

Politecnico di Milano
Scuola di Architettura a Società | Polo territoriale di Mantova
Corso di Laurea Magistrale in Architettura



Valorizzazione e comunicazione del Patrimonio Culturale

caso applicativo del Museo della Città
Palazzo San Sebastiano - Mantova

Prof. Luigi Fregonese - Relatore
Arch. Laura Taffurelli - Correlatrice

Lucia Crotti 755918
Paola Giannini 755922

Anno Accademico 2011-2012

Abstract	5
Introduzione	7
1 Notizie di Storia	9
1.1 Cenni Storici	12
1.2 Struttura Attuale	14
1.3 Destinazione Museale	17
2 Rilievi Integrati	21
2.1 Laser Scanner e Stazione Totale funzionamento e applicabilità	24
2.2 Acquisizioni Laser Scanner Museo della Città - Palazzo San Sebastiano	27
2.3 Inquadramento Topografico e orientamento delle nuvole	37
2.4 Gestione dei Dati	40
2.5 Acquisizioni di Dettaglio degli Ambienti	43
3 Modellazione	53
3.1 Metodologie di Modellazione	56
3.2 Costruzione per Primitive Geometriche	63
3.3 Costruzione del Modello 3D	68
3.4 Costruzione delle Volte	73
3.5 Applicazione della Texture	81
4 Realtà Virtuale	87
4.1 Il Museo Virtuale	90
4.2 Il Museo della Città in Rete	96
4.3 Tipologie di Navigazione Virtuale	99
4.4 Una Nuova Voce per il Museo	110
Conclusioni	115
Bibliografia	117
Siti Web Consultati	118
Indice delle Figure	119

Il presente lavoro, svolto all'interno del laboratorio LA.RI.FO (Laboratorio Rilievo e Fotogrammetria) del Politecnico di Milano, è il risultato di una collaborazione con la Direzione del Museo di Mantova e mostra le fasi di rilievo laser scanner, di inquadramento topografico, di elaborazione e gestione di scansioni, di creazione del modello 3D, di mappatura e di differenti metodi di navigazione virtuale.

La tesi, che ha per oggetto il Museo della Città - Palazzo di San Sebastiano - a Mantova, si propone di affrontare ed approfondire il tema della valorizzazione e comunicazione di un Bene Culturale, tramite il processo che a partire dal rilievo porta alla generazione di modalità di rappresentazione, visualizzazione e fruizione del Bene. La costruzione di modelli tridimensionali geometricamente corretti aumenta la potenzialità di interazione tra competenze e discipline differenti, dal tecnico allo specialista, dall'ente istituzionali al semplice fruitore.

Nonostante lo studio di casi reali e la programmazione delle varie fasi del lavoro sul Palazzo è importante sottolineare che in questo campo ogni esperienza presenta proprie caratteristiche e peculiarità che la rendono interessante e difficilmente descrivibile con schemi convenzionali e metodologie standardizzate, quindi le problematiche emerse hanno, di volta in volta, indirizzato e spinto la ricerca all'approfondimento di certi aspetti piuttosto che altri, modificando o rallentando le operazioni e al contempo sperimentando nuove applicazioni tecnologiche.

Lo sviluppo dei molteplici segni e dei linguaggi per comunicare al vasto pubblico la complessa realtà del Patrimonio Culturale, costituito da musei, aree archeologiche e collezioni, ha suggerito lo sviluppo e l'applicazione delle tecnologie della comunicazione visiva.

Le tecnologie prescelte, infatti, comprendono video in computer grafica 2D, 3D, restituzione fotogrammetrica e scansione laser 3D, creando tra loro un legame che privilegia l'esperienza immersiva e plurisensoriale della Realtà Virtuale.

Tutte queste applicazioni vengono impiegate in modo organico e sistematico per affrontare la delicata questione della comunicazione a fini scientifici e divulgativi.

La stretta integrazione tra tecnologie digitali ed elaborazione dei dati storico-archeologico, crea un utile strumento di conoscenza attraverso il Web, offrendo all'utente la possibilità di accedere ad importanti realtà culturali.

Il campo dei Beni Culturali ha suscitato nel corso degli ultimi anni un interesse sempre più frequente da parte della comunità scientifica che fa riferimento alle scienze del rilevamento. L'UNESCO ed altre fra le maggiori agenzie ed autorità nel settore pongono ormai sempre maggiore attenzione alla documentazione metrica digitale accurata di siti archeologici, centri storici cittadini, complessi edificati d'importanza storico architettonica, reperti archeologici; si è andata quindi sempre più diffondendo l'idea che la conoscenza di un bene non può riguardare solo la sua storia artistica, ma deve necessariamente comprendere anche le sue caratteristiche di posizione, forma e geometria.

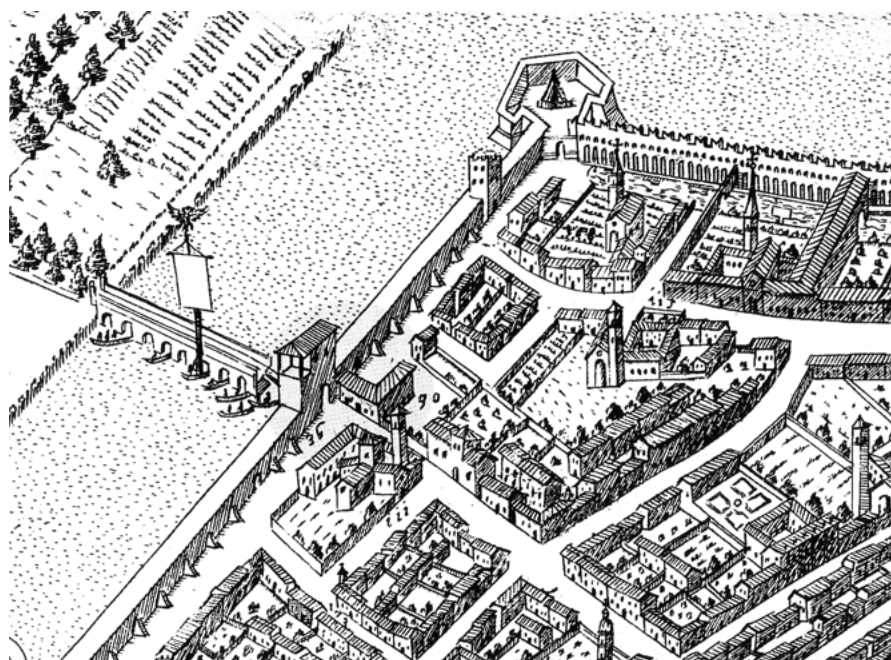
Le scienze geo-topo-cartografiche hanno conosciuto negli ultimi anni un profondo rinnovamento ed un'importante evoluzione, e le possibilità oggi rese concrete dalle tecnologie elettroniche ed informatiche, offrono nuove prospettive in tutte le applicazioni del rilevamento.

In questo senso il campo dei Beni Culturali è quello che più degli altri si presta ad un approccio complementare e integrato di tecniche e tecnologie diverse, tutte di grande interesse e in continuo sviluppo; in primo luogo perché in questo settore ogni situazione costituisce un caso a sé stante, con le proprie caratteristiche, problematiche e specificità; in secondo luogo qualunque bene per poter essere correttamente studiato e compreso non va considerato solo come singola entità, ma va inserito nel contesto territoriale in cui si trova e questo costringe spesso ad adottare un approccio multi-disciplinare e multi-scala, che partendo dal rilievo del territorio arriva fino al singolo reperto, ponendo per ogni fase problematiche diverse, che richiedono strumentazioni distinte e che operano con precisioni non omogenee e differenti sistemi di riferimento, ma che devono alla fine riuscire a coesistere e comunicare; in terzo luogo questo è un settore che interessa moltissime aree di studio, dall'archeologia all'architettura, dalla storia all'arte, dal rilevamento alle scienze strutturali, ed ogni studioso ha le proprie esigenze in termini di procedure, dati di partenza, conoscenze necessarie e prodotti finali ottenibili, ma tutte queste aree di studio devono riuscire in qualche modo a colloquiare tra loro. Le nuove tecniche e tecnologie digitali ed informatiche offrono la possibilità di ottenere nuovi prodotti non solo dalle attività di rilievo, ma anche nella rappresentazione e nella comunicazione del bene culturale.

1 Notizie di Storia

Da tempo gli studiosi di storia e di urbanistica mantovane hanno individuato un particolare asse viario interno alla città, denominato “asse privato gonzaghesco”. Esso non coincide con le vie d’uscita della città medievale, ma collega la reggia del Palazzo Ducale a Palazzo Te, attraversando Mantova e toccandone le emergenze monumentali più qualificate: l’antico Palazzo Comunale, il Palazzo della Ragione, la Rotonda di San Lorenzo, la basilica di Sant’Andrea. Al capo opposto rispetto a Palazzo Ducale altri insigni monumenti sono raccolti nell’ambito di poche centinaia di passi. Ai lati della via si incontra dapprima la Casa del Mantegna; quasi di fronte a questa sorge la chiesa di San Sebastiano, affiancata dal relativo monastero. Sull’altro lato della strada si erge la mole del Palazzo di San Sebastiano, ultimo presidio gonzaghesco in territorio urbano, un tempo addossato alle mura della città e alla porta Pusterla, dalla quale un lungo ponte conduceva all’isola e alla villa suburbana del Te.¹

Fig. 1 | G. Bertazzolo, *Urbis Mantuae descriptio*, 1628. Veduta della zona di San Sebastiano. Il Palazzo e Porta Pusterla.



¹ Carla Cerati, *I trionfi di Cesare di Andrea Mantegna e il Palazzo di San Sebastiano in Mantova*, collaborazioni Royal Collection, Hampton Court, Londra Galleria Nazionale, Praga Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici, Archivio di Stato, Archivio Storico Comunale, Mantova, 1989

1.1 Cenni Storici

Il Palazzo di San Sebastiano, così denominato per la vicinanza alla chiesa e all'omonimo convento, fu edificato tra il 1506 e il 1508 per volere di Francesco II Gonzaga, che vi abitò a partire dal 1507 e vi morì nel 1519. La scelta del Palazzo di San Sebastiano come residenza, probabilmente dovuta anche alla presenza delle scuderie gonzaghesche sulla vicina isola del Te, fu preceduta dall'acquisizione di un vasto lotto comprendente anche la casa del Mantegna, che l'artista cedette al marchese nel 1502. L'edificazione fu affidata a Gerolamo Arcari e, in qualità di sovrastante alle fabbriche, a Bernardino Ghisolfo. L'edificio fu eretto e in buona parte decorato nel 1506, come appare dalle lettere dell'Arcari che forniscono informazioni sulle quattro camere a volta del piano terreno, caratterizzate dalla presenza di imprese: "la camera del sole", "la camera del crogiolo", "la camera con l'arma del re di Francia" (porcospino) e "la camera con l'arma dell'imperatore". Nell'ottobre del 1506 fu realizzata la "loza", il grande porticato a sette archi che caratterizza il fabbricato sulla fronte nord. Nel novembre dello stesso anno fu completata la sala I primo piano, quella destinata ai "trionfi", con un soffitto a cassettoni decorati con l'impresa del "crogiolo". Lo splendido soffitto, trasportato a Palazzo Ducale nel 1601, orna ancor oggi due ambienti dell'appartamento di Vincenzo nella reggia gonzaghesca. L'emblema prediletto di Francesco II, che si ripete nei lacunari, e i fregi dorati sono di mano di Lorenzo Leonbruno, autore di molti altri interventi pittorici e ornamentali nel Palazzo di San Sebastiano. Altri importanti artisti furono impegnati nella realizzazione di affreschi e dipinti su tela; nei documenti ricorrono i nomi di Dosso Dossi, Lorenzo Costa e Matteo Costa.

Oltre alle già citate stanze del pian terreno, decorate con imprese, fu dipinta da Leonbruno la loggia (tracce di affresco vi comparivano ancora agli inizi del nostro secolo) e le pareti esterne di cui restano pochi brani di fregio sul lato sud e in una porzione di intonaco, con riquadri a finti marmi rossi e bianchi divisi da fascette verdi, sull'angolo sud est.

Nel 1507 il Palazzo risulta già terminato nel corpo longitudinale (m 54 x 8) secondo lo schema ancora oggi leggibile: la loggia al centro di due ambienti in serie a ogni estremità e, al piano superiore, la grande "sala dei trionfi" con un ambiente sulla testata ovest e due su quella est.

Il corpo aggettante verso sud, che contiene le due camere a volta del piano superiore, è con ogni probabilità il risultato di un ampliamento avvenuto dopo gli anni tra il 1521 e il 1525, quando fu realizzata, per opera di Alessio Beccaguto, una nuova cinta bastionata in sostituzione delle precedenti mura trecentesche. Le camere del primo piano, di cui si è detto, appoggiano su un tratto delle mura e sono collegate al Palazzo dall'androne a volta, che consentiva la continuità del cammino di ronda. Il nuovo corpo riprodusse i caratteri architettonici esterni di quello precedente (cornicione e decorazioni) occultando il cornicione originario ancor oggi visibile, con la sua vivace decorazione, nel sottotetto sovra-



Fig. 2 | Ritratto di Francesco II Gonzaga, Vienna, Kunsthistorisches Museum.



Fig. 3 | Loggiato del fronte settentrionale. Particolare prima dei restauri.



Fig. 4 | Camera delle Freccce. Particolare decorazione originale prima dei restauri.

stante le camere delle “freccce” e delle “briglie”. Nel 1525 furono costruite la nuova Porta Pusterla e la torretta coronata da loggia, congiunte al Palazzo e demolite nel 1903.

L’edificio, che rimase proprietà gonzaghesca fino al XVII secolo, fu concesso in uso a illustri personaggi come il marchese Maffei o a esponenti dei rami laterali della famiglia: i Gonzaga di Gazzuolo, di Novellara, di Castiglione. Nel Palazzo di San Sebastiano Luigi Gonzaga, il santo, alla presenza del principe Vincenzo cedette la primogenitura al fratello Rodolfo, il 12 novembre 1585.

Nel XVII secolo l’edificio è indicato nei documenti come “Palazzo delle Bugandere”, perché le lavandaie stendevano sotto il porticato i panni lavati nella contigua Fossa Magistrale. Nel 1756 il palazzo fu adibito a caserma e nel 1786 Paolo Pozzo lo inserì in un ampio progetto di adattamento a ospedale, dipendente dal vicino convento di San Sebastiano. Lo stesso Pozzo suggerì successivamente l’utilizzo a carcere. Risale al 1883 l’adattamento a lazzaretto, che ha causato le maggiori modifiche nell’edificio (sopraelevazione e nuova scala).

Nel 1886 la proprietà passò al Comune di Mantova, che tra il 1902 e il 1903 operò la demolizione delle mura, della Porta Pusterla e della torretta addossata al Palazzo.

Nel 1910 fu realizzato un muro di chiusura del loggiato che nel 1921, subì la suddivisione in piccole stanze in occasione dell’adattamento a bagni pubblici.

L’edificio fu utilizzato dal Liceo Scientifico dal 1923 al 1936 e successivamente fu sede della Scuola di musica Lucio Campiani.

1.2 Struttura Attuale

Nonostante le manomissioni, il Palazzo si presenta ancora chiaramente leggibile nella sua struttura originaria. Ben conservata è la scala a “L” della testata ovest, con il primo ramo coperto da volta a botte rettilinea e il pianerottolo intermedio sovrastato da una piccola volta a ombrello. La copertura della seconda rampa, ora alterata dalla realizzazione dei servizi igienici del secondo piano, era anch’essa a botte, come testimoniato da tracce nell’intonaco delle pareti.

Al piano terreno, sempre partendo da ovest, la prima camera è quella del “crogiolo”, che reca in evidenza l’originaria decorazione cinquecentesca (testimoniata dai documenti) con l’impresa del “crogiolo” dipinta al centro della volta e, nelle lunette incorniciate da nastri e festoni, le imprese isabelliane del “candelabro”, della “A fiammeggiante” e delle “pause musicali”, alternate a quella del “crogiolo”. Sulla volta e sulle pareti, fino quasi a pavimento, sono dipinte le fiammelle guizzanti connesse al “crogiolo”, che proseguono anche nella volta del sottoscala.

La camera attigua (non è stato ancora individuato il vano di passaggio) è accessibile solo dall’esterno mediante apertura impropria sul lato sud. La controsoffittatura recente non impedisce di cogliervi la presenza della volta a lunette, di cui si notano peducci e imposte. L’analisi storica porta a identificare la camera con quella dell’“arma del Re di Francia” o del “porcospino”; anch’essa, si presume, in origine decorata in modo analogo a quella del “crogiolo”.

Al centro del Palazzo è il vano della loggia, ora bipartito e alterato dal tamponamento delle arcate e da controsoffitti che celano il solaio. Questo, dai sondaggi effettuati, risulta composto da travi principali corrispondenti alle colonne, travetti e assito, ma è privo di elementi di finitura quali listelli e tavolette, e non presenta alcuna decorazione. La struttura lignea è probabilmente quella originaria ed è quindi ipotizzabile che l’apparato decorativo fosse affidato a una soffittatura sottostante di cui al momento non sono individuabili le tracce. Attiguo verso est è il vano ora occupato dalla scala, inserita nel 1883 per l’utilizzo a lazzeretto. Essa collega tutti i piani girando attorno a un vano chiuso che risulta essere stato realizzato per il sollevamento delle lettighe. I sondaggi hanno messo in evidenza brani della decorazione dell’originario ambiente a pianterreno, identificato come camera dell’“arma dell’imperatore”. Negli spazi corrispondenti alle lunette della volta demolita compaiono imprese (la “museruola”, la “ruota”) e profili classicheggianti entro tondi, con caratteri stilistici riconducibili a Lorenzo Leonbruno. Conclude la teoria di ambienti del pianterreno la più piccola camera del “sole”, la cui impresa è dipinta al centro della volta; restano da sondare lunette e pareti.

Il vano corrispondente al “cammino di ronda” è ora fittamente tramezzato, ma sono ben visibili le strutture con la volta a botte e il potente muro con contrafforti, raccordati anch’essi da volte a botte, notevole testimonianza delle mura cinquecentesche.



Fig. 5 | Scala del lato est prima dei restauri. Particolare impresa della ruota.



Fig. 6 | Camera del Crogiolo prima dei restauri. Lunetta, Impresa della A fiammeggiante.



Fig. 7 | Camera del Crogiolo prima dei restauri. Lunetta, Impresa del candelabro.



