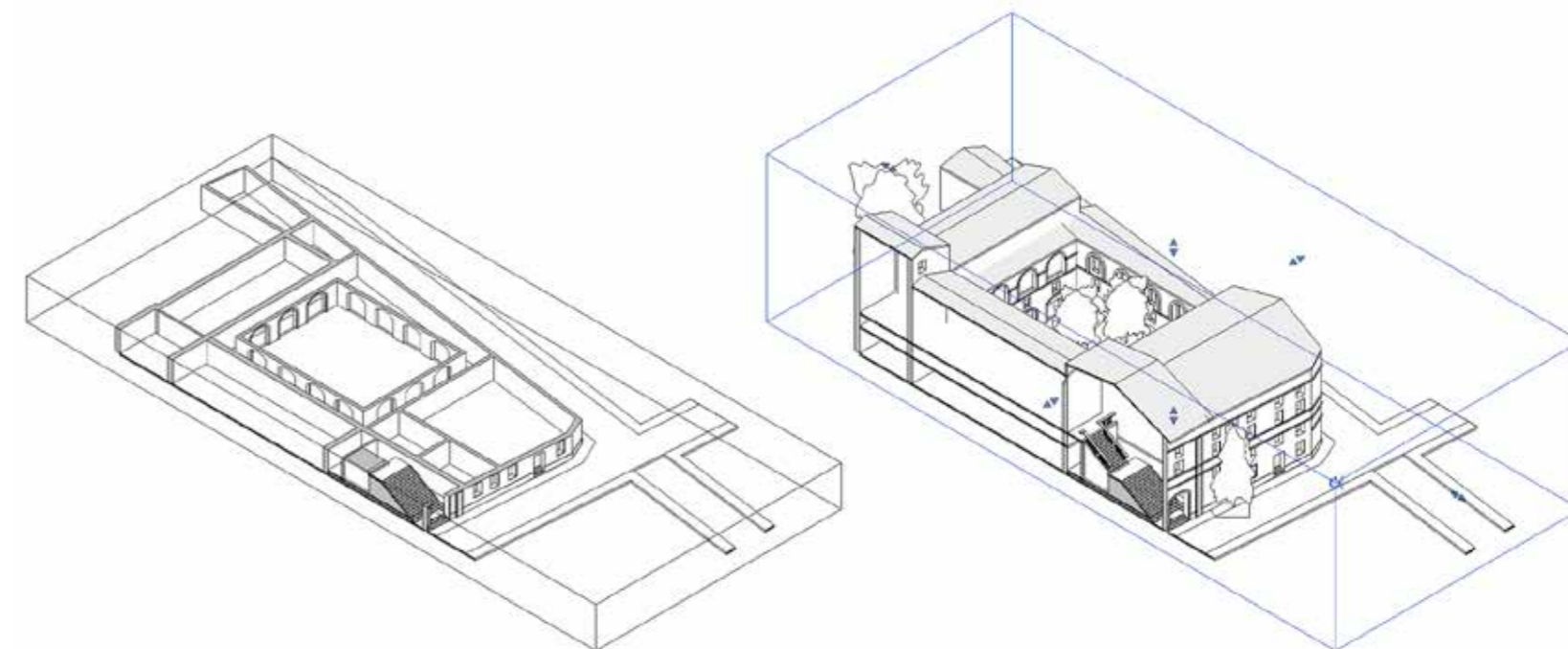
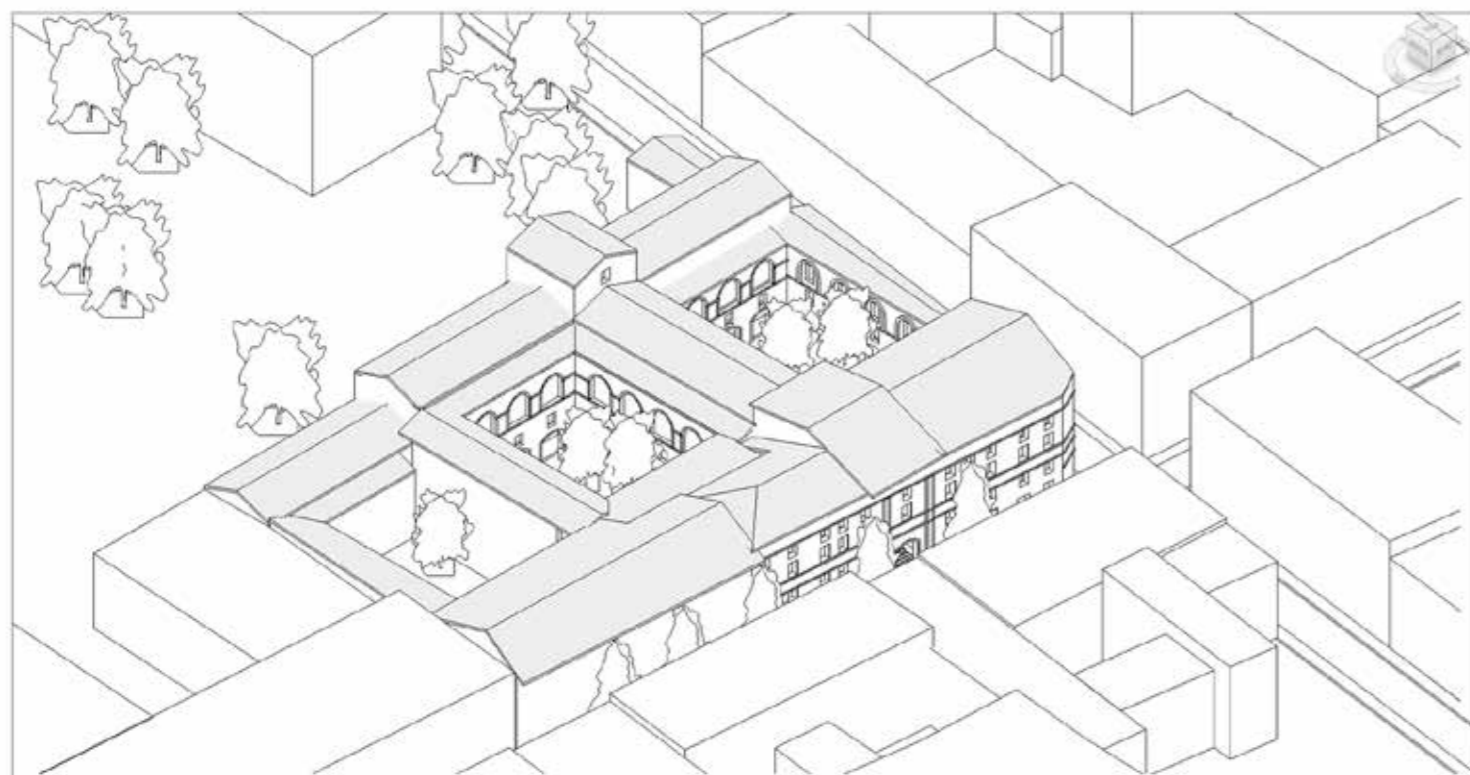
*Palazzo Merenda, Forlì 3D survey: study of the volume of the ancient chapel, floorplan and section. TekneHub-DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara*

