

# RILIEVO, RESTITUZIONE E PUBBLICAZIONE DEI RISULTATI DEL PALAZZO DEL PODESTÀ A MANTOVA.

Marcello BALZANI(\*), Guido GALVANI(\*),  
Gabriele TONELLI(\*), Federico FERRARI(\*)

(\*) Università degli Studi di Ferrara, Centro di Ricerca D.I.A.P.Re.M. c/o Dipartimento di Architettura, Via Quartieri, 8  
44100 FERRARA, tel. 0532 293601, fax 0532 293630, email [marcello.balzani@unife.it](mailto:marcello.balzani@unife.it)

## 1. Riassunto

Il Comune di Mantova, dopo l'esperienza condotta durante il centenario albertiano che ha visto l'applicazione di nuove tecnologie per la documentazione delle architetture del maestro del Rinascimento, ha deciso di realizzare un rilievo tridimensionale avanzato con una restituzione finalizzata al restauro del Palazzo del Podestà a Mantova. Questo studio, che vede coinvolti il Centro DIAPReM del Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara ed il Consorzio Ferrara Ricerche, è finalizzato all'integrazione di procedure e sviluppo di una banca morfometrica per l'innovazione delle metodiche di progetto di restauro ed alle successive fasi esecutive e realizzative. L'edificio è un imponente manufatto che si sviluppa nel cuore di Mantova in diversi livelli con una superficie complessiva di 9000 metri quadri circa, conformati da circa 300 vani interni e un'altezza media alla gronda di circa 24 metri.

La collaborazione, che si è sviluppata a partire dal luglio del 2006 in diretto rapporto con l'Ufficio Opere Pubbliche del Comune di Mantova, è volta altresì a sperimentare nel tempo l'applicazione di contenuti formativi sui nuclei di progettazione e di gestione delle opere pubbliche dell'amministrazione comunale; la semplice interrogazione dei dati da parte del personale tecnico comunale può entrare a far parte delle prassi operative e diventare fattore determinante per il successo del processo. Date le dimensioni e la complessità del fabbricato, è stato eseguito un rilievo laser scanner 3D integrato con un rilievo plano-altimetrico a mezzo di stazione totale; la durata dell'operazione sul campo è di circa sessanta giorni, nei quali sono state eseguite un totale di 1450 ore di scansione, che hanno generato circa 7.000.000.000 di coordinate spaziali, capaci di definire il fabbricato per una maglia media di 2 cm, relazionate tra loro da una rete tridimensionale di *targets* di 690 punti. Da queste informazioni sono stati generati 23 elaborati CAD in termini di piante, sezioni e prospetti con definizione del dettaglio pari ad una scala di 1:50. Inoltre i dati nativi e derivati sono stati inseriti in *repository* per una accessibilità dei dati tramite sistemi Web e WebGis. Il sistema risultante ha raggiunto gli obiettivi richiesti, riuscendo a soddisfare la committenza in termini di comprensione dell'edificio, delle precisioni ottenute e degli elaborati ottenuti. La ricerca dell'ottimizzazione nella pubblicazione di una così elevata quantità di informazioni ha migliorato l'utilizzabilità dei dati.

## Abstract

*This paper deals with the report of a 3D terrestrial laserscanner survey of Palazzo del Podestà in Mantua (Italy). The overall building extension loads up 9000 sqm by approximately 300 rooms. The laserscanner survey loaded 7 billions of points and integrates a traditional topographic dataset. 23 CAD plans scaled 1:50 were returned as output. All these have been fully implemented in an a public webgis system. Successful research activities were driven in order to produce a highly performance web dataset. Customers appreciated the so obtained results, matching a high level of representative definition.*

## **1. Introduzione**

La scelta di campo, che non trascende tutte i possibili involuppi interdisciplinari, si lega ai cantieri di recupero e di restauro e alla fase di ricerca orientata alle problematiche conservative, facendo dell'evoluzione della tecnologia per il rilievo automatico della geometria un elemento innovatore che consente di introdurre il dato metrico morfologico ad alta densità informativa come supporto essenziale per la costruzione di banche dati tridimensionali, capaci di costituire nel tempo un utile archivio della *memoria geometrica* dell'architettura e dell'edilizia storica, applicabile a fini di ricerca da parte di ingegneri, architetti, diagnostici, strutturisti, storici dell'arte e dell'architettura, ma anche soprattutto per scopi di tutela e conservazione e di supporto ai processi di restauro e di formazione del personale dell'amministrazione pubblica.