Fig. 8 | Camera del Crogiolo, volta prima dei restauri. Impresa del Crogiolo.

Il primo piano, la cui altezza originaria giungeva fino al cornicione per sette metri circa (la stessa altezza del piano terreno), è alterato dall'interposizione, in tutti gli ambienti, di un solaio intermedio, inserito sempre nel 1883 in occasione della sopraelevazione del settore centrale. Sempre iniziando da ovest, la prima sala, sovrastante il primo ramo della scala e la stanza del "crogiolo", è ora fittamente tramezzata e reca, solo nella parte superiore (ora al secondo piano), sulla parete e per un'altezza di circa m 2,50 dal soffitto, una decorazione seicentesca con paesaggi inquadriati da cornici a volute e racemi.

Analoga è la condizione del successivo spazio, identificabile come "sala dei Trionfi", della quale, nonostante le tramezzature attuali e il solaio interposto, rimane leggibile la configurazione di lungo vano rettangolare (m 31,50 x 7,25), finestrato solo sul lato nord e non decorato nella parte bassa. La parte alta, che sui tre lati ovest, sud ed est accoglieva le tele dei "trionfi", reca ora tracce della decorazione seicentesca a volute e racemi. Il solaio, inserito nel 1883, è impostato proprio dove inizia la decorazione ed è costituito da travi rustiche con interposte putrelle. La parte superiore del vano, corrispondente alla "sala dei trionfi" (il cui soffitto originario con il motivo del "crogiolo" si trova oggi in Palazzo Ducale), è ora coperta da soffittatura sostenuta dalle capriate che reggono il tetto, probabilmente originarie e traslate nella sopraelevazione del 1883.

Nel vano della scala ottocentesca sono comparse tracce di un fregio a intreccio, rosso su fondo giallo ocra, certamente appartenente alla decorazione originaria, come risulta da riferimenti coevi che vanno dai frammenti emersi nella chiesa di S. Maria della Vittoria alle decorazioni dell'Appartamento Vescovile di Isabella d'Este. Nella parte alta compare invece la decorazione successiva (XVII secolo) con motivi di paesaggi incorniciati da trabeazioni e finti marmi.

L'ultimo ambiente, verso est, sovrastante la camera del "sole", presenta solo nella parte alta tracce di una decorazione murale al momento non ben identificabile e bisognosa di ulteriori sondaggi.

Le camere dell'avancorpo sud, ben conservate nella struttura a volta su lunette e peducci, hanno rivelato la presenza di decorazione impostata con criteri analoghi a quelli dei più antichi ambienti del piano terreno. I sondaggi hanno consentito di individuare la camera delle "freccette" (a est), grazie al motivo delle freccette dipinte a raggiera nella volta. Sono emerse anche porzioni dipinte nel rosone centrale e nelle lunette.

Nelle lunette e sulle pareti l'intonaco è stato totalmente rifatto.

Sulla parete nord della stanza delle "freccette", che per un breve periodo, dal 1508 al 1525, fu la parete esterna del palazzo, compaiono frammenti della decorazione di facciata, con motivo a spalliera di rampicanti. Analogamente, nel sottotetto sovrastante le volte sono ben visibili sia l'originario cornicione decorato a ovuli e palmette, sia il sottostante fregio a girali. Il motivo continua, scarsamente leggibile a causa degli agenti

atmosferici, sulle pareti esterne (lati est e sud) ed è ripreso nello stesso avancorpo del 1525.

Perduta la quasi totalità dell'originario apparato decorativo ad affresco, sulle fronti esterne il Palazzo si presenta nell'essenzialità dei pochi elementi architettonici significativi: l'alto cornicione a modanature interrotto solo sulle fronti nord e sud nel settore centrale, in corrispondenza della sopraelevazione; la loggia con le alte arcate ornate da ghiera in cotto a ovuli (non si nota più traccia della decorazione dei sottarchi, osservata dallo Schiavi nel 1927); le mensole di marmo che segnano a due a due il ritmo delle finestre al primo piano sulla fronte nord e risvoltano sulla fronte est (la loro funzione - ballatoio o tettuccio protettivo - è problematica).

Il resto dell'ampia stesura muraria è segnato da semplici aperture rettangolari, regolari, anche se forse non originarie, sul lato nord, improprie sugli altri tre lati.

Tutti gli elementi complementari, quali serramenti e pavimenti, non rivelano alcuna relazione con la fase rinascimentale del fabbricato e sono riferibili ai numerosi sommarî interventi compiuti tra XIX e XX secolo. Sempre allo stesso periodo è riferibile il corpo a due piani su largo XXIV Maggio, eretto nel 1904 dal Comune di Mantova per alloggi di edilizia pubblica; di pochi decenni precedente è il corpo rustico verso viale Gioppi.

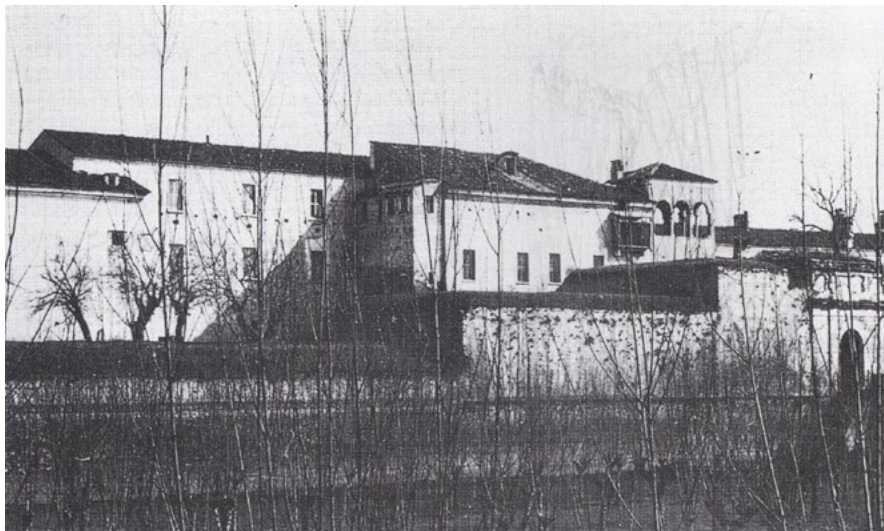


Fig. 9 | Fronte sud prima della demolizione del 1902.

1.3 Destinazione Museale



Fig. 10 | La torretta isolata dopo la demolizione di Porta Pusterla.



Fig. 11 | La torretta isolata dopo la demolizione di Porta Pusterla.

Gli usi impropri e la difficoltà di interventi manutentivi in presenza di tali utilizzazioni, nonché la condizione di abbandono dei piani superiori, hanno reso improcrastinabile la scelta di un intervento globale di recupero che assicuri la conservazione rigorosa del monumento parallelamente a un suo coerente utilizzo.

All'istanza della conservazione e dell'utilizzo si aggiunge quella della conoscenza e della degna collocazione di un edificio, cui solo da pochi anni viene riconosciuto il ruolo storico di prestigiosa residenza gonzaghesca, antesignana di Palazzo Te nella ricerca del fasto e nella scelta del sito, carica di maggior significato evocativo per essere stata il contenitore eletto per la serie dei Trionfi di Andrea Mantegna. A queste caratteristiche intrinseche se ne aggiunge una, dominante, urbanistica e ambientale, che vede inserito il Palazzo di San Sebastiano in un nodo di concentrazione, sul margine sud della città storica, di alcuni fra gli episodi più prestigiosi del Rinascimento. Rispetto al tradizionale polo storico culturale (e per conseguenza turistico) di Mantova che è il Palazzo Ducale, fisicamente connesso con il cuore della città medioevale, il nodo di Porta Pusterla, con il tempio albertiano di San Sebastiano, la Casa del Mantegna, il Palazzo Te e il Palazzo San Sebastiano è destinato a divenire un secondo fondamentale polo culturale e in particolare museale.

Già con il recupero di Palazzo Te l'Amministrazione Comunale ha aggiunto alla salvaguardia del monumento la sistemazione di alcune collezioni di sua proprietà, supplendo in parte alla carenza di un museo civico. Dal canto suo la Provincia ha riportato a intensa fruizione come sede di esposizioni ed eventi culturali la Casa del Mantegna. Con il Palazzo di San Sebastiano, e con l'auspicabile acquisizione del convento di San Sebastiano (ora del demanio dello Stato), il progetto giungerebbe a compimento dando luogo a un polo museale di eccezionale portata, non solo per l'importanza delle collezioni da esporre e salvaguardare, ma anche per la qualità dei monumenti che correrebbero a ospitarle.

In questo sistema, mentre il tempio di San Sebastiano e il Palazzo Te partecipano innanzitutto come musei di se stessi, e mentre la Casa del Mantegna, per diversità istituzionale e per dimensioni, è più idonea per manifestazioni temporanee, il ruolo di un vero e proprio Museo della Città può essere svolto dal Palazzo di San Sebastiano e, in prospettiva, dal vicino convento omonimo.¹

¹ U. Bazzotti-A. Guastalla-D. Nicolini, Palazzo di San Sebastiano - Da residenza gonzaghesca a Museo della Città, Comune di Mantova, 1999.



Fig. 12 | Il palazzo, ingresso principale da sud-est nel 1998, all'inizio dei restauri.



Fig. 13 | Stato attuale del Palazzo.

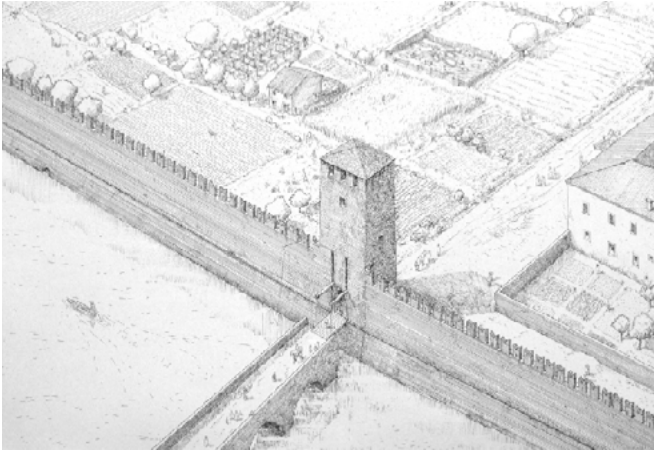


Fig. 14 | Mantova, Palazzo S. Sebastiano, Torre di Porta Pusterla (fine XV sec.). Guglielmo Calciolari, china.

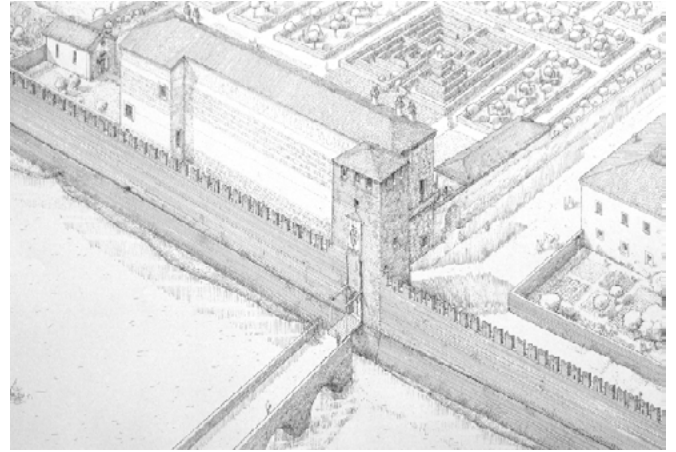


Fig. 15 | Palazzo San Sebastiano (1508). Guglielmo Calciolari, china.

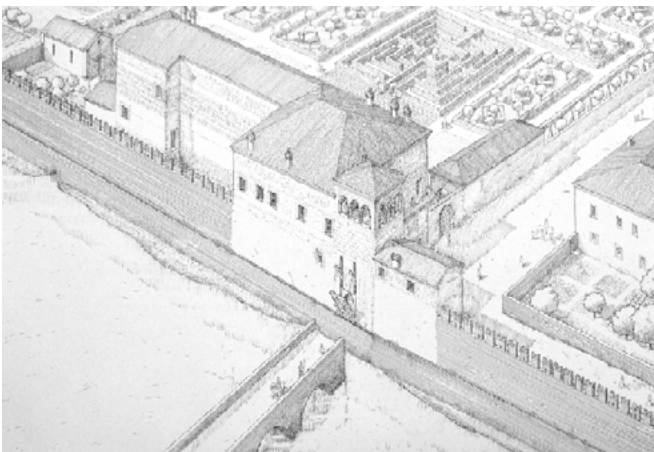


Fig. 16 | Palazzo San Sebastiano, l'addizione del 1512. Guglielmo Calciolari, china.

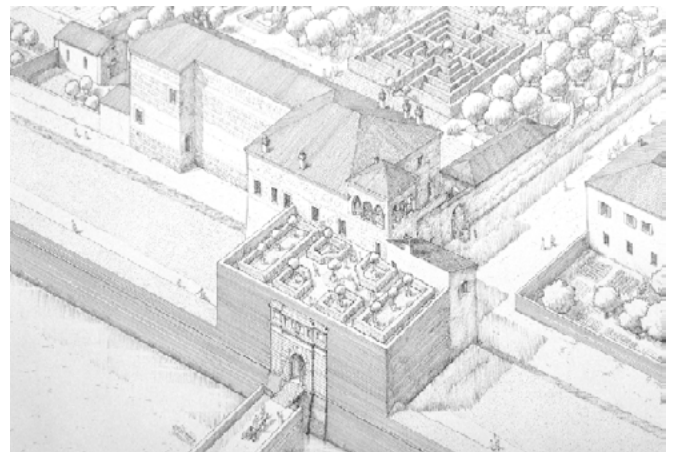


Fig. 17 | Palazzo San Sebastiano (1525-1530 circa). Guglielmo Calciolari, china.

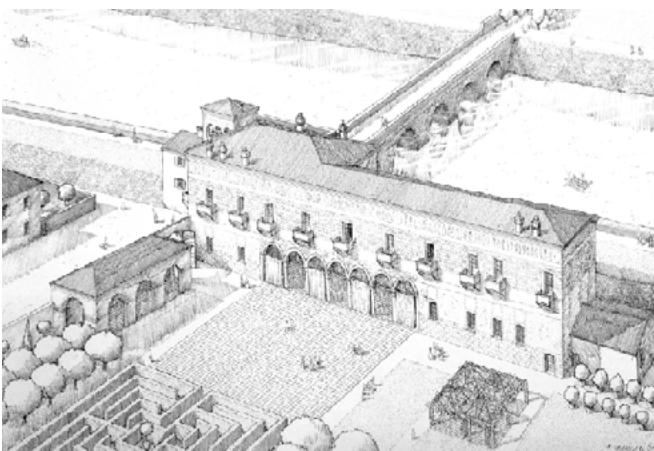


Fig. 18 | Palazzo San Sebastiano, veduta della loggia dalla parte del giardino (1525 circa). Guglielmo Calciolari, china.

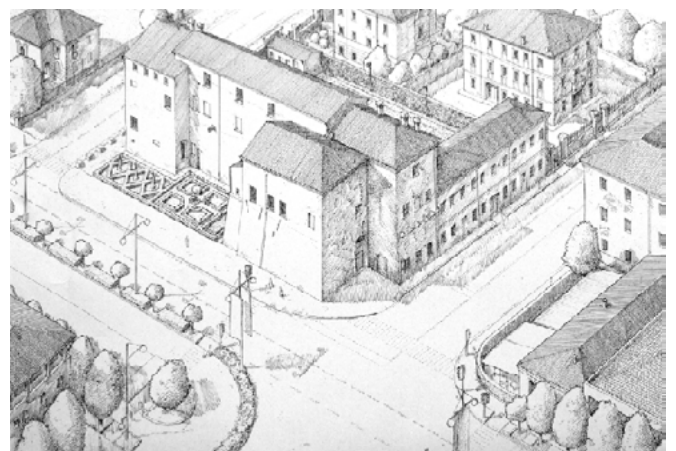


Fig. 19 | Palazzo San Sebastiano oggi. Guglielmo Calciolari, china.

2 Rilievi Integrati

Negli ultimi anni il rilevamento architettonico ed urbano si è caratterizzato per tre fenomeni che ne hanno modificato profondamente il corpus disciplinare e le prospettive. Sostanzialmente si tratta di tre aspetti che derivano in larga misura da un'unica causa: l'avvento dell'informatica che ha modificato profondamente sia le metodologie di rilevamento, sia le strumentazioni, sia le tecniche di rappresentazione. Le tre parole chiave che sintetizzano questo fenomeno sono le seguenti: l'integrazione di differenti metodologie di rilevamento, il rilevamento con il laser scanner e la modellazione 3D.

Tutti questi aspetti, in un modo o nell'altro, derivano dagli eccezionali sviluppi che dagli anni ottanta del secolo passato ha avuto l'informatica, sviluppi che sono entrati in modo inatteso all'interno della disciplina del rilevamento, cambiandone in modo radicale, metodologie e strumentazioni.¹

Oggi si hanno a disposizione una serie di metodologie di rilevamento che vanno dal tradizionale rilievo diretto, fino ad arrivare al rilevamento con il laser scanner, passando per il rilevamento strumentale e la fotogrammetria. Tali metodologie, che restituiscono differenti tipi di informazioni, possono agevolmente integrarsi tra loro, grazie all'informatica che rende i dati del rilevamento confrontabili.

La digitalizzazione dei Beni Culturali rappresenta uno strumento virtuale di relazione e conoscenza, con il quale è possibile trasmettere la loro memoria nel tempo superando quei limiti fisici che possono impedire una fruizione approfondita del bene. Una tale strutturazione non può prescindere da una loro conoscenza dettagliata dal punto di vista geometrico, morfologico e contestuale (collocazione spaziale in cui sono inseriti).

Nel campo del rilievo sempre più spesso si punta all'ottenimento di risultati il più possibile accurati e completi per descrivere al meglio la complessità di un Bene Culturale, mediante l'integrazione di diverse tecnologie di rilievo.

1 Mario Docci - Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città, Gangemi Editore, Roma, 2004

2.1 Laser scanner e Stazione Totale: funzionamento e applicabilità

L'applicazione dei laser scanner al rilevamento architettonico, iniziata sul finire del secolo scorso, si è diffusa rapidamente e la loro applicazione al rilevamento dell'architettura oggi è divenuta pratica quotidiana.