provided for by the New Italian Legislative Decree 50/2016 and subsequent [12] regarding the digitalization of the construction sector and the introduction of Building Information Modeling tools, the digital documentation of the 3D survey allows technicians with the possibility to codify a plurality of representation parameters: understanding of spatial design choices related to the site; understanding of the relation between technological and construction techniques

and the fixed furnishing elements that determine the architectural scenario; analysing geometrical and morphological characteristics of the building elements (vaults, masonry, vertical connections and so on). Therefore, the possibility of scalar representations of the architectural elements and of the subsequent three-dimensional modeling through derived from the building survey. Moreover, the codification of a hierarchy of the families and

the corresponding levels of detail are, in the BIM model, associated to specific criteria of representation of the single elements in relation to the different architectural, structural and plant engineering related disciplines. The geometrical rectification of the construction elements during the representation phase, both bidimensional and threedimensional, takes into account the possibility to query and investigate the 3D digital survey database.





elaborati non convenzionali, per fornire informazioni aggiuntive sul sistema architettonico costruttivo anche in assenza o a completamento di una campagna di indagini dirette.

Nell'ottica ulteriore della definizione di un Piano di Gestione Informativa (PGI), come previsto dal Nuovo Codice degli Appalti D.lgs. 50/2016 e successivi [12] relativamente alla digitalizzazione del settore e alla progressiva introduzione degli strumenti di *Building Information Modeling*, la documentazione digitale del costruito condotta secondo i protocolli descritti permette la codifica dei diversi parametri previsti e di ulteriori relativi alle specificità proprie del patrimonio esistente: comprensione delle scelte progettuali

Palazzo Merenda, Forlì, modellazione BIM: studio dell'inserimento urbano. TekneHub-DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara

Palazzo Merenda, Forlì, BIM models: study of urban design. TekneHub-DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara

spaziali legate al sito; comprensione del rapporto tra scelte tecnologiche e costruttive e gli elementi di arredo fisso che determinano la quinta architettonica; conoscenza delle scelte progettuali relative alle variazioni morfologiche degli elementi costruttivi (volte, murature, collegamenti verticali, elementi di chiusura e infissi) in rapporto alle caratteristiche del lotto.

Attraverso il progetto di rilievo sono dunque definiti i criteri e la possibilità di rappresentazioni scalari degli elementi propri della successiva modellazione tridimensionale.

La codifica della gerarchia delle famiglie e i livelli di dettaglio corrispondenti sono, nella modellazione

BIM, in tal senso associabili a specifici criteri di rappresentazione dei singoli elementi in relazione alle diverse discipline architettonica, strutturale e impiantistica correlate, già in fase di rilievo dello stato di fatto, all'apporto di competenze diverse. Nei progetti d'intervento di miglioramento energetico o sismico, ad esempio, la coerenza e ottimizzazione della fase restitutiva deriverà dall'accuratezza delle informazioni geometrico morfologiche disponibili tale da consentire la distinzione, già nel modello architettonico, tra: struttura e finitura; strutture di elevazione verticale portanti e gerarchia dei tramezzi. Le scelte che conducono alla rettificazione dei diversi elementi costruttivi al fine di una rappresentazione

tridimensionale coerente, in particolare attraverso i software di modellazione energetica e strutturale dedicati, potranno in tal senso essere in ogni momento verificate e indagate attraverso l'interrogazione della banca dati morfometrica. Le reciproche relazioni tra il progetto d'intervento sul patrimonio costruito esistente e il progetto e gli esiti del rilievo tengono conto in tal senso, al fine dell'organizzazione e gerarchizzazione delle informazioni della banca dati tridimensionale, dei livelli di dettaglio che ciascuna disciplina coinvolta richiede al fine di rendere possibili successive interrogazioni e rappresentazioni scalabili.