## **2. Organizzazione del lavoro**

Un rilievo così dimensionato necessita di un'organizzazione costante e di un progetto che renda efficiente il suo svolgimento durante tutto l'iter di ogni fase ed azione operativa. E' stata creata una rigida gerarchia, in modo da sfruttare a pieno le potenzialità dei diversi strumenti utilizzati, che prevede l'applicazione integrata di componenti topografiche e laser scanner 3D. In particolare, il rilievo plano-altimetrico sviluppato con la stazione totale ha avuto il compito di generare una struttura geometrica che risolvesse le problematiche riguardanti la generazione del modello tridimensionale ed in particolare l'istituzione di un sistema di coordinate che permettesse di mettere in relazione tra loro tutte o solo alcune parti del complesso architettonico, sviando le problematiche legate agli attuali limiti hardware e software e che costituisse il sistema di riferimento per l'estrazione e la restituzione dei dati.

Lo sviluppo di una struttura geometrica così organizzata, infatti, qualora nascesse l'esigenza, può essere messa in relazione con un sistema di coordinate georeferenziato, può consentire un continuo aggiornamento del rilievo geometrico, una fase di monitoraggio e di controllo durante il cantiere di restauro, utilizzando il rilievo come base di controllo per il computo metrico dei lavori ed una comparazione stato-iniziale stato-finale, definendo nel tempo variazioni e modificazione del complesso architettonico. Il rilievo laser scanner assume, quindi, anche la funzione di rilievo di dettaglio, definendo vano per vano ogni caratteristica morfometrica e sfruttando la velocità di acquisizione dell'attrezzatura in rapporto all'articolazione, alla complessità ed alla quantità dell'ambiente oggetto d'indagine. Nel particolare il rilievo laser scanner 3D risponde coerentemente all'esigenza di acquisire ad alta definizione le dimensioni metriche generali e di dettaglio, descrivendo nel contempo tutte le qualità formali costruttive visibili (conformazione di solai, coperture ecc.), le distorsioni morfologiche (irregolarità nel tracciato costruttivo) e le deformazioni geometriche che sono alla portata dell'osservazione strumentale in modo da suggerire indicazioni su dove e come compiere ulteriori approfondimenti ed indagini. La quantità di informazioni offrono l'opportunità di discretizzare i dati in fase di estrazione per poter operare a varie scale di restituzione (dalla scala 1:200 alla scala 1:20 per particolari ambiti di interesse), generare nel dettaglio una banca dati metrica il più possibile oggettiva, con discreti standard di accuratezza ed un relativo peso informatico.

## **3. Rilievo quantitativo: parte "topografica" e rilievo scanner 3D**

L'acquisizione sul campo si compone, dunque, di due fasi: il rilievo strumentale integrato plano-altimetrico a mezzo di stazione totale (che per sintesi analogica d'ora in poi chiameremo "topografico") e il rilievo con laser scanner 3D.

Il rilievo "topografico" è stato eseguito con una stazione totale Leica TCR 1101 ed è composto da 23 poligoni, per un totale di 227 vertici e 690 punti di dettaglio complessivi (target dello scanner 3D). Impostando un sistema gerarchico le poligoni si suddividono in "principali", di "secondo livello" e di "terzo livello". Le poligoni "principali" sono due; una plano-altimetrica a sviluppo prevalentemente orizzontale, conformata come poligono chiusa, il cui scopo è definire la posizione di capisaldi opportunamente posizionati nello spazio, generando una struttura geometrica

di controllo esterna che racchiuda al suo interno il fabbricato. La seconda è una poligonale chiusa plano-altimetrica a sviluppo prevalentemente verticale, che mette in relazione gli estremi in quota del fabbricato e alcuni punti baricentrici intermedi, con il sistema dei capisaldi. La chiusura di entrambe le poligonali principali è avvenuta con uno scarto di modulo 4mm e con una ripartizione equa sulle componenti del vettore spostamento.