Il rilievo tramite laser scanner è una scienza che si basa sulla raccolta di dati e la conseguente rappresentazione dello stato di fatto di un manufatto o di una situazione ambientale. La tecnologia in questo campo è in continua evoluzione e negli ultimi anni ha consentito di utilizzare metodi e strumentazioni precise e veloci, dalle quali si può ottenere un corpus di dati considerevole, che permette di ricavare rappresentazioni approfondite della situazione in questione.

Il laser scanner consente l'elaborazione di un modello tridimensionale nel quale le superfici vengono individuate da nuvole di punti discreti (points cloud), con un livello di dettaglio che è legato alla tipologia dello strumento utilizzato, alle impostazioni dello stesso e alle condizioni dell'ambiente in cui si svolgono le operazioni di presa.

Questa strumentazione ha i vantaggi notevoli di non essere invasiva, avere grande precisione, portata e velocità di acquisizione del dato. Si tratta quindi di un metodo di rilievo che fornisce diversi sviluppi rispetto alle tecniche più tradizionali.

Per contro si devono considerare gli elevati costi della strumentazione e i tempi richiesti per il post-processamento, durante il quale deve essere eseguito un filtraggio del dato per eliminare eventuali oggetti estranei ai rilevamenti e il rumore che si può creare nella nuvola di punti. Tali svantaggi sono però ampiamente compensati dalla qualità, accuratezza e completezza della documentazione acquisita.

Le metodologie classiche di rilievo, come quelle esclusivamente manuali o con strumenti tradizionali, ad esempio il teodolite, permettono di rilevare alcuni punti identificabili a occhio nudo e sufficienti per ricostruire solo una forma semplificata dell'oggetto. Nel caso del laser scanner invece, viene rilevata la forma complessiva dell'oggetto che risulta completo in tutti i suoi particolari. In una fase successiva sta nell'operatore estrarre solo quelle informazioni a lui utili.

Il risultato è un modello virtuale determinato da numerosi punti che descrivono nella sua interezza la geometria dell'oggetto in studio.

Al contrario delle forme più tradizionali, il rilievo laser scanner gode della possibilità di generare un numero pressoché infinito di profili e sezioni ottenibili dal modello.

Infatti questa modalità non si limita, nel caso ad esempio di una pianta architettonica, a rilevare alcuni singoli punti indicativi di una geometria ad una certa quota, ma ricava le coordinate spaziali di milioni di punti posti indistintamente in tutte le direzioni. Viene quindi generato un modello 3D dell'edificio da cui, anche a distanza di tempo, può essere ricavata secondo l'esigenza, qualsiasi sezione si necessiti.

Il funzionamento del laser è strettamente legato anche alle condizioni

dell'ambiente in cui si trova. Esso può risentire dell'eccessiva radiazione luminosa, dell'umidità, nonché essere influenzato dal materiale di cui sono costituite le superfici, in quanto si possono verificare fenomeni di rifrazione e dispersione del raggio laser. La capacità di una superficie o un materiale di assorbire o riflettere le onde elettromagnetiche del laser può determinare quindi degli errori grossolani nelle misure delle distanze, riducendo così la portata dello strumento.

Il principio che sta alla base del laser scanning è quello di misurare un ampio numero di punti di densità elevata per mezzo dell'emissione di un'onda luminosa, il raggio laser.¹

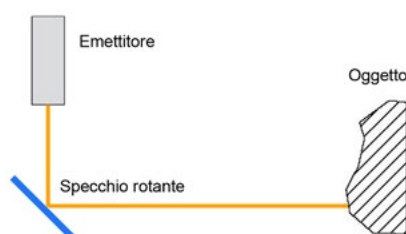
Lo scanner che la emette registra le coordinate spaziali (l'angolo orizzontale o azimuth, l'angolo zenitale e la distanza inclinata) di tutti i punti interessati dal passaggio del laser e permette di materializzarli in uno spazio virtuale sotto forma di nuvole di punti, insieme di punti talmente fitti da poter essere considerati come una superficie continua.

Per la descrizione di un luogo complesso generalmente è necessario effettuare più scansioni degli ambienti, poiché una sola ne darebbe una visione parziale. Nel caso in cui si debba rilevare un ambiente o un oggetto con uno sviluppo irregolare, o siano presenti elementi d'ostacolo alla visione completa delle superfici, una sola scansione porterebbe ad avere dei vuoti nelle informazioni. Tali mancanze vengono invece compensate effettuando più scansioni da varie angolazioni, puntando all'ottenimento di un elaborato il più possibile completo. Le singole scansioni ottenute dallo strumento vengono elaborate e orientate secondo un sistema di riferimento univoco interno allo strumento, che permette di unirle in un apparato di dati articolato. Questa tecnica consente di avere una visione tridimensionale d'insieme, oltre alla possibilità di ricavare profili e superfici, con i quali si può effettuare un accurato ridisegno bidimensionale dello stato di fatto.

Si tratta di un procedimento dinamico, infatti, a seguito di questi rilievi - i primi che hanno interessato il Palazzo San Sebastiano - sarà possibile in futuro integrarli con nuove scansioni, dando la possibilità di approfondire nel tempo la conoscenza del fabbricato.

Fig. 20 | Laser scanner distanziometrici, principio di funzionamento.

Fig. 21 | Mantova, Palazzo di San Sebastiano - Museo della Città. Scansione laser dei prospetti, prima acquisizione dal cortile interno.



1 Riccardo Migliari, *Frontiere del rilievo - Dalla matita alle scansioni 3D*, Gangemi Editore, Roma, 2001



Fig. 22 | Nuvole di punti raffiguranti i fronti che si affacciano sul cortile interno del museo di San Sebastiano scansionate da due punti differenti con il laser scanner HDS 6000.



Fig. 23 | L'unione delle due nuvole di punti dei prospetti del cortile interno ha permesso di ottenere una maggiore completezza del dato. Visualizzazione delle due scansioni unite.

Il rilievo laser scanner è stato accompagnato da un inquadramento topografico, necessario per poter unire ed orientare le molteplici scansioni (gestite con software apposito, Cyclone di Leica Geosystem).

Il rilievo topografico ha infatti un ruolo essenziale nella campagna di rilevamento poichè attraverso di esso si definisce il sistema di riferimento locale nel quale vengono riportati tutti i risultati operazioni di misura.

Le operazioni topografiche di rilievo possono essere sommariamente descritte come la determinazione plano-altimetrica dei punti rispetto ad altri punti presi come riferimento.

Il rilevamento planimetrico si fonda sulla misurazione sul terreno di distanze e angoli, mediante distanziometri e goniometri, elaborando i quali è possibile giungere alla definizione della posizione delle proiezioni verticali dei punti del terreno su una superficie piana di riferimento, indipendentemente dalle loro quote. Il rilevamento altimetrico, utilizzando spesso le stesse misure e gli stessi strumenti, porta alla determinazione delle quote dei diversi punti del terreno rispetto alla stessa superficie di riferimento, o più frequentemente, alla definizione dei loro dislivelli.



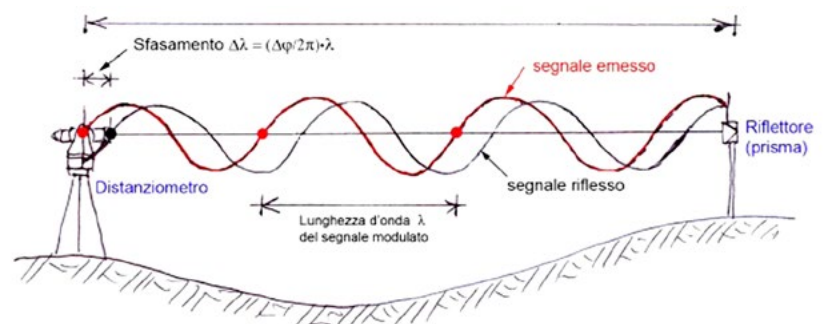
Fig. 24 | Teodolite a stazione totale Leica TCRM1103.

2.2 Acquisizioni Laser Scanner Museo della Città Palazzo di San Sebastiano

I lavori di restauro ultimati nel 2005, non hanno visto impiegate le metodologie di rilievo precedentemente illustrate. Secondo una intesa tra il Laboratorio LaRiFo del Politecnico di Milano - Polo di Mantova e la Direzione del Museo, è stata intrapresa una campagna di rilievo architettonico che descriva geometricamente l'edificio nelle sue parti per colmare l'assenza di una documentazione grafica precisa e recente, con l'obiettivo di costruire un modello tridimensionale del Palazzo, utilizzabile per diverse finalità come l'estrazione di sezioni e profili, la navigazione virtuale, il modello illuminotecnico, simulazioni di allestimenti. Durante lo sviluppo di questa tesi le finalità si sono ampliate, non fermandosi alla mera creazione geometrica del modello 3D del Palazzo, ma andando a toccare gli aspetti di comunicazione di un bene culturale per la sua valorizzazione.

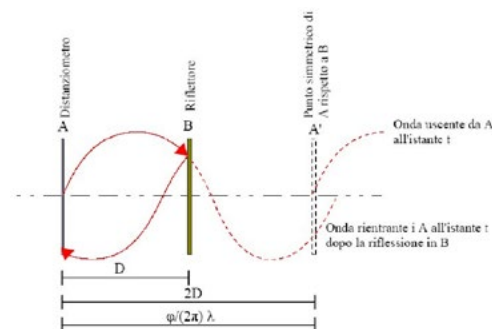
I primi rilievi, effettuati in 3 giornate (7-8-9 dicembre 2011), sono stati eseguiti con il Laser Scanner terrestre Leica HDS6000, laser che funziona a differenza di fase, dove il raggio trasmesso è un'onda armonica con una certa ampiezza e frequenza. La distanza è calcolata indirettamente conoscendo la lunghezza d'onda del raggio trasmesso, determinando la differenza di fase tra l'andata e il ritorno del fascio.

Fig. 25 | Sistema di misurazione di un laser a differenza di fase.



Il raggio portante trasmesso, costituito da un'onda sinusoidale (o armonica), è modulato in ampiezza o in frequenza e la distanza è calcolata indirettamente conoscendo la lunghezza d'onda dell'onda modulata e misurando la differenza di fase tra quest'ultima alla partenza e al ritorno, mediante un comparatore di fase.

Fig. 26 | Principio di funzionamento del laser a differenza di fase.



A differenza dei sistemi di misura TOF (Time Of Flight), che calcolano la distanza misurando il tempo di andata e ritorno dell'impulso laser inviato, i distanziometri a differenza di fase forniscono dei risultati che sono spesso migliori di quelli basati sul TOF. Per contro il sistema, dovendo generare un maggior numero di operazioni di elaborazioni del segnale, risulta più lento dell'altro e tende a produrre maggior rumore (più punti sbagliati o saltati). Inoltre la necessità di disporre di segnali di ritorno di adeguata potenza riduce notevolmente la portata di tali strumenti e aumenta la possibilità di avere, all'interno della griglia di acquisizione, un maggior numero di punti non definiti.

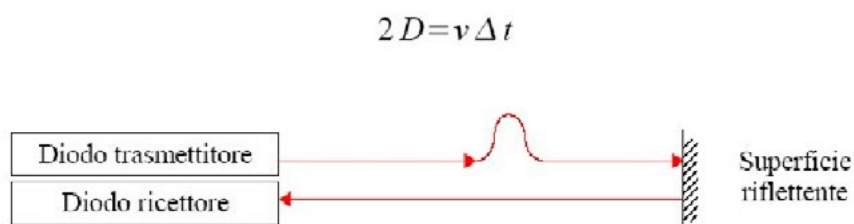


Fig. 27 | Sistema di misurazione TOF (Time Of Flight).

La velocità di presa dell'HDS6000 arriva ad un massimo di 500.000 punti rilevabili al secondo per un campo di apertura fino a $360^\circ \times 310^\circ$.

Lo strumento non è fornito di camera fotografica interna, quindi ne è richiesto l'utilizzo di una esterna nel caso si voglia associare ai punti della nuvola il colore RGB di immagini digitali, comportando più operazioni nelle fasi di presa ed elaborazione, ma una migliore qualità del risultato. Si deve fare attenzione durante l'acquisizione di eventuali immagini con camera esterna, per le quali c'è un rischio superiore di errori nell'associazione del dato rispetto al caso di quella interna al laser, al contrario la risoluzione degli attuali sensori in commercio è più alta rispetto a quella del sensore interno allo strumento.

Lo strumento, facilmente trasportabile, deve essere opportunamente predisposto su un treppiede topografico e messo a bolla, da qui vengono poi effettuate le scansioni in modo completamente autonomo. Viene alimentato dalla batteria integrata ed è munito di una memoria interna di 60 Gb per salvare i dati acquisiti durante la scansione e permettere in seguito il loro download su pc.

Prima di avviare l'inizio scansione si stabiliscono le impostazioni quali la densità della nuvola di punti e il campo di apertura che definisce l'angolo azimutale e zenitale dell'area da rilevare.

Da queste disposizioni varia di conseguenza il tempo di presa che per il Palazzo è stato in media di 10 minuti per ogni scansione.

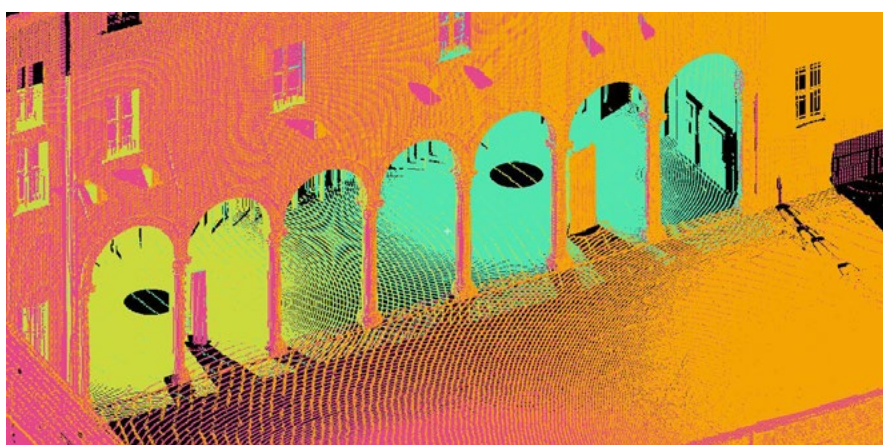
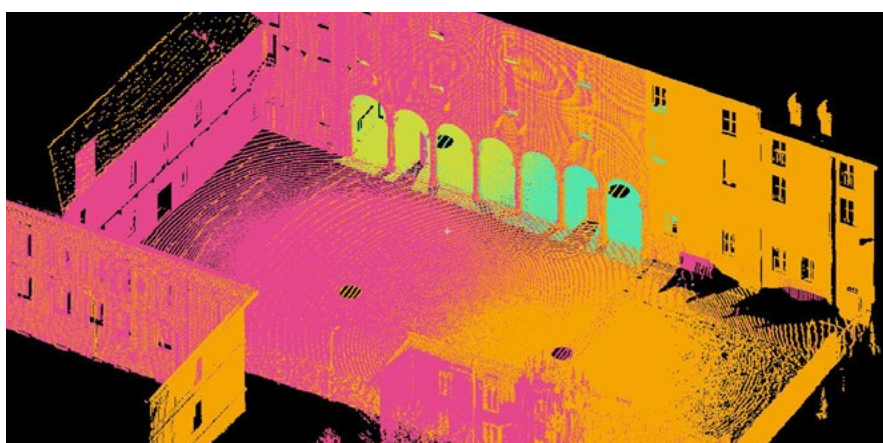
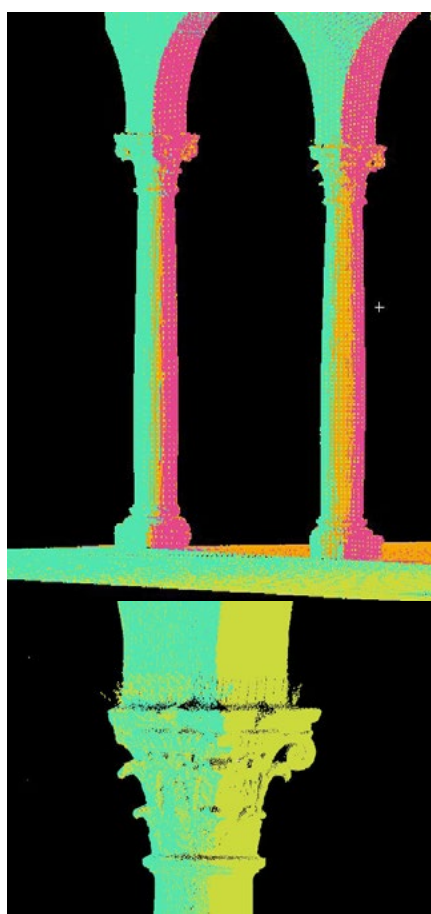
Le stanze più piccole che comprendono a piano terra la Sala del Sole, Sala del Porcospino, Sala del Crogiolo, al primo piano la Sala Est, Sala delle Frece, Sala delle Brevi e tutti i corridoi, disimpegni, altri vani, cor-

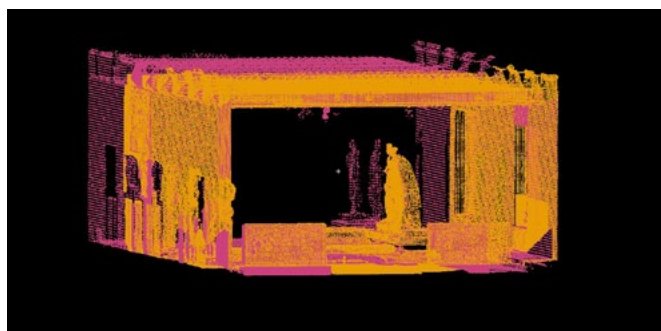
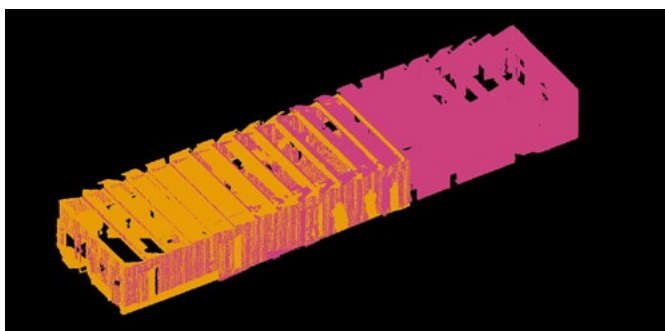
più scala, sono stati rilevati mediante una scansione unica al cento dell'ambiente poichè le dimensioni ridotte permettevano una buona acquisizione di tutte le superfici.