Palazzo del Podestà, Mantova:  
fronte principale

Palazzo del Podestà, Mantova:  
main facade

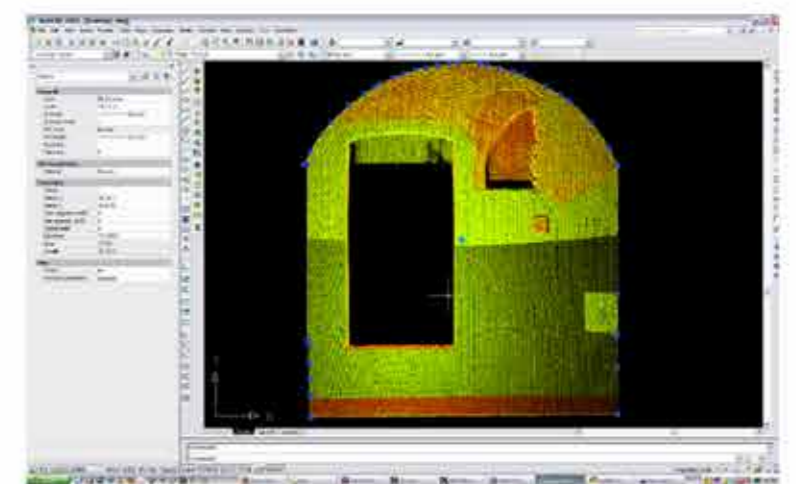
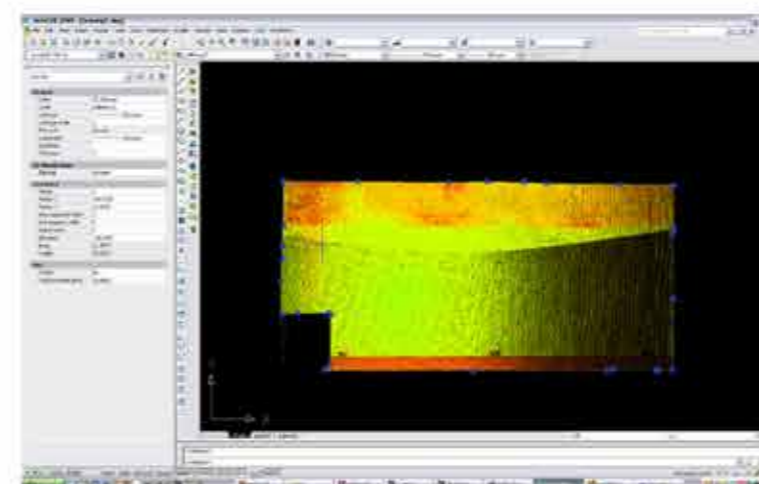
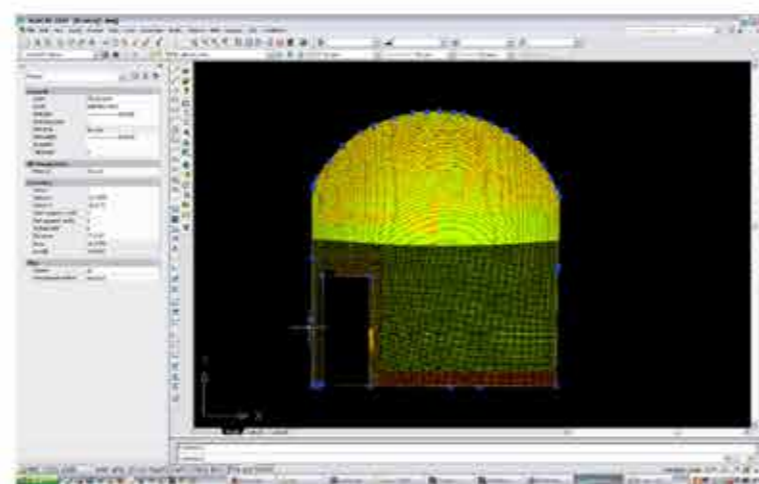
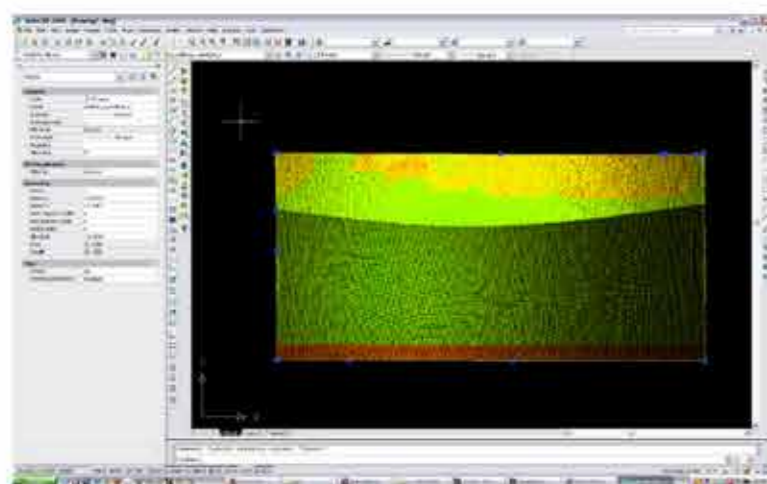
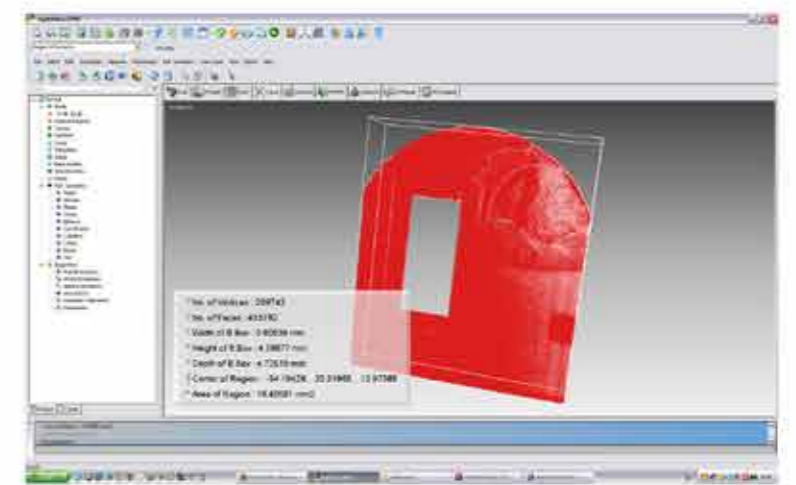
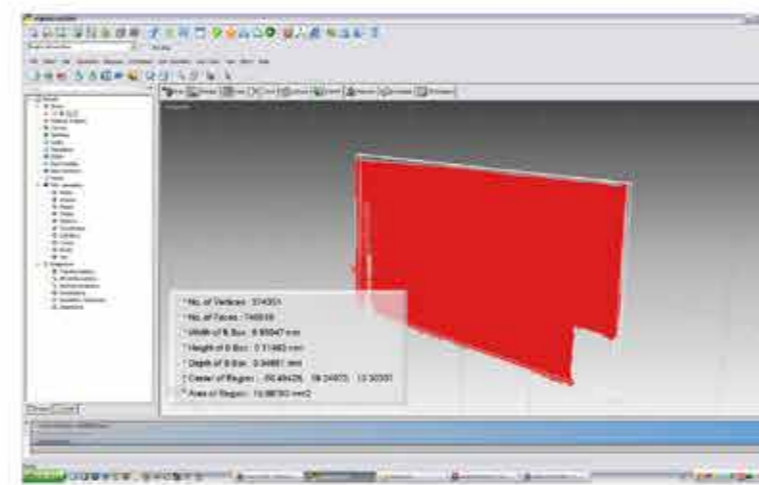
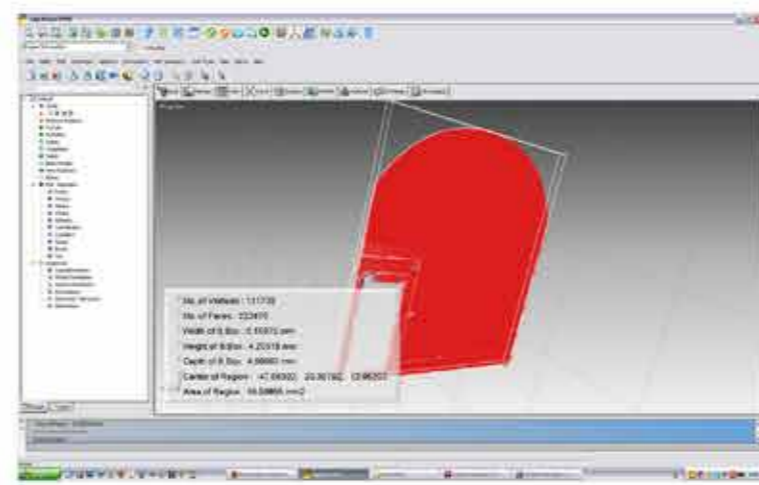
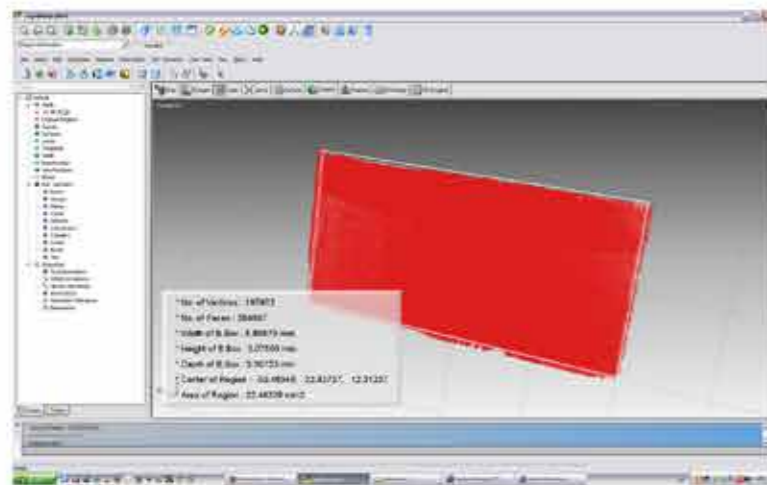