Le poligonali di “secondo livello” sono 16 e definiscono l’effettivo rilievo dei target necessari per conformare la struttura spaziale sulla quale si relaziona il rilievo di dettaglio laser scanner; sono tutte poligonali aperte che utilizzano come punti di controllo i capisaldi fissati dalle poligonali principali, acquisendoli in testa e in coda al percorso. I punti di dettaglio si identificano con i target del laser scanner 3D, ed in alcune posizioni chiave del fabbricato costituiscono altri capisaldi di riferimento di “secondo ordine” interni al fabbricato stesso. Questi capisaldi di “secondo ordine”, hanno la funzione di tenere sotto controllo gli eventuali effetti cerniera dovuti alla morfologia del fabbricato, e sono punti di controllo intermedi tra le stesse poligonali di “secondo livello” nonché punti di controllo ad uno degli estremi delle poligonali di “terzo livello”.

Le restanti 5 poligonali di “terzo livello” definiscono il rilievo di dettaglio sempre dei target, lo concludono, ma sono poligonali che partono dai capisaldi esterni costituiti dalle poligonali “principali”, ma per convenienza di percorso, terminano con punti di controllo di “secondo livello” interni al fabbricato.



*Figura 1: Un prospetto del Palazzo del Podestà.  
Sovrapposizione del disegno CAD con nuvola di punti.*

Il rilievo architettonico di dettaglio è affidato al laser scanner 3D e gli strumenti utilizzati sono due Leica HDS 3000. Il numero elevato di stazioni necessarie per descrivere a pieno l’intero complesso architettonico (circa 400), ha posto un problema relativo alla codifica ed alla nomenclatura da assegnare alle singole stazioni nelle procedure di acquisizione, per la successiva gestione dei dati.

E’ stato quindi pre-compilato un eidotipo in fase di progetto di rilievo che, dopo vari sopralluoghi preliminari, ha stabilito posizioni di massima e nomenclatura che rendesse univocamente riconoscibile ogni singola stazione laser scanner 3D.

Si rende noto come tutte le variazioni effettuate in seguito, dovute alla non corretta lettura dell’eidotipo o alla sua scarsa corrispondenza con la reale condizione morfologica dell’edificio, hanno comportato un notevole dispendio di energie e di tempo per l’omologazione di tutti i dati valutato in circa 40 giorni.



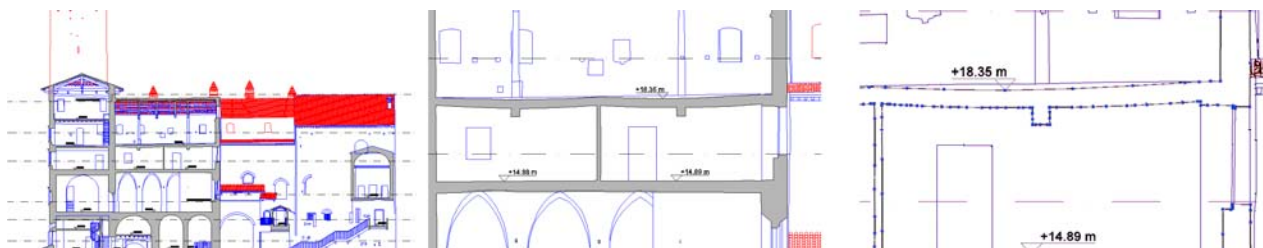
Internamente sono stati stabiliti almeno tre target per ogni vano posizionando il quarto nel locale adiacente, ottimizzandone la posizione per il laser scanner 3D e per la stazione totale. La scelta della maglia di acquisizione è stata impostata pari a 2x2 cm sulle superfici dell'oggetto del rilievo con la definizione di alcuni dettagli di particolare interesse alla maglia di 0,7x0,7 cm.