Al contrario per i locali più ampi, quali a piano terra l'atrio d'ingresso (ex cammino di ronda), la loggia porticata, al primo piano la Sala dei Trionfi, al secondo piano la Galleria Superiore, i fronti del cortile interno e quelli prospicienti alla strada, è stato necessario eseguire più scansioni o per la presenza di ostacoli o per l'eccessiva distanza tra lo strumento e la superficie da rilevare.

Negli ambienti in cui sono state effettuate due scansioni, vi è il vantaggio che le informazioni che non sono state ricavate da una vengono fornite dall'altra, andando a colmare totalmente o in parte la mancanza di dato, le ombre e i vuoti di informazione; da qui l'utilità di pianificare più prese laser scanner per ottenere una visione sempre il più possibile frontale ai prospetti e per avere la possibilità di ricavare un rilievo finale completo mediante il recupero di dato dalle aree che sono state rilevate in più scansioni tra loro complementari e in parte sovrapponibili.

Fig. 28 | Unione tra le scansioni adiacenti del cortile e della loggia del palazzo. Ogni scansione è evidenziata da un colore differente per sottolineare la loro complementarietà.



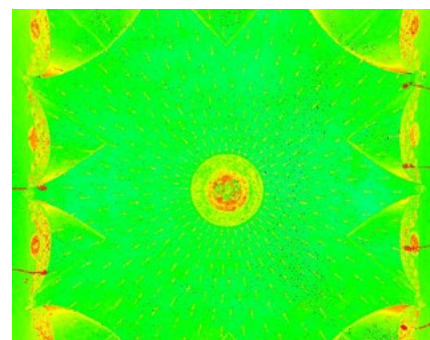
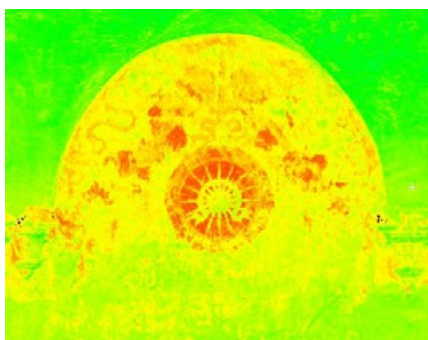
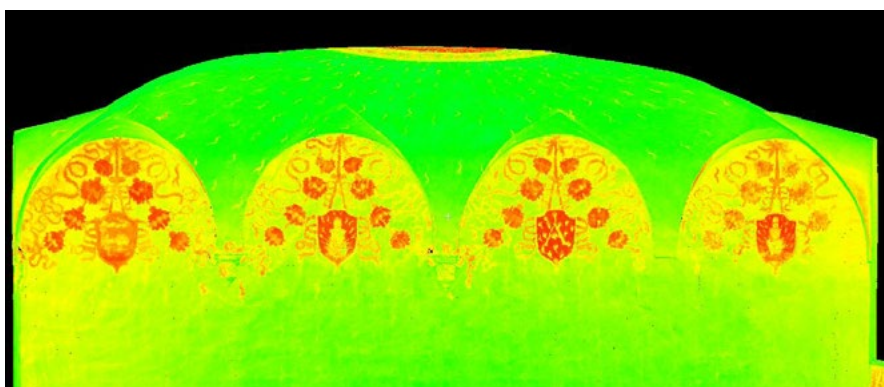


Una caratteristica importante della strumentazione laser scanner è quella di poter rilevare il cambiamento cromatico delle superfici e quindi di registrare la differente risposta al fascio di luce laser da parte della pigmentazione degli affreschi.

In questo modo sono state rilevate non solo le superfici fisiche delle pareti, della pavimentazione e dei soffitti, ma pure i dipinti/affreschi della sala.

Fig. 29 | Unione tra le scansioni adiacenti della Sala dei Trionfi.

Fig. 30 | Affreschi della Sala del Crogiolo, della Sala del sole e della Sala delle Freccette. Volta e lunette. Il laser scanner rileva la decorazione.



Nella prima campagna di rilievo di dicembre, il Palazzo era stato rilevato completamente nei suoi ambienti interni (piano terra, primo e secondo) e nei fronti del cortile interno, mentre i prospetti esterni che si affacciano su via Largo XXIV Maggio e Viale della Repubblica non erano stati acquisiti per mancanza di tempo.

Fig. 31 | Specifiche tecniche del Laser Scanner HDS6000.

Leica HDS6000

Specifiche del prodotto

Caratteristiche generali		Motori scansione	Azionamento diretto brushless; brevettato
Tipo di strumento	Scanner laser compatto, differenza di fase, rilevamento a doppio asse, velocità ultralevata con precisione per il rilievo di pendenze e campo visivo completo	Trasferimento potenza	Torretta rotante integrata o base fissa esterna
Interfaccia utente	Touch panel onboard, notebook PC, tablet PC o PDA esterni	Trasferimento dati	Ethernet o USB 2.0 (due porte)
Azionamento dello scanner	Servomotore	Capacità memoria dati (onboard)	60 GB, min
Memoria dati	Disco fisso integrato	Comunicazione	Client/server DHCP; Ethernet o Bluetooth
Fotocamera	Nessuna fotocamera integrata; Cyclone-SCAN supporta l'uso di una fotocamera esterna	Indicatori di stato	Display alfanumerico a 4 righe per stato del laser, potenza del sistema e stato del sistema 1 LED per lo stato del laser
Performance di sistema		Indicatore di livello	Livella esterna; lettura digitale sul touch panel o mediante laptop
Precisione delle misure singole		Impianto elettrico	
Posizione*	6 mm con una portata da 1 m a 25 m; 10 mm con una portata fino a 50 m	Alimentazione	24 V DC; 90 - 260 V AC
Distanza*	≤4 mm con albedo del 90% fino a 25 m ≤5 mm con albedo del 18% fino a 25 m ≤5 mm con albedo del 90% fino a 50 m ≤6 mm con albedo del 18% fino a 50 m	Potenza assorbita	50 W
Angolo (oriz./vert.)	125 µrad/125 µrad, Sigma uno	Tipo di batteria	Integrata agli ioni di litio Esterna: ermetica piombo-acido
Precisione della sup. modellata**/rumore	2 mm a 25 m; 4 mm a 50 m con albedo del 90%, Sigma uno; 3 mm a 25 m; 7 mm a 50 m, con un albedo del 18%, Sigma uno	Durata	Interna: tip. 1,5 h Esterna: tip. 4 h
Acquisizione del target***	Deviazione standard di 2 mm	Indicatori dello stato di carica	1 LED segnalano lo stato di carica e i livelli di potenza
Sensore a doppio asse	Selezionabile on/off; risoluzione di 3,6	Condizioni ambientali	
Monitoraggio dell'integrità dei dati	Autocontrollo all'avvio; controlli opzionali con Cyclone-SCAN	Temp. di esercizio	0 °C a +40 °C
Sistema di scansione laser		Temp. di stoccaggio	Da -20 °C a +50 °C
Tipo	Spostamento di fase	Luce	Funzionamento garantito da pieno sole a buio completo
Classe laser	3R (IEC 60825-1)	Umidità	Senza condensa
Portata	Intervallo di ambiguità di 79 m; 79 m con albedo del 90%; 50 m albedo del 18%	Ingombri e pesi	
Velocità di scansione	Fino a 500.000 punti/sec., velocità istantanea massima; Tempo medio: vedere più avanti	Scanner	Dimensioni 190 mm P x 244 mm L x 351,5 mm Peso 14 kg, nominale (comp. la batteria integrata)
Risoluzione di scansione		Batteria (esterna)	Dimensioni 240 mm P x 260 mm L x 300 mm H Peso 16 kg nominale
Dimensione spot	3 mm in uscita (secondo la definizione di Gauss) + divergenza di 0,22 mrad; 8 mm a 25 m; 14 mm a 50 m	Alimentazione AC	Dimensioni 240 mm P x 127 mm L x 152 mm H Peso 2,5 kg nominale
Possibilità di selezionare	5 risoluzioni preimpostate per tabella	Accessori standard	Custodia per il trasporto dello scanner e degli accessori Batteria ricaricabile integrata aggiuntiva Cavo di ricarica/alimentazione, cavo Ethernet, cavo A/C Caricabatterie / alimentatore A/C Base per la ricarica della batteria interna Software Cyclone™-SCAN Kit per la pulizia
	Punti/360° Tempo scansione (vert., orizz.) (cupola completa)	Hardware	Notebook, tablet PC o PDA Target di scansione HDS6000 e relativi accessori Contratto di assistenza per Leica HDS6000 Estensione della garanzia per Leica HDS6000 Basamento (serie Professional Leica) Trepiede per rilevamenti (serie Professional Leica) Batteria esterna
	"Anteprima" 1250 25 sec	Notebook PC per scansione^Δ	
	Media (4x) 5000 1 min 40 sec	Dotazione minima necessaria	Processore Pentium M da 1,7 GHz o simile
	Alta (8x) 10000 3 min 22 sec		RAM 1024 MB SDRAM
	Molto alta (16x) 20000 6 min 44 sec		Scheda di rete Ethernet
	Altissima (32x) 40000 26 min 40 sec		Display SXGA+ (min. 64 MB di RAM video racc.)
Distanza fra punti, portata di	10 m 50 m		Sistema operativo Windows XP Professional (SP1 o superiore) Windows 2000 (SP3 o superiore con patch di sicurezza aggiornate)
	"Anteprima" 50,6x50,6 mm 250x250 mm	PDA per scansione (racc.)	
	Media (4x) 12,6x12,6 mm 62x62 mm	HP iPAQ Windows Mobile 5.0 per Pocket PC;	
	Alta (8x) 6,3x6,3 mm 31,4x31,4 mm	Pocket PC applicazione iPAQ Wireless;	
	Molto alta (16x) 3,1x3,1 mm 15,8x15,8 mm	tecnologia wireless Bluetooth	
	Altissima (32x) 1,6x1,6 mm 7,9x7,9 mm		
Campo visivo (per scansione)			
Orizzontale	360° (max.)		
Verticale	310° (max.)		
Puntamento	Puntamento orizzontale ottico mediante QuickScan™		
Ottiche di scansione	Specchio con rotazione verticale su base rotante orizzontale; con guscio di protezione dagli agenti esterni		

Per completare i dati del rilievo sul fabbricato sono state perciò eseguite le ultime acquisizioni, nel mese di giugno, dei fronti mancanti in modo da ottenere un dato-nuvola di punti del Museo completo.

Questa seconda campagna di rilievo è stata eseguita con il laser scanner HDS7000, che funziona a differenza di fase ed è dotato di prestazioni superiori rispetto all'HDS6000.

HDS7000 Product Specifications

General		Environmental																																																
Instrument type	Compact, phase-based, dual-axis compensated, ultra-high speed laser scanner, with survey-grade accuracy, range, field-of-view and laser plummet	Temperature	Operating -10°C to +45°C/Storage -20°C to +50°C																																															
User interface	Onboard control, notebook or tablet PC, PDA	Lighting	Fully operational between bright sunlight and complete darkness																																															
Scanner drive	Servo motor	Humidity	Non-condensing																																															
Data storage	Integrated flash drive or external USB flash drive	Dust/humidity	IP53 (IEC 60529)																																															
Camera	No integrated camera; supports use of external camera	Physical																																																
Laser Scanning System		Scanner	286mm D x 170mm W x 395mm H/9.8kg, nominal																																															
Type	Phase-shift	Battery (internal)	88mm D x 170mm W x 61mm H/1.2kg																																															
Wavelength	1.5 µm (Invisible)	AC Power Supply	167mm D x 67mm W x 35mm H/0.54kg																																															
Laser Class	1 (in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1)	Standard Accessories Included																																																
Range	187 m ambiguity interval 0.3 m minimum range 0.1 m resolution	Scanner and accessory transport case 2x 32 GB USB memory stick, 1x USB plug Additional rechargeable integrated battery Charging/power cable, Ethernet cable, A/C cable Battery charger/AC power supply Battery charging cradle for internal battery Cleaning kit Cyclone™ SCAN software 3 year CCP Basic support agreement																																																
Linearity error¹	±1 mm	Hardware Options																																																
Spot size	~3.5mm @ 0.1 m distance (Gaussian-based)	Notebook PC, Tablet PC, or PDA HDS scan targets and target accessories Service agreement for HDS7000 Extended warranty for HDS7000 External camera kit (third party product) External battery Tripod, tripod star, rolling base																																																
Beam divergence	< 0.3 mrad	Notebook PC for scanning with Cyclone software^Δ																																																
Scan rate	Up to 1,016,727 points/sec, maximum instantaneous rate	Component	required (minimum)																																															
Range noise	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Range</th> <th>Black 14%</th> <th>Gray 37%</th> <th>White 80%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 m^{1/2}</td> <td>0.5 mm rms</td> <td>0.4 mm rms</td> <td>0.3 mm rms</td> </tr> <tr> <td>25 m^{1/2}</td> <td>1.0 mm rms</td> <td>0.6 mm rms</td> <td>0.5 mm rms</td> </tr> <tr> <td>50 m^{1/2}</td> <td>2.7 mm rms</td> <td>1.2 mm rms</td> <td>0.8 mm rms</td> </tr> <tr> <td>100 m^{1/2}</td> <td>10 mm rms</td> <td>3.8 mm rms</td> <td>2.0 mm rms</td> </tr> </tbody> </table>	Range	Black 14%	Gray 37%	White 80%	10 m ^{1/2}	0.5 mm rms	0.4 mm rms	0.3 mm rms	25 m ^{1/2}	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms	50 m ^{1/2}	2.7 mm rms	1.2 mm rms	0.8 mm rms	100 m ^{1/2}	10 mm rms	3.8 mm rms	2.0 mm rms	Processor	1.7 GHz Pentium M or similar																											
Range	Black 14%	Gray 37%	White 80%																																															
10 m ^{1/2}	0.5 mm rms	0.4 mm rms	0.3 mm rms																																															
25 m ^{1/2}	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms																																															
50 m ^{1/2}	2.7 mm rms	1.2 mm rms	0.8 mm rms																																															
100 m ^{1/2}	10 mm rms	3.8 mm rms	2.0 mm rms																																															
Scan resolution	7 pre-set spacings per table	RAM	1 GB or greater (2GB for Windows Vista)																																															
Selectability	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pre-set</th> <th>Low quality²</th> <th>Normal quality³</th> <th>High quality⁴</th> <th>Premium quality⁵</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>preview⁶</td> <td>1250</td> <td>0:13 min</td> <td>0:26 min</td> <td>0:52 min</td> <td>1:44 min</td> </tr> <tr> <td>low</td> <td>2500</td> <td>0:26 min</td> <td>0:52 min</td> <td>1:44 min</td> <td>3:24 min</td> </tr> <tr> <td>middle</td> <td>5000</td> <td>0:52 min</td> <td>1:44 min</td> <td>3:22 min</td> <td>6:44 min</td> </tr> <tr> <td>high</td> <td>10000</td> <td>1:44 min</td> <td>3:22 min</td> <td>6:44 min</td> <td>13:28 min</td> </tr> <tr> <td>super high</td> <td>20000</td> <td>3:28 min</td> <td>6:44 min</td> <td>13:28 min</td> <td>26:56 min</td> </tr> <tr> <td>ultra high⁷</td> <td>40000</td> <td>---</td> <td>13:28 min</td> <td>26:56 min</td> <td>53:20 min</td> </tr> <tr> <td>extremely high⁸</td> <td>100000</td> <td>---</td> <td>1:21 h</td> <td>2:42 h</td> <td>3:24 h</td> </tr> </tbody> </table>	Pre-set	Low quality ²	Normal quality ³	High quality ⁴	Premium quality ⁵	preview ⁶	1250	0:13 min	0:26 min	0:52 min	1:44 min	low	2500	0:26 min	0:52 min	1:44 min	3:24 min	middle	5000	0:52 min	1:44 min	3:22 min	6:44 min	high	10000	1:44 min	3:22 min	6:44 min	13:28 min	super high	20000	3:28 min	6:44 min	13:28 min	26:56 min	ultra high ⁷	40000	---	13:28 min	26:56 min	53:20 min	extremely high ⁸	100000	---	1:21 h	2:42 h	3:24 h	Network card	Ethernet
Pre-set	Low quality ²	Normal quality ³	High quality ⁴	Premium quality ⁵																																														
preview ⁶	1250	0:13 min	0:26 min	0:52 min	1:44 min																																													
low	2500	0:26 min	0:52 min	1:44 min	3:24 min																																													
middle	5000	0:52 min	1:44 min	3:22 min	6:44 min																																													
high	10000	1:44 min	3:22 min	6:44 min	13:28 min																																													
super high	20000	3:28 min	6:44 min	13:28 min	26:56 min																																													
ultra high ⁷	40000	---	13:28 min	26:56 min	53:20 min																																													
extremely high ⁸	100000	---	1:21 h	2:42 h	3:24 h																																													
Field-of-View	max. 360° x 320° (horizontal/vertical)	Display	SVGA or OpenGL accelerated graphics card (with latest drivers)																																															
Scanning Optics	Vertically rotating mirror on horizontally rotating base; User selectable vertical rotation speed (6.25 rps, 12.5 rps or 50 rps); Environmentally protected by shield	Operating system	Windows XP Professional (SP2 or higher) (32 or 64) Windows Vista (32 or 64), Windows 7 (32 or 64)																																															
Scan motors	Direct drive, brushless	Control Options																																																
Angular accur.	125 µrad / 125 µrad (horizontal/vertical)	Full colour touch screen for onboard scan control Leica Cyclone SCAN software (see Cyclone SCAN data sheet for full list of features) Web browser																																																
Angular resol.	7 µrad / 7 µrad (horizontal/vertical)	Ordering Information																																																
Miscellaneous		Contact Leica Geosystems or authorized representatives																																																
Onboard display	Touchscreen control with stylus, full color graphic display, VGA (640 x 320 pixels)																																																	
Dual-axis compensator	Selectable on/off, resolution 3.6", measurement range +/- 30", accuracy ± 25"																																																	
Level indicator	Electronic bubble in onboard control and software																																																	
Laser plummet	Laser class 2 (in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1) Centering accuracy: 0.5 mm / 1 m Laser dot diameter: < 1.5 mm @ 1.5 m Selectable on/off																																																	
Data transfer	Ethernet or USB 2.0 device (two ports)																																																	
Data storage	64 GB flash drive (integrated), 2 x 32 GB USB flash drive (external)																																																	
Communications	Ethernet or integrated Wireless LAN (WLAN)																																																	
Data integrity monitoring	Self-check at startup																																																	
Electrical																																																		
Power supply	24 V DC, 100 -240 V AC																																																	
Power Cons.	< 65W (on average)																																																	
Battery Type	Internal: Li-Ion																																																	
Power ports	Internal: 1, External: 1																																																	
Duration	Internal: > 2.5 h., AC power supply unlimited																																																	
Power status	LEDs indicate charging status and capacity level																																																	

Fig. 32 | Specifiche tecniche del Laser Scanner HDS7000.