Palazzo del Podestà, Mantova,  
rilievo tridimensionale integrato:  
studio di fronte esterno in  
rapporto allo sviluppo in sezione.  
DIAPReM, Dipartimento di  
architettura, Università degli  
studi di Ferrara e CFR, Consorzio  
Futuro in Ricerca

Palazzo del Podestà, Mantova,  
3D survey: study of the external  
facade proportions in relation  
to the cross section. DIAPReM,  
Department of Architecture,  
University of Ferrara and CFR,  
Consorzio Futuro in Ricerca

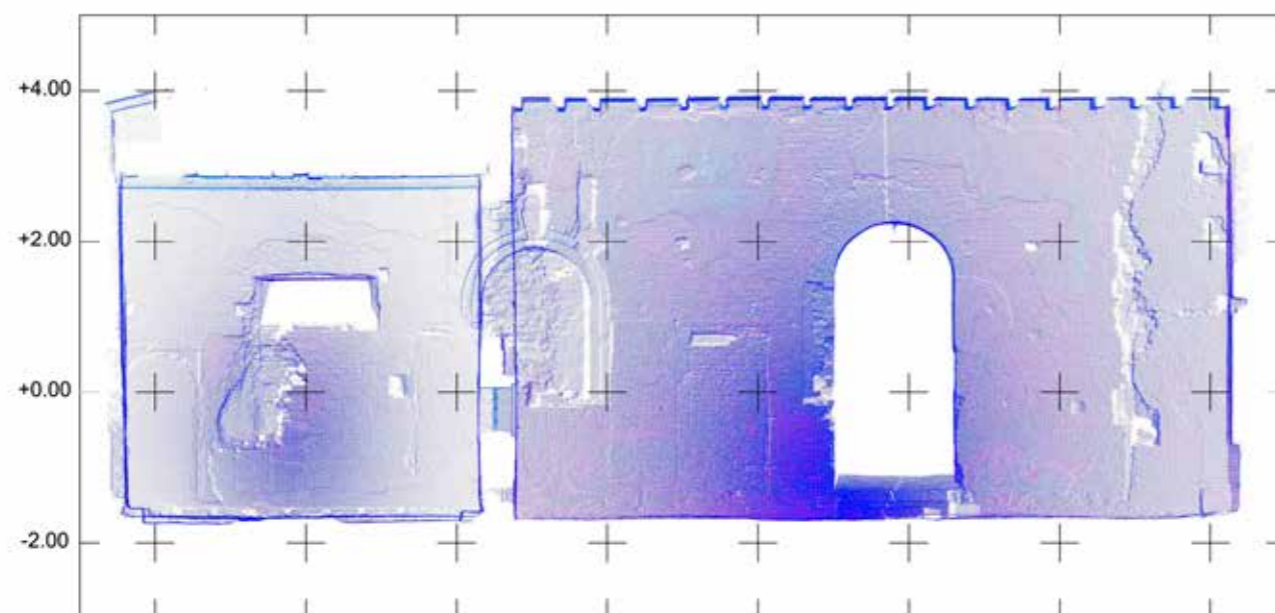






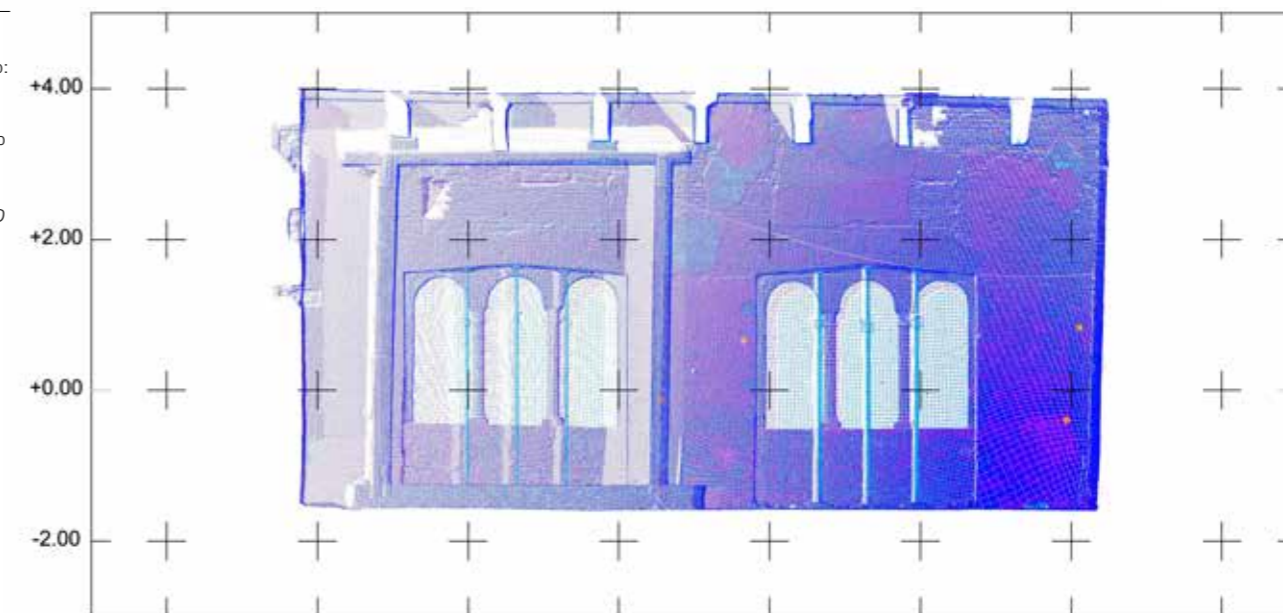
Palazzo del Podestà, Mantova, rilievo tridimensionale integrato: analisi dell'accuratezza nel raffronto tra rilievo tridimensionale e modellazione assistita. DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara e CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

Palazzo del Podestà, Mantua, 3D survey: accuracy analysis. Comparison between three-dimensional survey and CAD modelling. DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara and CFR, Consorzio Futuro in Ricerca