La banca dati raggiunge un insieme di 7.000.000.000 di coordinate per la descrizione complessiva del fabbricato e del rispettivo ambito urbano, ottenute in 1450 ore di scansione. Il modello complessivo definito dall'integrazione del rilievo "topografico" con il rilievo di dettaglio tridimensionale, compensato ai minimi quadrati ha fornito un sqm di 3mm sui vertici (target).

Operata questa verifica complessiva, si è provveduto a sviluppare vari modelli che impostati sul medesimo sistema di riferimento, formano le basi necessarie per le estrazioni CAD e la formulazione degli elaborati richiesti, interrogabili e comparabili in quanto formulati su un sistema di coordinate locale comune.

#### **4. Restituzione CAD: metodologia e risultati**

La nuvola di punti è un insieme di oggetti difficilmente utilizzabile direttamente, in quanto la sua presentazione non risponde direttamente ai contenuti canonici richiesti. Quindi, attualmente, per un uso operativo è indispensabile creare, a partire dalla nuvola di punti, gli elaborati tecnici che permettano la consultazione, la quotatura e la stampa. Il passaggio dalla nuvola di punti al disegno CAD è avvenuta in un ambiente integrato. La procedura ha creato le primitive grafiche manualmente, verificando di rimanere sempre all'interno delle tolleranze strumentali.



*Figura 2: Sezione rappresentativa CAD e particolari.*

*Si evidenzia la reale deformazione del solaio nei due particolari.*

La restituzione ha generato nove tavole planimetriche, quattro prospetti e nove sezioni, tutte con una precisione corrispondente alla rappresentazione in scala 1:50. Per la creazione di questi elaborati sono stati necessari 20 mesi/uomo di lavoro. Avendo a disposizione la nuvola di punti, sarà possibile creare altri elaborati nel caso di necessità.

#### **5. Fruizione delle informazioni: visualizzazione, esportazione dati e pubblicazione**

La notevole quantità di materiale prodotto ha la necessità di essere consultata da diverse tipologie di persone, tecnici e non, per diversi tipi di utilizzo. La prima necessità è stata di consultare e stampare le tavole CAD. Per effettuare questa operazione, le tavole sono stati convertite in formati raster. In questo modo è stato possibile visualizzare i disegni tramite normali strumenti a disposizione in qualunque computer. Per la stampa, sono stati generati i file in formato PDF, che necessitano però dell'installazione di un particolare programma per loro gestione.

Per rendere disponibili i dati ad un numero di utenti maggiore è stata utilizzata una struttura web su un server, tramite diverse modalità:

- l'accesso, tramite una pagina web, ai disegni in formato Dwf,
- la visualizzazione completa dell'edificio tramite un sistema Webgis.

La prima modalità permette la misura dimensionale in luoghi diversi dalle zone quotate, oltre alla possibilità di commentare il disegno. Il sistema Webgis, basato sul programma Cartology.NET e che funziona da image-server, permette la visualizzazione di tutto l'edificio, potendo così confrontare livelli diversi.