Il rilievo del Palazzo di San Sebastiano ha interessato la completa scansione di ogni locale interno dell'edificio (ad eccezione di uffici e servizi igienici) di tutti i prospetti esterni con l'immediato intorno e del cortile interno/retrostante adibito a presentazioni occasionali.

Sono state necessarie tre giornate e un'équipe formata da tre operatori per eseguire l'intero lavoro di rilievo.

La fase di scansione laser richiede molto meno tempo rispetto alla stesura della rete topografica e alla pianificazione e organizzazione della campagna di acquisizione dati.

Il rilievo laser scanner conta un numero totale di 40 scansioni, suddivisibili in:

- Piano terra 18 scansioni di cui 7 esterne e 2 nella loggia
- Piano primo 6 scansioni
- Piano secondo 8 scansioni
- Scale 8 scansioni



Fig. 33 | Laser HDS 6000 in azione nel cortile del palazzo.

La risoluzione impiegata, con il laser HDS6000, è stata nella maggior parte delle stanze di tipo Highest per ottenere una elevata qualità del dato finale; tale risoluzione, infatti, rispondeva all'esigenza di acquisire elementi decorativi come peducci, capitelli delle colonne del portico, elementi decorativi scultorei e pittorici o per compensare la lunga distanza tra lo strumento e la superficie da acquisire come nelle scansioni del cortile esterno.

Negli ambienti di minor valore artistico o con decorazioni non rilevanti o assenti (come ad esempio i vani di servizio, i corridoi e le scale) si è invece preferita una risoluzione inferiore, High, che ha permesso di avere un buon rapporto tra qualità del dato ottenuto e tempo di acquisizione.

La scelta per una risoluzione anziché per un'altra è determinata da molti fattori che l'operatore deve considerare volta per volta.

Un piccolo locale da rilevare, come nel caso dei due ambienti dell'ala ovest sotto la scala (vani 1 e 2) oppure i corridoi o i corpi scala, ha alcuni vantaggi quali: le ridotte dimensioni, una pianta a geometria semplice e assenza di ostacoli che si frappongano tra strumentazione e superfici da rilevare e nessun elemento decorativo di particolare complessità.

Risulta pertanto eccessiva una scelta che preveda risoluzioni maggiori della High che comporterebbero una dimensione esagerata dei file da rielaborare successivamente, senza fornire dettagli aggiuntivi a quelli già ottenibili con una risoluzione inferiore.

Le acquisizioni, fatte con il laser HDS7000, dei prospetti esterni sono state impostate ad una risoluzione Ultrahigh e qualità High, data la distanza considerevole tra lo strumento e le superfici da rilevare.

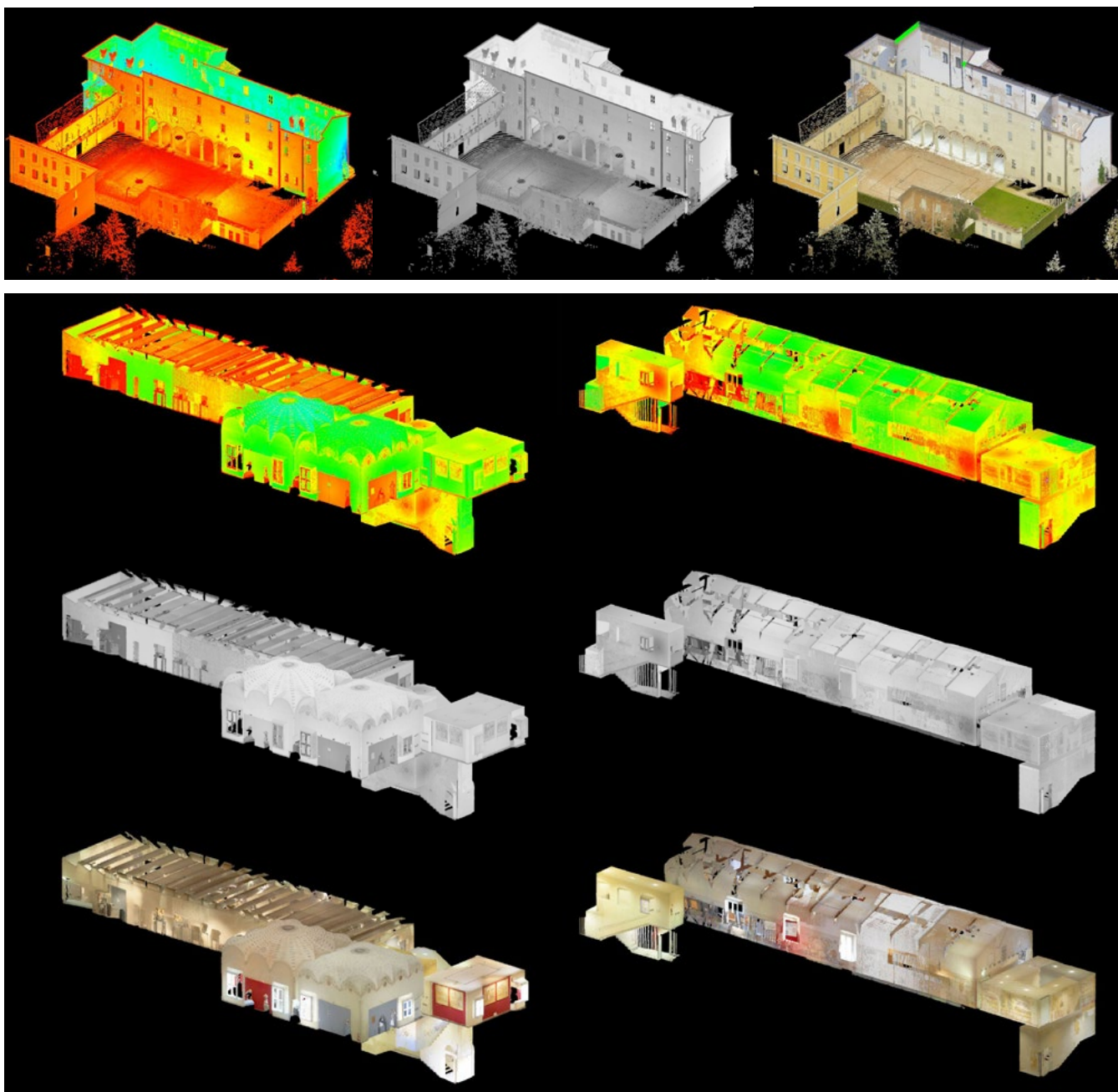


Fig. 34 | Differenti visualizzazioni della nuvola di punti del piano terra, piano primo, piano secondo.

- Colori laser. Le nuvole di punti sono visualizzate con tonalità che vanno dal rosso al verde. Le aree più chiare sono quelle che al momento della scansione si trovavano nelle immediate vicinanze del laser scanner 3D.

- Scala di grigi. In base alle necessità dell'operatore e alla visibilità delle nuvole di punti, è possibile ricorrere ad una visione dei dati acquisiti nelle tonalità neutre del grigio. Il passaggio da un tipo di colorazione ad un'altra permette di facilitare il lavoro di rielaborazione del dato.

- Informazione radiometrica associata. L'associazione di foto scattate da una camera digitale alle nuvole di punti, consente di avere un dato arricchito da una colorazione realistica simile a quella che osserverebbe un visitatore sul posto.

Fig. 35 | Pianta del Piano Terra.
I punti rossi indicano i punti di presa dove sono state eseguite le scansioni.

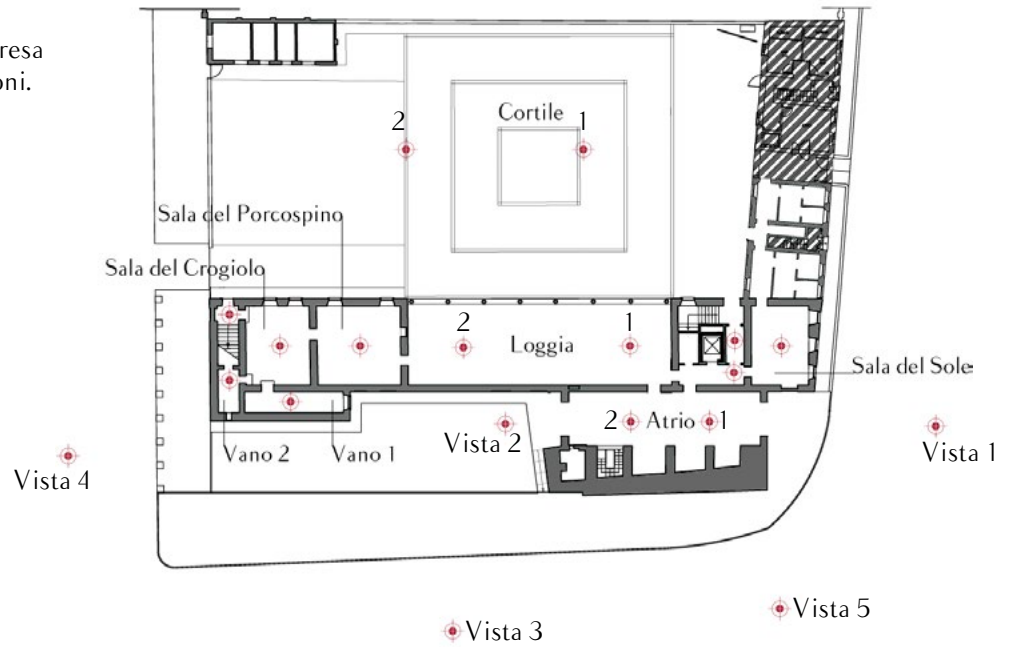
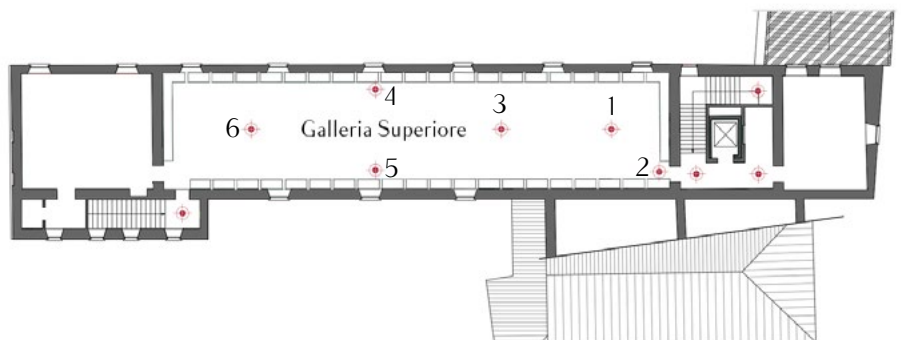


Fig. 36 | Pianta del Piano Primo.



Fig. 37 | Pianta Piano Secondo.



Tutte le stanze interne sono interessate da una problematica importante che ha condizionato la fase di elaborazione dei dati ovvero l'ingombro degli ambienti dovuto alla presenza degli allestimenti museali, quali sculture, quadri, oggetti in esposizione, elementi che sono di ostacolo per il rilevamento del locale nella sua interezza. Pertanto il rilievo delle muraure è risultato completo nelle volte e nella parte alta delle pareti e disturbato in quella inferiore; nella fase successiva di estrazione delle sezioni dalle nuvole di punti per la costruzione del modello 3D, si è ovviato a questa problematica ridisegnando fedelmente il profilo dove il dato era completo o ricostruendolo tramite deduzione dove vi erano mancanze dovuti agli oggetti eliminati in fase di pulitura.



Fig. 38 | Acquisizione laser HDS 6000 nella Sala dei Trionfi. Data la lunghezza dell'ambiente sono state effettuate due scansioni. Sono visibili i target distribuiti nella Sala.



2.3 Inquadramento topografico e orientamento delle nuvole



Fig. 39 | Teodolite TCRM1103, loggia.



Fig. 40 | Posizionamento del chiodo topografico nella loggia.



Fig. 41 | Teodolite, bolla.

Stabilire una rete topografica di riferimento per le scansioni è indispensabile per riuscire in un secondo momento a orientare le differenti nuvole di punti e a unirle tra loro in un sistema di riferimento spaziale unico. L'inquadramento compiuto è di tipo tradizionale e realizzato con la stazione totale TCRM1103 di Leica Geosystem munita di cannocchiale ottico e di distanziometro per avere, mediante l'emissione di un laser all'infrarosso, misure angolari rispetto alle direzioni verticale e orizzontale e la misura della distanza.

Complementari alla stazione totale e collocate anch'esse su treppiedi, sono le mire che, traggurdate dal laser, rimandano il raggio all'origine consentendo alla strumentazione di conoscere quelle misure angolari o lineari necessarie per identificare la posizione dei punti nello spazio rispetto ad un sistema di coordinate noto.

Il rilievo è iniziato dal cortile interno dell'edificio per poi passare ad estendere la rete topografica ai locali interni, del piano terra e a seguire dei piani superiori, che venivano via via interessati dai rilievi laser, fino a chiudere la rete.

Tra interno ed esterno sono stati fissati 32 punti di rete, in parte utilizzati anche come punti di rilevamento laser. I punti della rete sono stati impostati predisponendo - dove possibile - chiodi topografici all'esterno della fabbrica mentre all'interno, per non danneggiare il Palazzo, sono stati segnati punti riconoscibili sulla pavimentazione che consentono di impostare la stazione in qualsiasi momento.

Le caratteristiche principali del Teodolite TCRM1103 sono:

- Misura della distanza all'infrarosso con onda portante di $0,780 \mu\text{m}$;
- La minima distanza di misura con prisma a 360° di $1,5 \text{ m}$;
- Cannocchiale con ingrandimento $30\times$, campo visivo a 100 m di $2,7 \text{ m}$;
- Misura angolare azimut e zenit con precisione $3''$;
- Precisione di posizionamento: 3 mm sulla distanza fino a 300 m e tempo di misura 3 secondi ;
- Sensibilità della livella sferica $6''/2 \text{ mm}$, livella elettronica risoluz $2''$.

Da ciascuna stazione sono stati collimati dei punti noti, identificati attraverso targets, opportunamente predisposti nello spazio prima delle scansioni laser, oppure punti architettonici facilmente riconoscibili nella scansione. Le scansioni da eseguire e di conseguenza il posizionamento di punti da rilevare sono stati decisi in loco in base a valutazioni basate sulle caratteristiche dimensionali, geometriche e tipologiche degli ambienti da rilevare. Generalmente vengono predisposti 5-6 targets visibili da ogni scansione (il numero minimo deve essere di tre elementi).

I target distribuiti all'interno della sale, nel cortile e nella loggia sono stati 123 e 25 per i prospetti esterni degli ultimi rilievi. Si è posta un'attenzione particolare nella disposizione dei target facendo in modo che ne

Inquadramento topografico e orientamento delle nuvole

fosse visibile il maggior numero dalla stanza a fianco, al fine di georeferenziare le scansioni non solo sui punti topografici ma anche sulla base delle scansioni stesse abbassando così l'errore.

La rete topografica è stata compensata con programma rigoroso ai minimi quadrati. Il procedimento di calcolo (eseguito con Leica Geo Office) ha fornito:

- Il valore compensato delle coordinate (X,Y,Z) di tutti i vertici del sistema di riferimento locale;
- Gli scarti quadratici medi delle coordinate stesse;
- I residui delle equazioni alle misure;
- I parametri delle ellissi di errore associate a ogni vertice e/o la loro rappresentazione grafica.

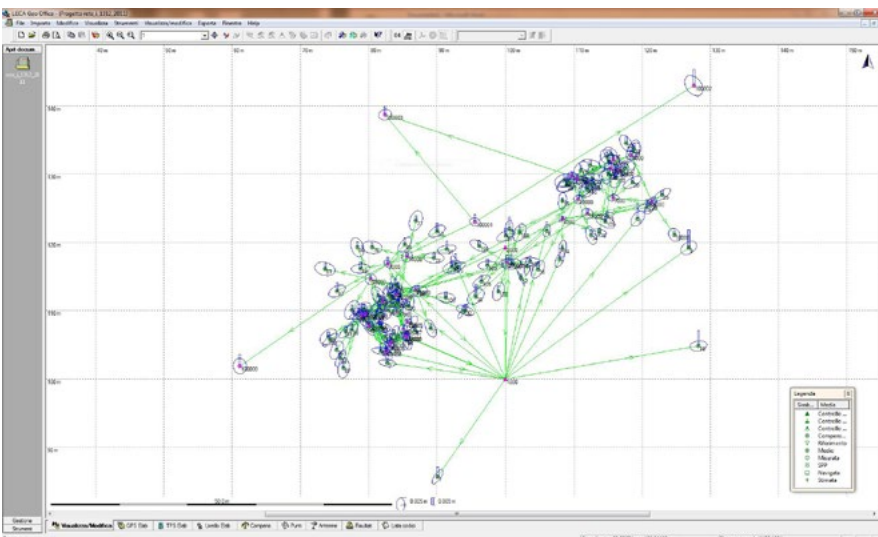


Fig. 42 | Leica Geo Office. Visualizzazioni della rete topografica. Sono visibili i punti di stazione, i punti collimati e gli ellissi d'errore.