Palazzo del Podestà, Mantova, rilievo tridimensionale integrato: DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara e CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

Palazzo del Podestà, Mantua, 3D survey: DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara and CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

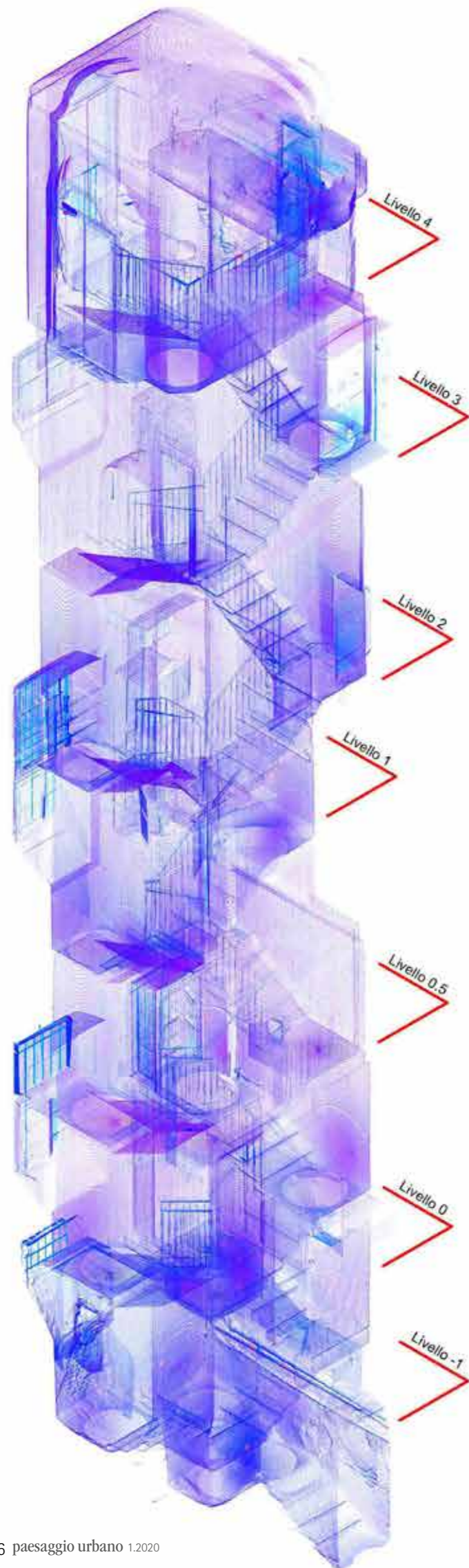


0.0 0.5 1.0 2.0 3.0 5.0 Scala metrica in mt

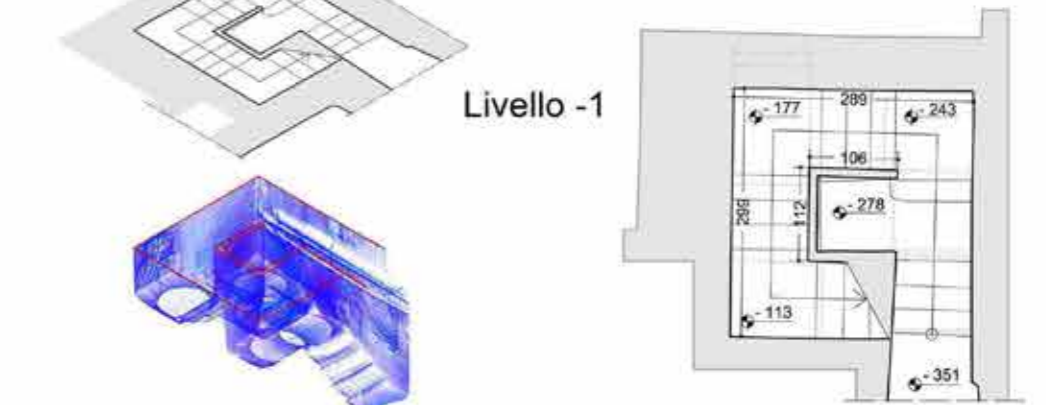