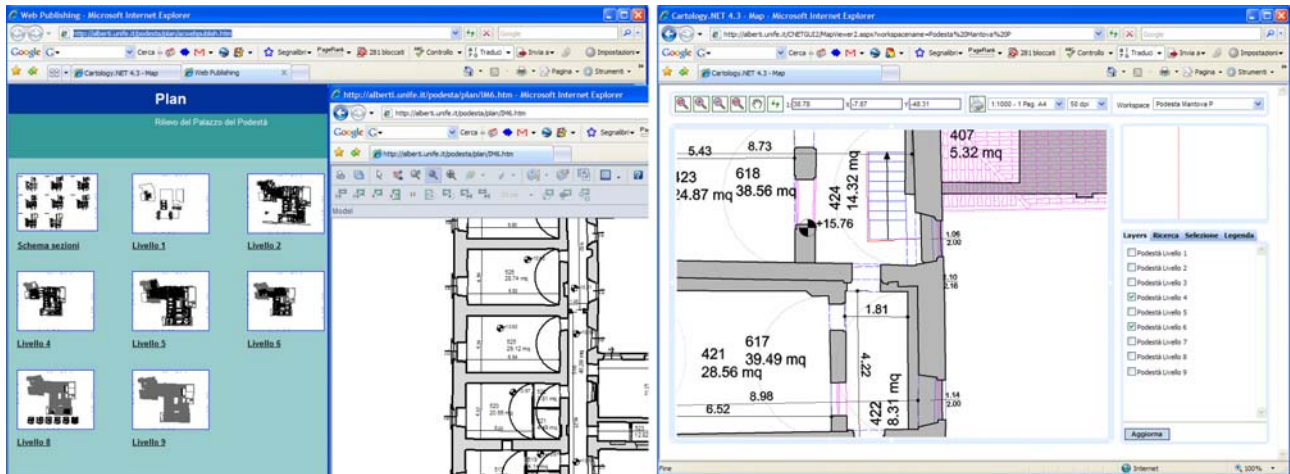


Figura 3: Pubblicazione Web in Dwf e WebGis.  
Da notare la verifica della sovrapposizione di livelli diversi.

## 6. Conclusioni

Il sistema risultante attualmente ha raggiunto gli obiettivi richiesti, riuscendo a soddisfare la committenza in termini di comprensione dell'edificio, delle precisioni ottenute e degli elaborati ottenuti. Nell'ambito della pubblicazione il lavoro è ancora in corso, vista la grande quantità di informazioni disponibili. La ricerca dell'ottimizzazione nella pubblicazione di una così elevata quantità di informazioni ha migliorato l'utilizzabilità dei dati. Il sistema informativo potrà evolvere così verso un *repository* contenente informazioni non solo geometriche ma anche informative e di gestione.

## Bibliografia

- Balzani M., (2007), "Il rilievo morfometrico tridimensionale delle architetture albertiane", in AA.VV. *Leon Battista Alberti e l'architettura*, Catalogo della Mostra, Casa del Mantegna, Mantova 16 settembre 2006 - 14 gennaio 2007, Milano, Silvana Editore, pp. 178-201.
- Gaiani M., (2007), "Digital Information System per il patrimonio architettonico. Ovvero: dei mezzi della rappresentazione dell'architettura nel terzo millennio", in *Atti e-ARcom – Sistemi informativi per l'Architettura*, Ancona maggio 2007, Firenze, Alinea, pp. 17-22.
- Docci M., Fiorucci T. (a cura di), (2002), *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente*, Ricerca COFIN, Gangemi Editore, Roma.
- Balzani M., "Laser Scanner Technologies for the Surveying of Monuments and for the Prototyping of Architectural Elements", Bertocci S., Parrinello S. (a cura di), *From the Survey to the Project: the Identity of the Towns. The Contribution of New Technology in Remote Data Management*, Firenze, Edifir, pp. 50-63.
- Cignoni P., Ganovelli F., Gobbetti E., Marton F., Ponchio F., Scopigno R., (2005), *Batched Multi Triangulation*, Proceedings IEEE Visualization Conference, October 2005, IEEE Press, pp. 27-2.
- Ferrari F., (2007), "Un sistema di easy-navigation, per la consultazione e l'interrogazione dei database tridimensionali metrici", *Geoinforma*, n. 1 (2007), pp. 50-52.

## Crediti

Comune di Mantova: Settore Opere Pubbliche. Dirigente: Ing. Sergio Mantovani. Responsabile del Procedimento: Arch. Paola Menabò. Università degli Studi di Ferrara. D.I.A.P.Re.M. Centro Dipartimentale per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti. Dipartimento di Architettura - Università degli Studi di Ferrara. Responsabile scientifico: Prof. Marcello Balzani. Responsabile tecnico: Arch. Guido Galvani. C.F.R. Consorzio Ferrara Ricerche. Rilievo tridimensionale e restituzione: Filippo Casarini, Luca Cosimi, Guido Galvani, Stefano Guidi, Marcello Guzzinati.