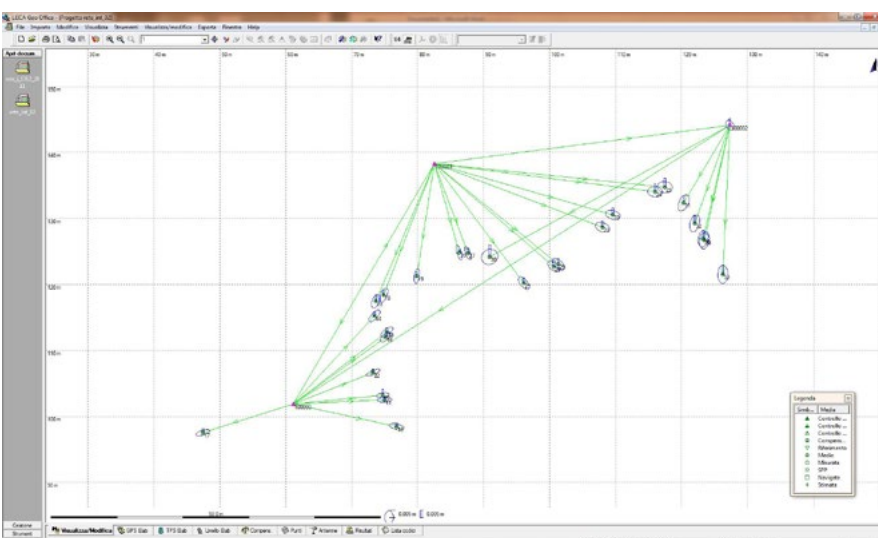
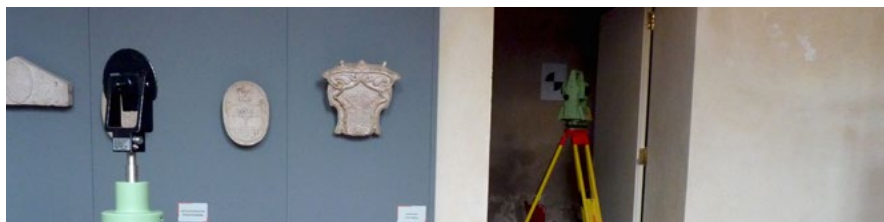


Fig. 43 | Estratto della tabella dei valori compensati delle coordinate X,Y,Z dei punti di stazione della rete.

Stazione	X	Y	Z	σ _X	σ _Y	σ _Z
1	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
2	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
3	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
4	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
5	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
6	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
7	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
8	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
9	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
10	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
11	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
12	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
13	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
14	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
15	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
16	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
17	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
18	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
19	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
20	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
21	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
22	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
23	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
24	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
25	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
26	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
27	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
28	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
29	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
30	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
31	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
32	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
33	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
34	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
35	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
36	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
37	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
38	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
39	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105
40	85.47127	110.73074	12.13140	0.00178	0.00207	0.00105

Fig. 44 | Documentazione fotografica del rilievo topografico per mezzo del teodolite TCRM1103. Target e mire collimati per l'orientamento delle scansioni laser.

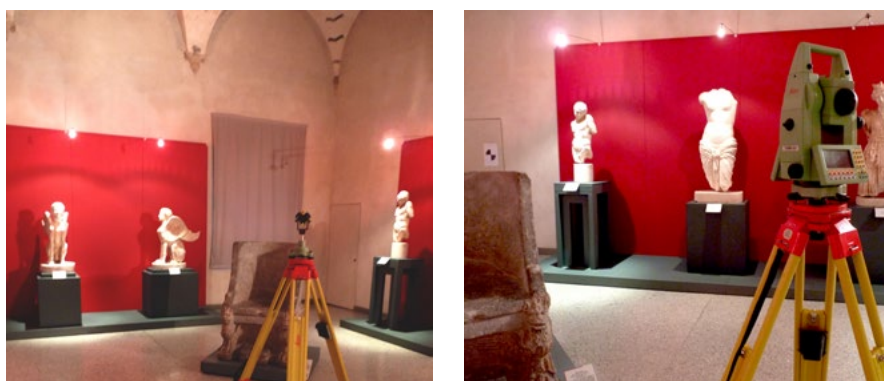
Sala del Crogiolo.



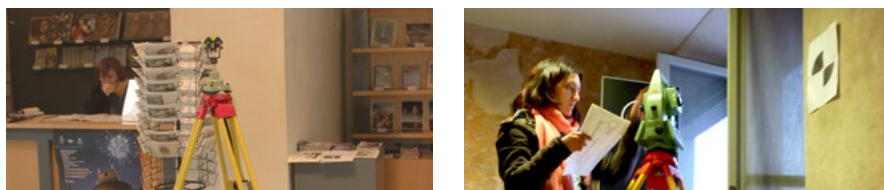
Sala del Porcospino.



Sala delle Brevi.



Atrio e vano scale.



Cortile.



2.4 Gestione dei Dati

Alla fase di rilievo sul campo, segue l'elazione del dato mediante l'utilizzo di software specifici per la gestione dell'informazione ottenuta.

In questa seconda fase, tramite il software della Leica Cyclone 7.3, si vanno a orientare le differenti scansioni e a unificarle con l'obiettivo di ottenere un unico modello finale dell'edificio, sostanzialmente una copia virtuale che è possibile esplorare in tutte le sue parti. Grazie a questo programma infatti si possono visualizzare le scansioni 3D, determinare delle misure per la conoscenza delle dimensioni e della geometria dell'oggetto ed effettuare le operazioni di registrazione/orientamento delle nuvole facendo riferimento a dei targets di scansione inquadrati rispetto ad un sistema di riferimento generale, oltre alla possibilità di associare delle immagini al dato laser.

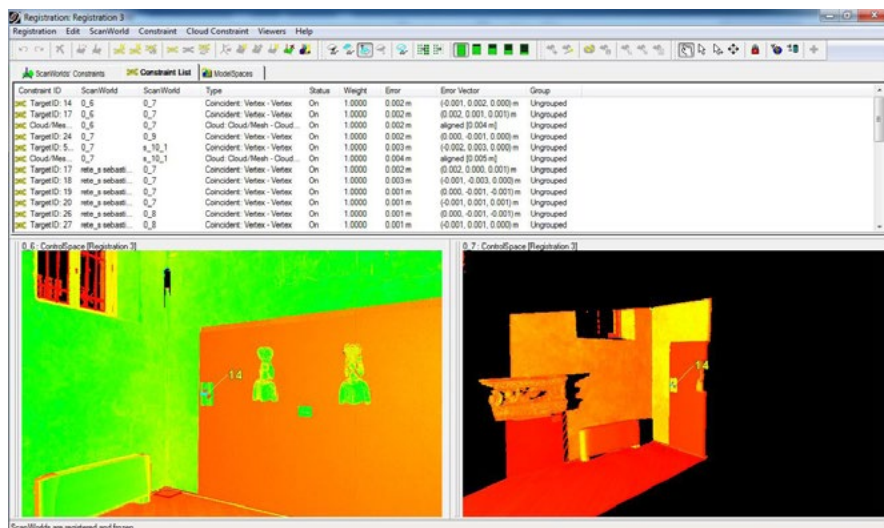
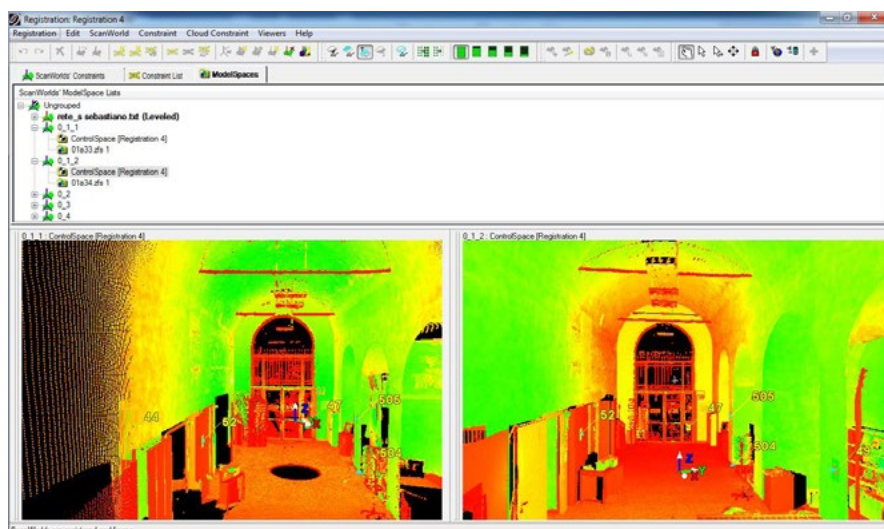


Fig. 45 | Cyclone7.3. Fase di registrazione/orientamento delle scansioni attraverso il riconoscimento di targets individuati nel sistema di riferimento generale.

A fianco Sala del Porcospino. Sotto Ingresso e nella pagina accanto vista esterna del retro del Museo.



L'orientamento è realizzabile quasi sempre grazie a quei punti le cui coordinate spaziali sono state registrate dalla rete topografica.
L'errore del rilievo topografico è inferiore a +/- 5 mm su tutto il Palazzo.

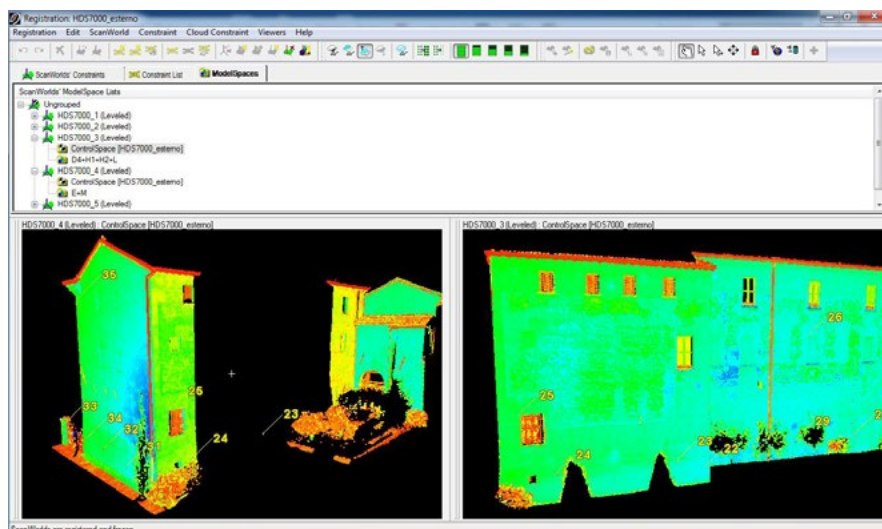
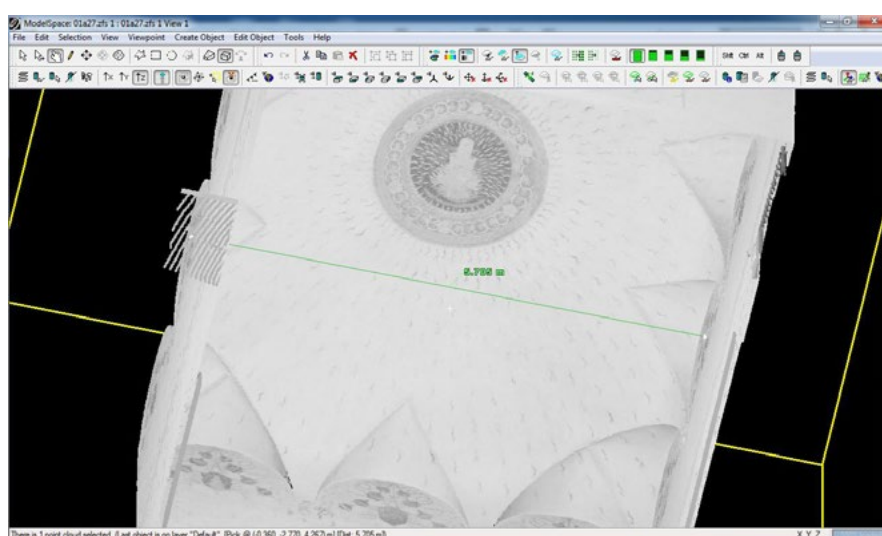


Fig. 46 | Cyclone7.3. Possibilità di eseguire delle misurazioni direttamente dal dato laser.

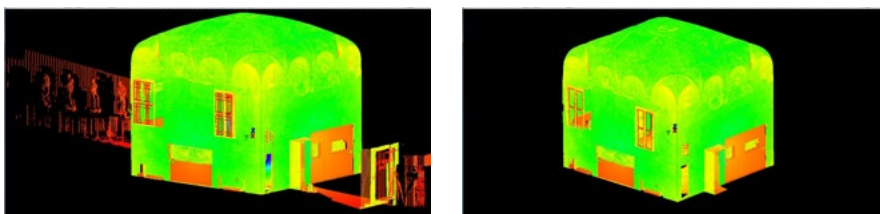


Un altro compito che impegna l'operatore, solitamente prima, ma anche in seguito all'unione delle nuvole, è quello di eliminare o ridurre quanto possibile gli errori di acquisizione del dato che sono principalmente dovuti a rumori, ovvero al trascinarsi di punti rilevati causato dalla rifrazione del raggio laser che ha colpito le superfici.

Fonte delle cosiddette strisciate dei rumori sono spesso l'errato rilevamento degli spigoli, la frapposizione di ostacoli, la presenza di particolari materiali come il vetro o il metallo lucido che riflettono il raggio laser comportando una sua deviazione. Si è quindi eseguito un filtraggio del

dato in Cyclone 7.3 per l'eliminazione di tutti quei punti estranei alle superfici architettoniche e all'eliminazione di ostacoli che erano presenti in alcune stanze, come tavoli, terminali, sedute, lampadari, opere delle collezioni e pannelli di allestimento.

Fig. 47 | Scansione prima e dopo l'operazione di pulitura. Sala del Porco-spino.

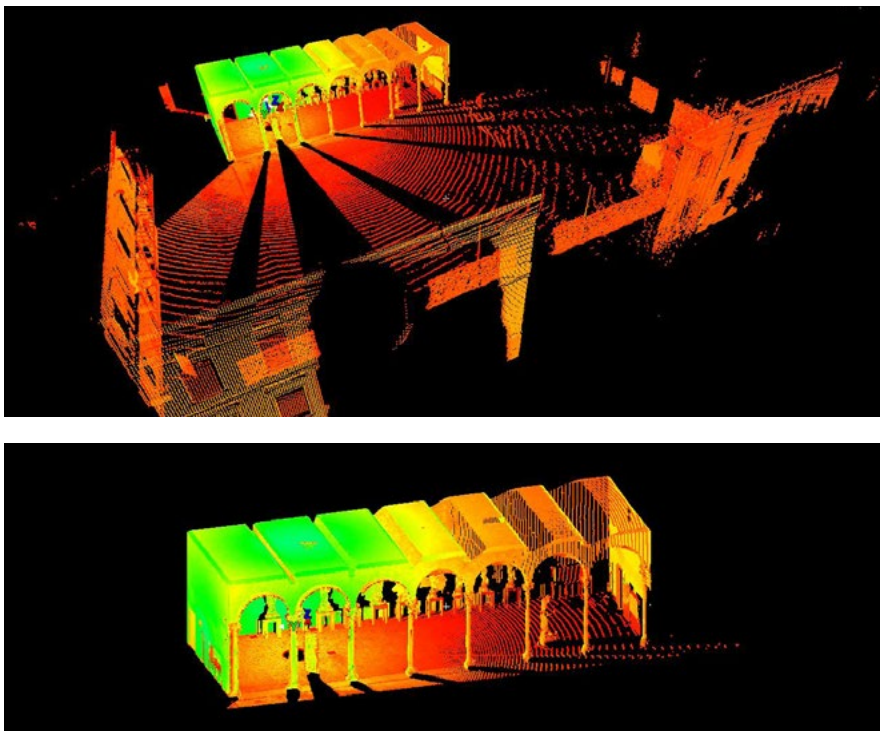


Il risultato finale dipende perciò dalla qualità delle acquisizioni e dalla precisione con cui è stata determinata la rete topografica, ma anche dalla capacità dell'operatore al quale sono demandati l'orientamento, la pulitura del dato e l'eliminazione di tutte quelle superfici o punti che risultano estranei all'oggetto del rilievo.

Importante è quindi sottolineare come la strumentazione laser scanner non generi direttamente un rilievo esatto e corretto ma solo la base per la successiva rielaborazione manuale.

In particolare l'operatore deve poter conoscere in prima persona l'oggetto rilevato ed essere supportato da un'ampia documentazione fotografica che possa aiutare l'interpretazione di quei punti delle nuvole di punti che risultassero non facilmente interpretabili.

Fig. 48 | Scansione prima e dopo l'operazione di pulitura. Cortile.



2.5 Acquisizioni di Dettaglio degli Ambienti



Come abbiamo visto, le nuvole di punti delle scansioni effettuate, nascono in origine con colori sfalsati che indicano il differente comportamento delle superfici alla radiazione luminosa del raggio laser, ma che non riportano la colorazione effettiva.

Pertanto, all'acquisizione delle superfici del Palazzo tramite metodo laser scanner, è seguita l'acquisizione dell'informazione colore, mediante prese fotografiche, con lo scopo di associare l'informazione radiometrica alle nuvole di punti.

La procedura prevede l'utilizzo di una camera fotografica (quella utilizzata è stata una Canon EOS 350D da 8Mpx) per produrre sette differenti scatti con un obiettivo fish-eye da 8 mm.

Grazie ad un braccio a rotazione manuale (Nodal Ninja) su cui viene montato l'apparecchio, è possibile ruotare di volta in volta la camera di 60° intorno all'asse verticale che virtualmente attraversa il suo centro di proiezione per ottenere i primi sei scatti in direzione azimutale, mentre l'ultimo scatto è ottenuto ruotando la camera a 90° verso l'alto, ricoprendo così l'intero panorama acquisito dal laser.



Essenziale per la buona riuscita del lavoro è eseguire gli scatti appena dopo la scansione laser in modo da mantenere in posizione il treppiede. Infatti, il punto di vista della macchina fotografica, deve corrispondere esattamente a quello dello scanner in modo da ricoprire il panorama acquisito dalla scansione.

L'utilizzo del particolare obiettivo fish-eye ultragrandangolare (campo di presa di 170°) restituisce immagini deformate, quasi tonde, che permettono di avere una parziale sovrapposizione di elementi ripresi necessaria per eseguire la loro unione tramite il software PTGui. Per fare questo è necessario che tra le diverse immagini vi sia una sufficiente sovrapposizione degli elementi ripresi, in modo da permettere il riconoscimento di punti in comune tra i vari scatti.



Una volta importate le immagini nel programma queste vengono allineate, grazie al riconoscimento automatico di punti omologhi ad opera di PTGui, vengono poi valutati gli errori di corrispondenza dei vari punti e si ha la possibilità di eliminare quelli con scarti maggiori e aggiungere eventuali punti di controllo per migliorare il risultato finale.

La processazione delle foto con questo programma consente l'unione degli scatti che fornisce il relativo panorama sferico completo.

Questa fase generalmente automatizzata, deve essere comunque guidata e perfezionata manualmente con il riconoscimento di punti omologhi corrispondenti in aree comuni a due scatti limitrofi.