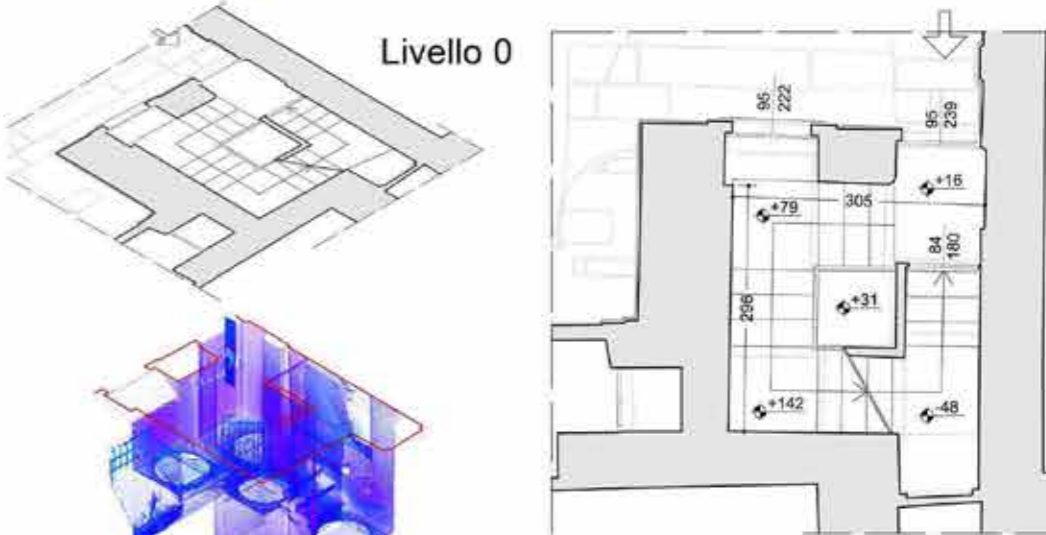
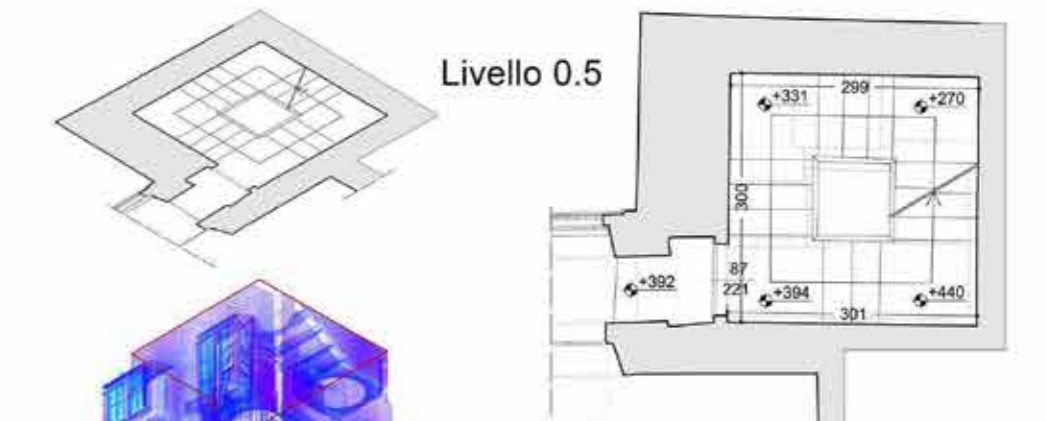
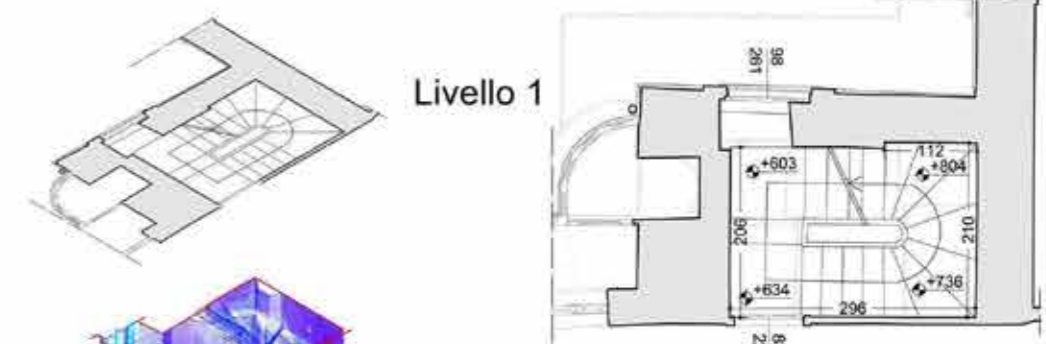
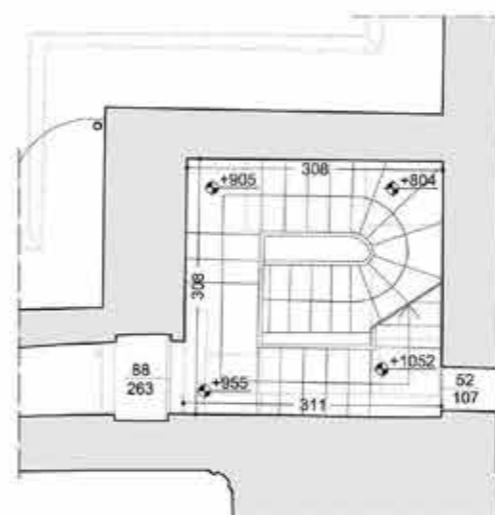
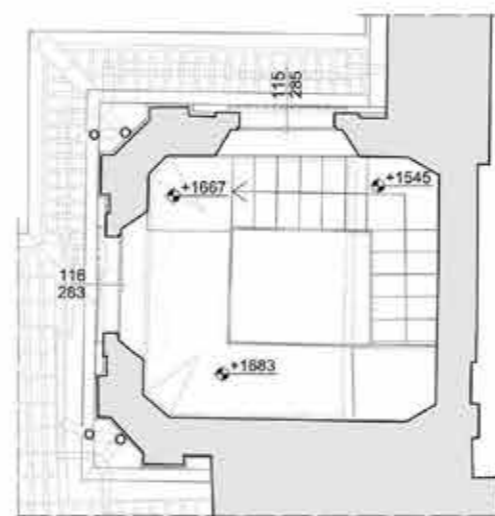
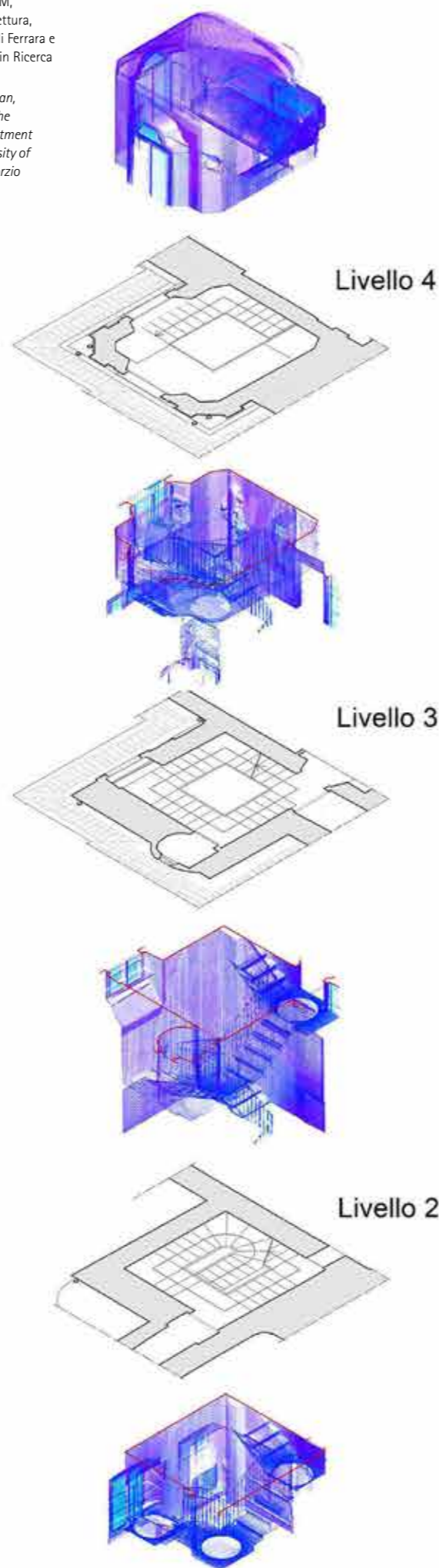


Palazzo Arese Litta, Milano,  
rilievo tridimensionale: analisi  
dei corpi scala. DIAPReM,  
Dipartimento di architettura,  
Università degli studi di Ferrara e  
CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

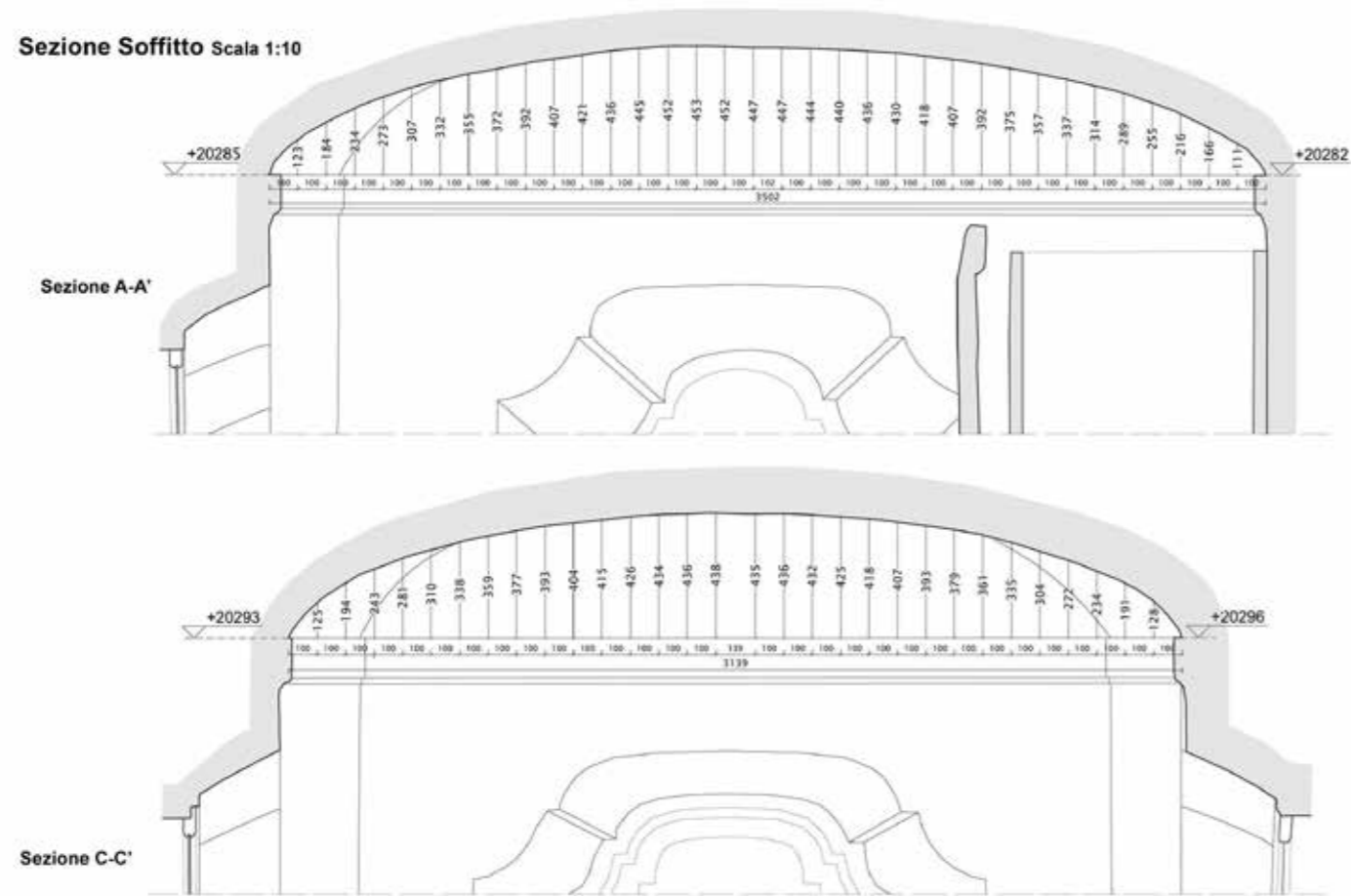
*Palazzo Arese Litta, Milan,  
3Dsurvey: analysis of the  
stairs. DIAPReM, Department  
of Architecture, University of  
Ferrara and CFR, Consorzio  
Futuro in Ricerca*



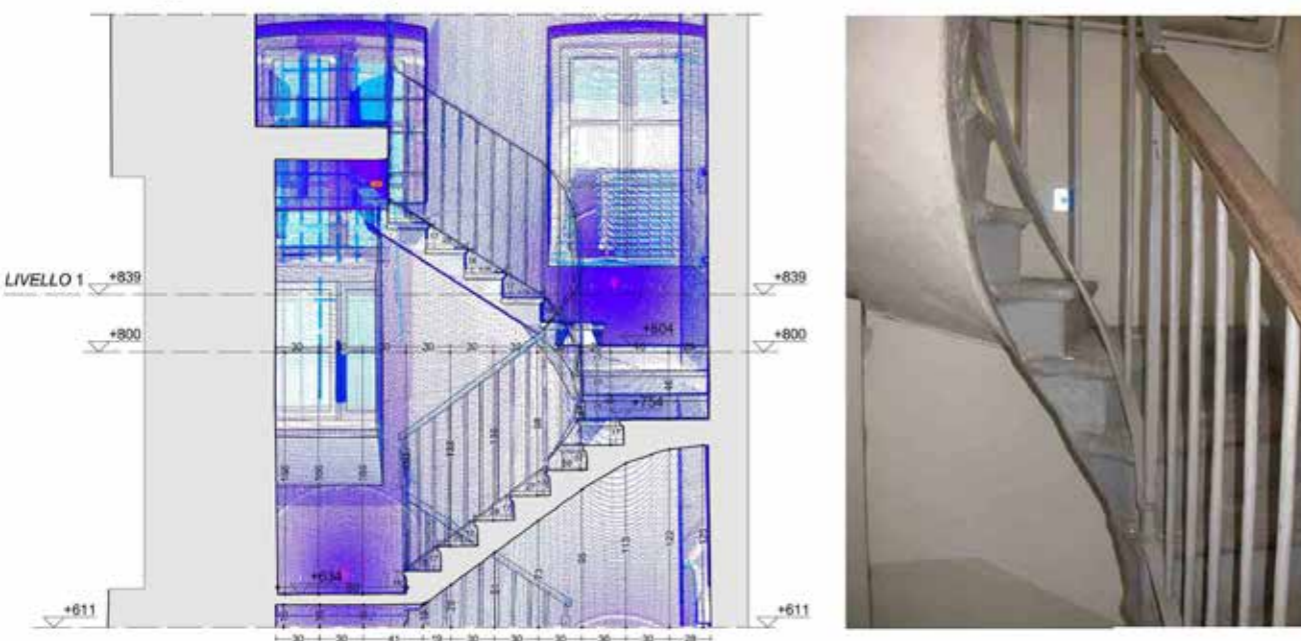
### Piante Scala\_1:50







Dettaglio Scala a ventaglio scala 1:20



Palazzo Arese Litta, Milano, rilievo tridimensionale: rilievo di dettaglio. DIAPReM, Dipartimento di architettura, Università degli studi di Ferrara e CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

Palazzo Arese Litta, Milan, 3D survey; detail survey; DIAPReM, Department of Architecture, University of Ferrara and CFR, Consorzio Futuro in Ricerca

## Conclusioni

Se adeguatamente progettato, eseguito e organizzato il rilievo tridimensionale integrato può contribuire, nei contesti di particolare complessità architettonica e informativa, a migliorare l'accessibilità e usabilità delle diverse tipologie di dato associate alle stratificazioni d'uso e informative dell'architettura o del tessuto urbano indagati.