Fig. 49 | Acquisizioni fotografiche del Museo tramite Canon EOS 350D con obiettivo fish-eye da 8 mm, montata su braccio a rotazione manuale (Nodal Ninja). Cortile e Sala del Porcospino.

Acquisizioni di Dettaglio degli Ambienti

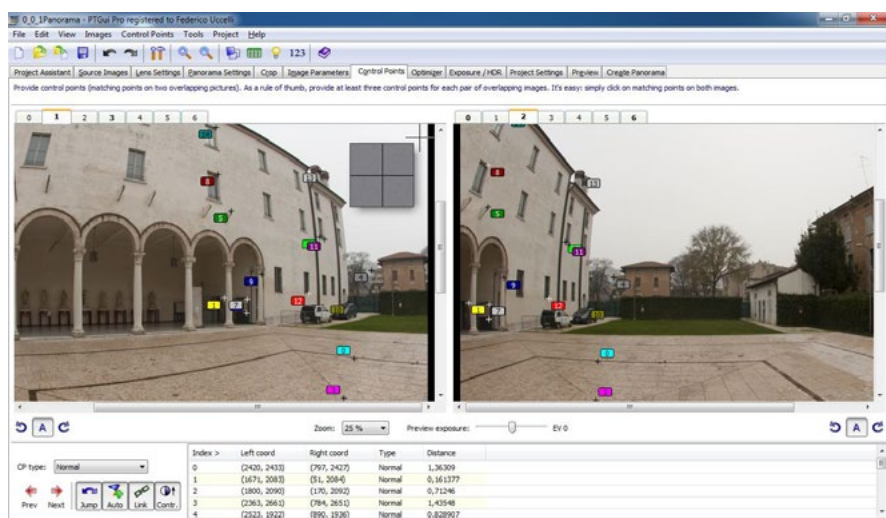


Fig. 50 | Le sette prese fotografiche eseguite con camera Canon EOS 350D e con obiettivo fish-eye da 8 mm, acquisite per colorare la nuvola di punti corrispondente nel cortile.

Fig. 51 | Software PTGui, con il quale vengono individuati i punti omologhi tra le immagini per la creazione della relativa panoramica.

Fig. 52 | Panoramica ottenuta con il software PTGui, relativa alle prese fotografiche scattate dalla prima stazione nel cortile.





Fig. 53 | Le sette prese fotografiche eseguite nella Sala del Crogiolo.

Fig. 54 | Individuazione dei punti omologhi nella Sala del Crogiolo.

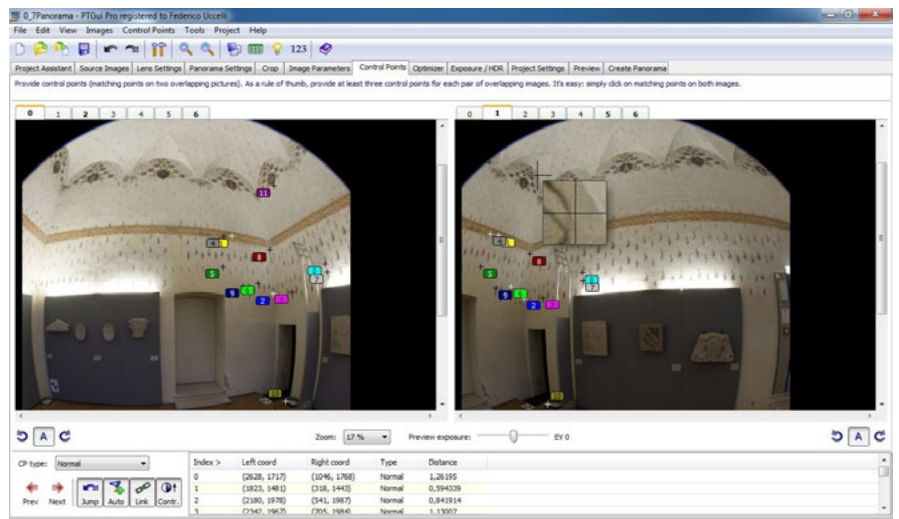


Fig. 55 | Panoramica della Sala del Crogiolo.



Dopo aver ottenuto il panorama, esso viene elaborato attraverso il software Pano 2QTVR Gui che in modo automatico permette di ricavare le cubiche, ossia le sei facce ipotetiche di un cubo al quale viene ricondotto lo spazio acquisito e che verranno associate al dato laser.

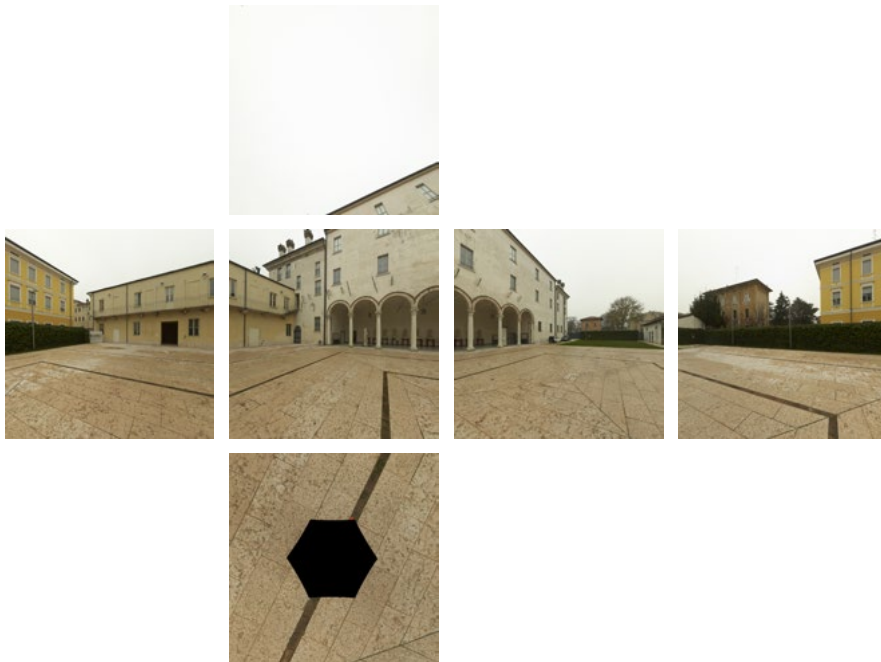


Fig. 56 | Le cubiche del Cortile ottenute dall'immagine panoramica da associare alla scansione da colorare.



Fig. 57 | Le cubiche della Sala del Crogiolo.

Una volta ottenute le cubiche esse vengono importate in Cyclone 7.3 e per ognuna di esse vengono individuati manualmente dei punti omologhi con la corrispondente scansione laser. Dopo aver individuato tali punti viene valutato l'errore (espresso in pixel) per ognuno di essi, con la possibilità di non utilizzare i punti con lo scarto maggiore e indicarne di nuovi. Il passo successivo, eseguito con il programma Cyclone 7.3, ha comportato l'associazione dell'informazione radiometrica (RGB) al dato laser con lo scopo di migliorare qualitativamente l'elaborato.

L'associazione del colore ha dato migliori risultati per i locali di piccole dimensioni rispetto a quelli più ampi, ad ogni modo si riuscì a tenere l'errore massimo al di sotto del pixel per gli ambienti interni e al di sotto di 1,5 pixel per l'esterno. La colorazione ottenuta per le nuvole di punti ha comunque facilitato le successive fasi di elaborazione dei dati.

Fig. 58 | Individuazione di punti omologhi tra la nuvola di punti del Cortile e un'immagine cubica del Cortile attraverso il software Cyclone 7.3.

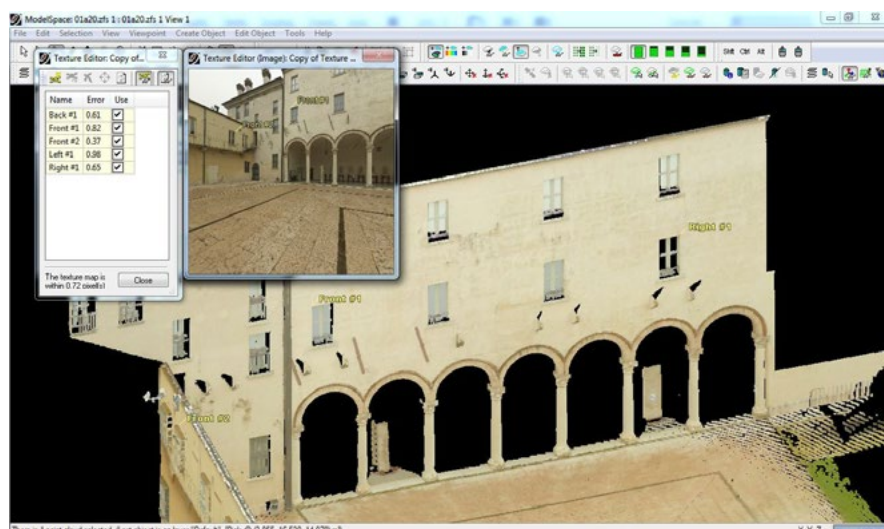
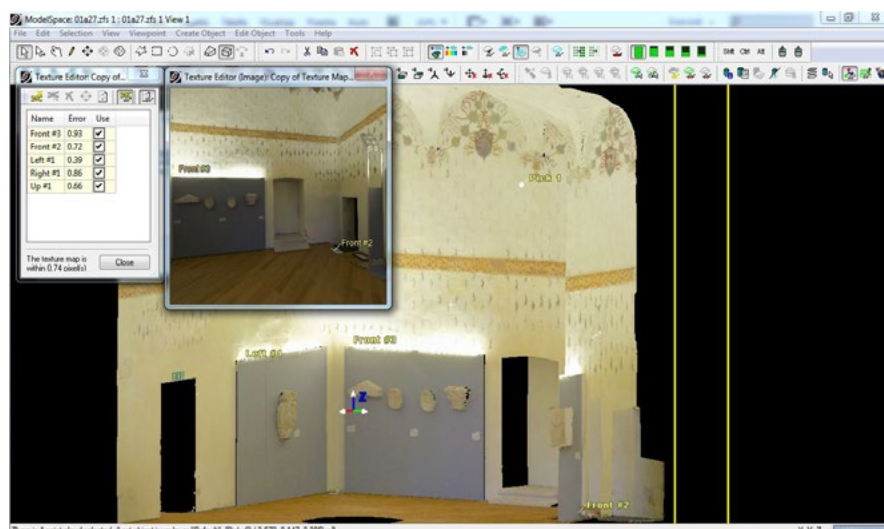


Fig. 59 | Associazione dell'informazione RGB alla nuvola di punti della Sala del Crogiolo.



Acquisizioni di Dettaglio degli Ambienti

PIANO TERRA	Errore Massimo associazione colore Cyclone 7.3	SALA 1° PIANO	Errore Massimo associazione colore Cyclone 7.3	SCALA 2°-1°	Errore Massimo associazione colore Cyclone 7.3
Cortile 1	0,98	Sala Est	0,97	10	0,91
Cortile 2	0,84	Sala delle Freccce	0,9	11	0,88
Atrio 1	0,95	Sala delle Brevi	0,98	SCALA 1°-2°	
Atrio 2	0,91	Sala dei Trionfi 1	0,99	7	0,72
Sala del Sole	0,93	Sala dei Trionfi 2	0,87	SCALA 0°-1°	
1	0,8	6	0,98	3	0,9
2	0,89	SALA 2° PIANO		4	0,89
Loggia 1	0,93	8	0,94	5	0,87
Loggia 2	0,93	9	0,94		
Sala del Porcospino	0,95	Galleria Superiore 1	0,72		
Sala del Crogiolo	0,93	Galleria Superiore 2	0,96		
Vano 1	0,95	Galleria Superiore 3			
Vano 2	0,87	Galleria Superiore 4	0,88		
Scala 1	0,74	Galleria Superiore 5	0,93		
Scala 2	0,9	Galleria Superiore 6	0,81		

Fig. 60 | Report errori associazione dato RGB alle nuvole di punti del piano terra, piano primo, piano secondo, scale.

Gli scatti fish-eye sono stati eseguiti in tutti gli ambienti dell'edificio tenendo presente le differenti condizioni di luminosità dei locali, regolando ora più ora meno, i parametri di esposizione, apertura del diaframma, tempo.

Tutte le immagini sono state, prima della creazione delle panoramiche, sottoposte ad una elaborazione in CaptureOne eseguendo il bilanciamento del bianco, eliminando i difetti dell'aberrazione cromatica e rendendo il più possibile omogeneo e realistico il colore tra le foto delle medesime stanze.

Associando in Cyclone 7.3 ciascuna point cloud con le immagini fish-eye scattate dal medesimo punto di stazione, grazie all'individuazione di punti omologhi, si sono ottenute scansioni colorate che forniscono una maggiore leggibilità di alcuni dettagli acquisti.

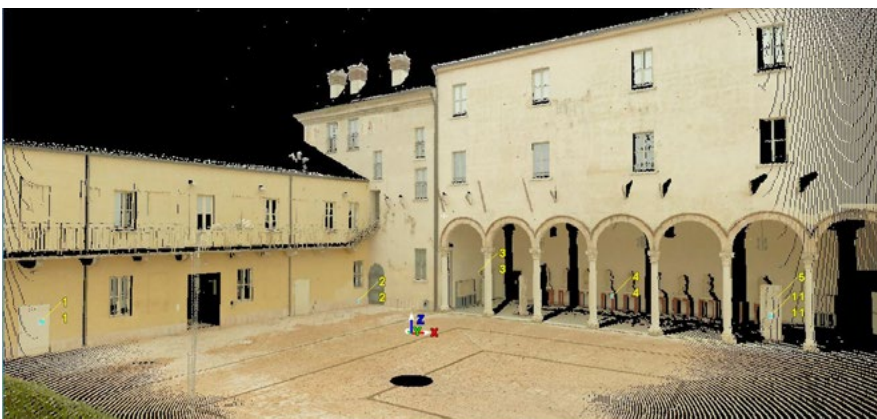


Fig. 61 | Nuvola di punti del Cortile con l'informazione radiometrica associata.



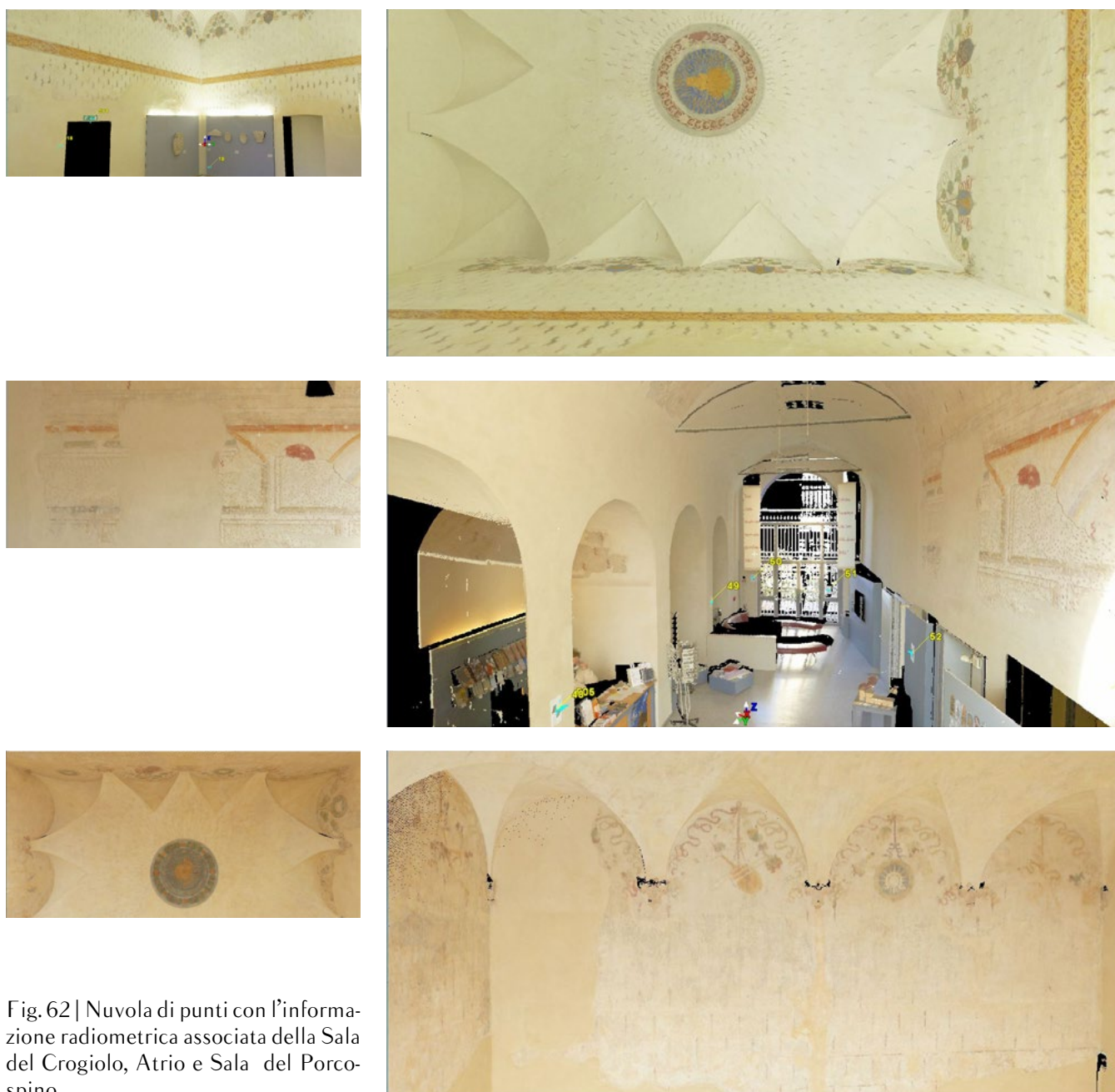


Fig. 62 | Nuvola di punti con l'informazione radiometrica associata della Sala del Crogiolo, Atrio e Sala del Porco-spino.

In seguito con il software Pano 2QTVR Gui sono state generate delle panoramiche navigabili liberamente con lettori multimediali come QuickTime, che collegate tramite hot spot permette una navigazione “museografica” delle stanze del Museo, argomento che sarà approfondito nei capitoli seguenti.

Una considerazione a parte va fatta per la colorazione delle scansioni laser dei prospetti esterni, poichè è stato applicato un metodo differente: non sono state scattate le immagini fish-eye, come per tutte le altre acquisizioni, ma le prese sono state effettuate in modo indipendente rispetto al laser.