Alla definizione di una base dati geometrico-morfologica affidabile segue la strutturazione della gerarchia delle informazioni in modo da consentire, oggi anche attraverso software open source, la comprensione dello spazio e delle sue modificazioni nel tempo.

Successivamente alla possibilità di indagare e comprendere lo spazio tridimensionale occorre inoltre associare, come il cantiere d'intervento sull'esistente e le richieste espresse dalla committenza dimostrano, un'adeguata organizzazione di elaborati bidimensionali alle diverse scale.

In tal senso, la banca dati da rilievo tridimensionale integrato può consentire una maggiore accessibilità dell'informazione anche di tipo storico-documentale, iconografica e fotografica.

Occorre tuttavia condividere con tutti gli operatori coinvolti i criteri da un lato adottati per la rappresentazione delle informazioni alle diverse scale, in rapporto al rilievo tridimensionale dell'esistenza, e i criteri per l'interrogazione delle informazioni attraverso applicativi e software che richiedono, per quanto intuitivi, una base conoscitiva comune.

## Note

- (1) Carbonara, Giovanni, "Analisi degli antichi edifici" in Carbonara, Giovanni (a cura di) *Trattato di restauro architettonico*, Vol. II. UTET: Torino, 2004, p. 448
- (2) Palmerio, Giancarlo, "Ricerca delle vocazioni dell'edificio" in Ibid. in Carbonara, Giovanni (a cura di) *Trattato di restauro architettonico*, Vol. III. UTET: Torino, 2004, p. 585
- (3) Brusaporci, Stefano e Centofanti Mario (a cura di), *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi: Roma. pp. 320
- (4) Stefano Bertocci, "Il contributo del rilievo urbano dei centri storici italiani per il recupero e la prevenzione della vulnerabilità sismica: alcuni casi studio in Abruzzo, Toscana ed Emilia" in AA.VV. *Disegno & Città*, pp. 397-405
- (5) Il rilievo digitale integrato di Palazzo del Podestà a Mantova è frutto di un protocollo di ricerca svolto in collaborazione tra Comune di Mantova, il Centro DIAPReM, Centro Dipartimentale per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara e CFR, Consorzio Ferrara Ricerche. Comune di Mantova, Settore Opere Pubbliche. Dirigente, ing. Sergio Mantovani, Responsabile del Procedimento, arch. Paola Menabò. DIAPReM, Responsabile Scientifico Prof. Arch. Marcello Balzani, Responsabile tecnico, arch. Guido Galvani. CFR: Rilievo tridimensionale e restituzione: Filippo Casarini, Guido Galvani, Stefani Guidi, Marcello Guzzinati.

- (6) Il rilievo digitale integrato di Palazzo Arese Litta è frutto di un protocollo di ricerca svolto in collaborazione tra la Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici della Lombardia - Milano, Direttore Mario Turetta, Responsabile del Procedimento arch. Carla Di Francesco, responsabile Tecnico Operativo: arch. Nicola Maremonti e il Centro DIAPReM, Centro Dipartimentale per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti, Dipartimento di Architettura, Università degli studi di Ferrara e CFR, Consorzio Ferrara Ricerche. DIAPReM: Responsabile Scientifico, prof. arch. Marcello Balzani; Responsabile tecnico: arch. Guido Galvani; coordinamento, arch. Daniel Blerch, arch. Luca Cosimi; rilievo tridimensionale e restituzione: Daniel Blerch, Filippo Casarini, Luca Cosimi, Matteo Cassani Simonetti, Sandro De Mauro, Guido Galvani, Marcello Guzzinati, Pierpaolo Palka, Roberto Potenza, Anita Righi, Francesca Vecchi. CFR: Presidente, prof. Remigio Rossi; Direttore, Stefania Corsi.
- (7) Il rilievo digitale integrato di Palazzo del Merenda a Forlì è frutto di un protocollo di ricerca svolto in collaborazione tra Comune di Forlì, laboratorio TekneHub, Tecnopolo dell'Università degli studi di Ferrara e il Centro DIAPReM, Centro Dipartimentale per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti, Dipartimento di Architettura, Università degli studi di Ferrara. Comune di Forlì: Servizio Edifici Pubblici. Responsabile del Procedimento, arch. Roberto Cavallucci e ing. Gianluca Foca. TekneHub/DIAPReM: Responsabile Scientifico Prof. Arch. Marcello Balzani; Responsabile tecnico, arch. Guido Galvani; Coordinamento, arch. Fabiana Raco. Analisi energetiche: prof. Michele Bottarelli
- (8) Balzani, Galvani, "Rilievo tridimensionale integrato di Palazzo Arese-Litta a Milano. Una banca 3D per l'innovazione del progetto e gestione del patrimonio architettonico monumentale" in *Dossier, Paesaggio Urbano*, 2/2009, Maggioli, Rimini, pp. I-XXXI
- (9) Palmerio, Giancarlo, "Progettazione architettonica e restauro" in Carbonara, Giovanni (a cura di) *Trattato di restauro architettonico*, Vol. III. UTET: Torino, 2004, pp. 696-706
- (10) Vernizzi, Chiara, "Il rilievo integrato per la rappresentazione dei caratteri del paesaggio urbano. Il caso di Navelli e Civitavecchia (AQ)" in Capano, Francesca e Pascariello, Maria Ines e Visone, Massimo, (a cura di) *Delli aspetti di Paesi. Vecchi e nuovi Media per l'Immagine del Paesaggio*. Tomo Secondo, "Rappresentazione, memoria, conservazione". CIRICE: Napoli. pp. 127-136
- (11) Bertocci, Stefano, "Il contributo del rilievo urbano dei centri storici italiani per il recupero e la prevenzione della vulnerabilità sismica: alcuni casi studio in Abruzzo, Toscana ed Emilia, in *Disegno e Città. Cultura, Arte, Scienza e Informazione*. Atti del 37° Convegno internazionale dei docenti della rappresentazione, Gangemi: Roma. pp. 397-405
- (12) Con particolare riferimento a: Art. 23 co 3 D. Lgs n° 50/2016 - Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi; UNI 11337:2017 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni; UNI EN ISO 16739:2016 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - ISO 16739:2005 (IFC2X3) - ISO 16739:2013 (IFC4); ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling, Part. 1-2.

### Fabiana Raco

Architetto, PhD, assegnista di ricerca  
DIAPReM/TekneHub, Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Ferrara  
rcafbn@unife.it

### Guido Galvani

Architetto, assegnista di ricerca  
DIAPReM/TekneHub, Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Ferrara  
glvgdu@unife.it