Con questa modalità le immagini vengono scattate senza che il centro di presa della camera coincida con l'origine del raggio laser durante il rilievo dello scanner, rendendo le due fasi di acquisizione autonome ed eliminando le problematiche relative ad eventuali fuori asse delle strumentazioni che possano compromettere l'elaborato finale.

Questo metodo risulta molto più veloce in fase di rilievo ma di qualità inferiore per quanto riguarda il risultato finale poichè gli elementi di disturbo, quali alberi o oggetti acquisiti nell'immagine, vengono applicati sulla nuvola di punti in modo errato.

In questo caso l'associazione del dato radiometrico è avvenuto mediante Cyclone 7.3, il quale basandosi sui principi della fotogrammetria classica, permette di orientare le prese fotografiche direttamente sulle scansioni laser, senza la predisposizione di un DSM (modello digitale della superficie).

Per le 5 scansioni esterne del Palazzo, sono state fatte prese fotografiche il più possibile frontali per meglio riuscire ad associarle al dato laser.

Tramite il comando texture map browser di Cyclone 7.3 sono stati individuati dei punti omologhi - almeno 6 - tra immagine e nuvola di punti, non allineati e ben distribuiti in particolare ai margini del prospetto, grazie ai quali, dopo aver abbassato al minimo l'errore, è stata applicata il dato RGB al dato laser.

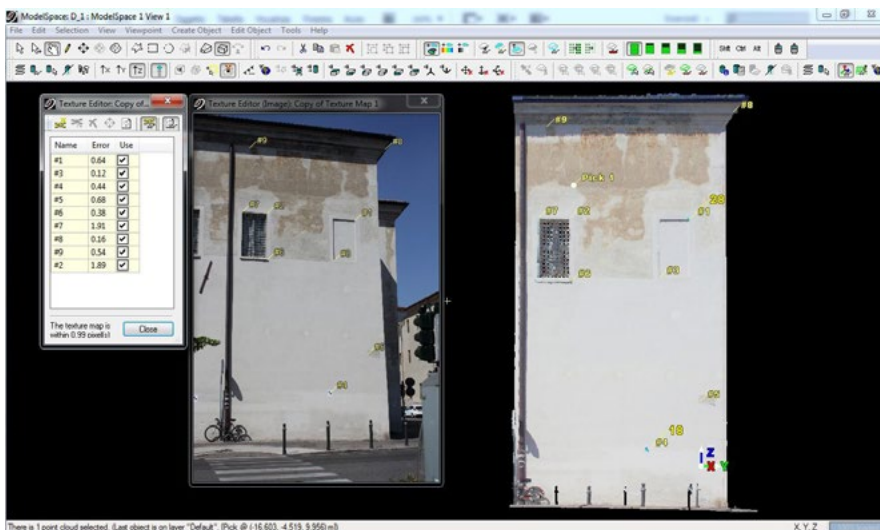


Fig. 63 | Individuazione di punti omologhi tra la nuvola di punti della Vista 5 dell'esterno e un'immagine cubica attraverso il software Cyclone 7.3.

Fig. 64 | Report errori associazione dato RGB alle nuvole di punti dell'esterno.

ESTERNO	Errore Massimo associazione colore Cyclone 7.3
Vista 1_a	0,84
Vista 1_b	0,71
Vista 5_a	0,99
Vista 1_c	0,96
Vista 5_b	1,47
Vista 5_c	1,3
Vista 5_d	1,49
Vista 3_a	0,51
Vista 4_a	0,89
Vista 2_a	0,85
Vista 3_b	0,46
Vista 3_c	1,44
Vista 2_b	0,6
Vista 3_d	0,89
Vista 4_b	0,54

3 Modellazione

La procedura che va dall'acquisizione tridimensionale di un oggetto fisico fino ad una sua forma di rappresentazione digitale prende il nome di Reverse Modeling. Si tratta di un processo inverso a quello progettuale in senso canonico in quanto l'oggetto fisico rappresenta il dato di partenza, mentre il modello digitale costituisce il prodotto finale del processo di modellazione.

Nel Reverse Modeling si cerca di cogliere l'essenza di un progetto formale attraverso un rilievo digitale delle superfici e una modellazione che, a seconda dei casi, può estendersi fino ad un modello poligonale (mesh) o fino alle superfici polinomiali (B-Splines, NURBS, Subdivision Surfaces), che meglio approssimano quelle rilevate.

Quando l'oggetto in questione è un Bene Culturale, il Museo della Città in questo caso, lo studio si fonda sull'utilizzo di diversi metodi di ricerca relativi sia all'analisi di tipo storico che alle caratteristiche geometriche e formali del modello fisico in situ, in modo che la summa delle conoscenze del passato e del presente convergano verso l'interpretazione di tale Bene.

In questa ricerca, l'uso di strumenti e metodi basati su sistemi digitali di acquisizione, modellazione e visualizzazione trova sempre più spazio.

La presenza dei sistemi digitali unita alla loro evidente potenzialità ha portato da diversi anni gli studiosi ad interrogarsi sull'importanza dell'uso del digitale nell'ambito dei Beni Culturali, valutando attentamente quali possono essere gli aspetti positivi e negativi di un'applicazione sempre più estesa.¹

Proprio per la grande variabilità di modelli fisici che possono rientrare nel mondo dei Beni Culturali diviene essenziale capire la tipologia del modello che dobbiamo analizzare.

Risulta pertanto evidente come il processo e l'uso degli strumenti di acquisizione tridimensionale sia ben differente da soggetto a soggetto.

Nonostante la natura del manufatto di partenza determini il percorso ottimale per ottenere il miglior risultato finale, è sempre bene aver chiare anche le finalità per cui si sta facendo un determinato rilievo e l'applicazione finale del modello tridimensionale che ne scaturirà.

1 G. Guidi, M. Russo, J.A. Beraldin, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill Companies, Milano 2010

3.1 Metodologie di Modellazione

Una volta terminato il post-processamento dei dati e l'elaborazione delle nuvole di punti, è stato possibile cominciare la fase di modellazione.

Diversi sono i tipi di approcci con cui si può affrontare tale tematica e tutti prevedono un certo grado di semplificazione o interpolazione del dato puntuale per trasformarlo in un'informazione continua.

La nuvola laser infatti può essere utilizzata in vario modo e da essa è possibile estrarre vari livelli di informazione, creando diversi tipi di rappresentazioni tridimensionali:

- DSM, modelli digitali della superficie, o depth map, costituiti da grigliati di punti regolari estratti campionando in modo automatico il dato laser rispetto ad un passo prestabilito. Si tratta di modelli appartenenti a metodi di imaged based dove i sensori passivi (camere e video camere) producono immagini da cui è possibile, tramite un modello matematico ben preciso, ricavare le coordinate 3D dell'oggetto in esame.

La mappa che viene generata è un'immagine digitale costituita da pixel a cui vengono assegnati diversi valori di grigio o RGB per interpolazione e la cui intensità è proporzionale al valore di profondità Z del punto.

Questa viene generalmente impiegata per la realizzazione di prodotti fotogrammetrici come le ortofoto digitali, ma anche per l'estrazione di caratteristiche dell'oggetto come aree, punti, linee, ecc, applicando algoritmi di image-matching.¹

Si possono annoverare fra i metodi di imaged based anche:

> Sistemi monoscopici multi-immagine (Photomodeler; iWitness; Image Modeler; Canoma, Facade, ecc), che permettono di restituire, tramite collimazione assistita (geometria epipolare), un modello tridimensionale in modalità wireframe. L'operatore, dopo aver eseguito la calibrazione della camera e l'orientamento per bundle adjustment, può individuare e restituire coordinate di punti e caratteristiche dell'oggetto (breaklines, spigoli, curve) da immagini multi-sensore e con geometria di presa multi-image.

Questo modello può essere ulteriormente elaborato in ambiente CAD (Autocad, 3DStudiomax, Rhinoceros) per l'estrazione di geometrie complesse a partire da linee, sezioni, bordi, spline, ecc. e texturizzato tramite immagini.

È un metodo quindi semi-automatico, che permette di ottenere una restituzione precisa, poiché filtrata dall'intervento umano. La scelta dei punti caratteristici e significativi per la successiva modellazione viene fatta sulle aree dell'immagine dove sono contenute informazioni utili alla ricostruzione di una forma geometrica o di una superficie, tralasciando ciò che non serve.

¹ Nex, 2010; Fassi, 2009



Fig. 65 | Ortofoto del soffitto ligneo del Piano Nobile del Palazzo Ducale di Sabbioneta - Sala degli Ottagoni, Mantova (3D Survey Group - BEST - Politecnico di Milano).



Fig. 66 | Ara Pacis Augustae, restituzione 3D, attraverso fotomodellazione (CNR-IBAM).



Tale tecnica è stata adottata per la riproduzione del Busto di Francesco II Gonzaga, opera esposta nella Sala delle Frecce, utilizzando il software 123D Catch di Autodesk. Il busto è stato fotografato a quattro quote diverse ed effettuando 24 prese in media per ogni livello, in modo da riprenderne l'intera superficie.

Per ciascuna foto effettuata viene calcolata la proiezione inversa sul modello 3D; per ogni triangolo del modello 3D viene selezionata la porzione di foto migliore, ovvero quella che introduce la minor distorsione, e viene costruita una singola tessitura che integra le varie immagini RGB in ingresso.

Il busto elaborato infine è stato ripulito eliminando le parti di fotografie che riportavano l'ambiente circostante con il software Meshlab e in seguito salvato in formato .wrl per la navigazione, descritta nel capitolo successivo, nello spazio virtuale interattivo VRML (Virtual Reality Markup Language).



Fig. 67 | Livelli di presa fotografica a quattro quote differenti del Busto di Francesco II Gonzaga.

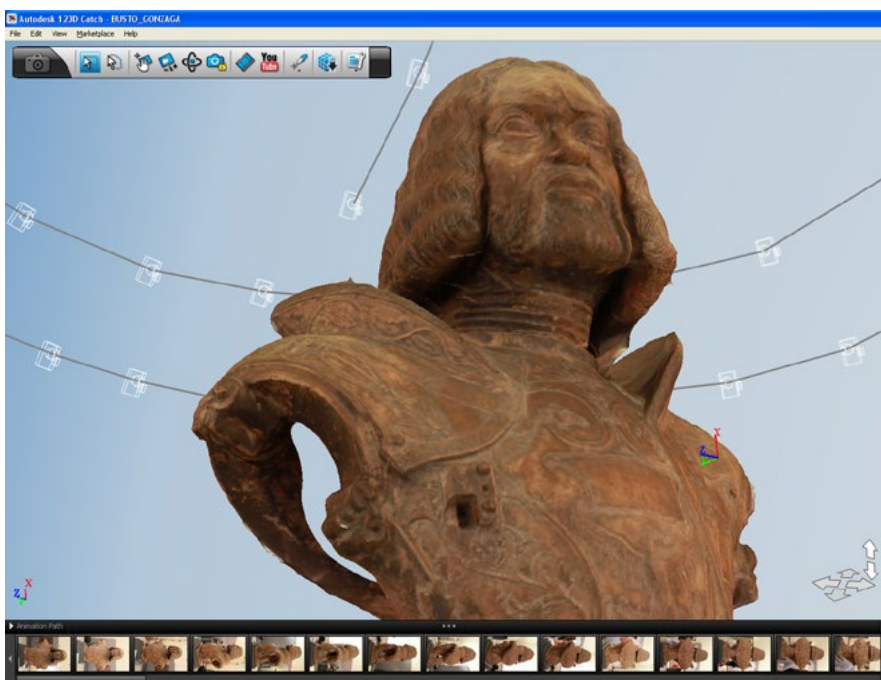
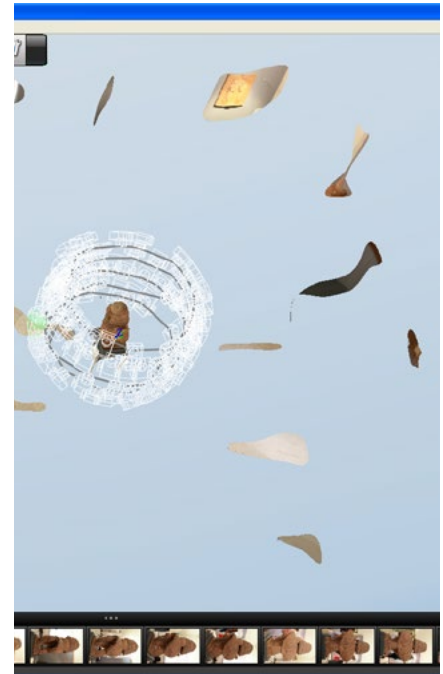
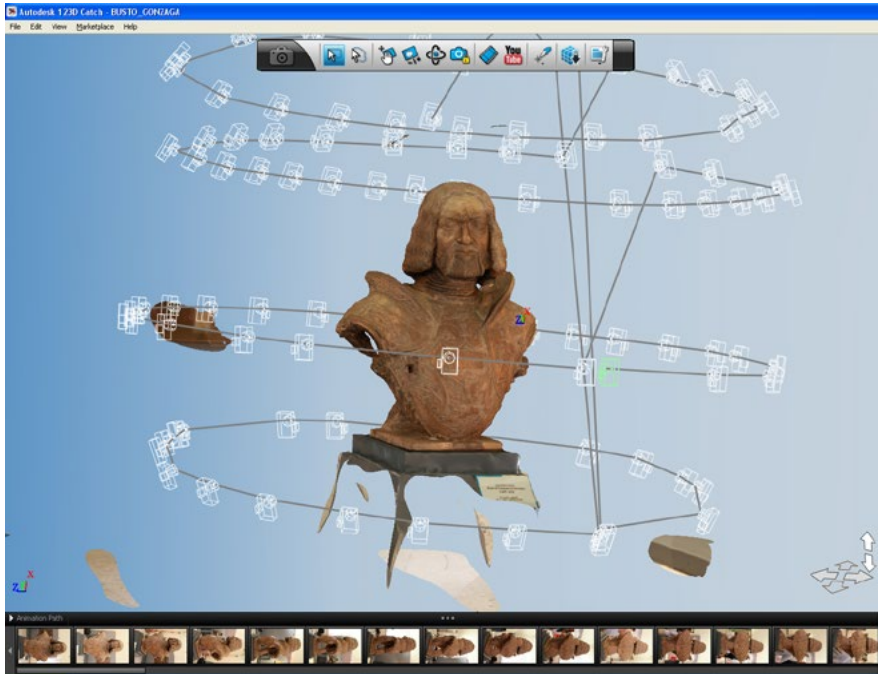


Fig. 68 | Elaborazione del busto realizzato con il software 123D Catch .

Fig. 69 | Busto di Francesco II Gonzaga non ancora pulito dalle parti di fotografia riprendenti l'ambiente circostante della sala delle Frece del Museo della Città.

Fig. 70 | Grazie a 123D Catch è possibile individuare le quote a cui sono state scattate le fotografie e i punti di presa.

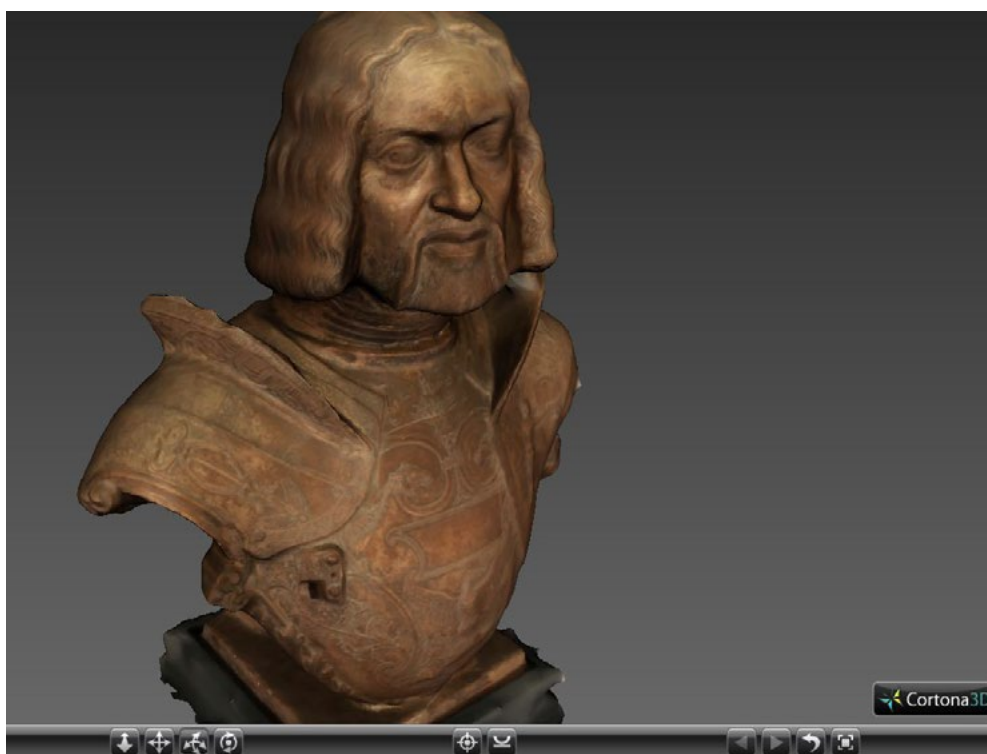


Fig. 71 | Busto di Francesco II visualizzato in Meshlab software che ha permesso l'eliminazione delle fotografie che riprendevano l'ambiente circostante della Sala delle Frecce.

Fig. 72 | Il busto è stato salvato in formato .wrl e visualizzato in rete tramite il player Cortona 3D Viewer.

> Modellazione attraverso l'utilizzo di immagini fotografiche panoramiche e restituzione attraverso software monoscopici (es. pacchetto SPhERA, Università di Ancona, Fangi).

Le immagini panoramiche sono costituite da numerose prese fotografiche acquisite a partire da un unico centro di presa, ruotando di 360° rispetto all'asse verticale, in modo da ottenere un ricoprimento che assicuri l'unione tra i fotogrammi. La creazione del panorama avviene in modo automatico con programmi commerciali di stitching (PTGui, Sticher, Easy Pano, ecc). Il presupposto teorico che consente di estrarre informazioni geometriche dai panorami è che questi siano rappresentati sul piano attraverso una rappresentazione equirettangolare. Una volta orientati tra loro vari panorami in modo relativo, è possibile effettuare la restituzione degli elementi caratteristici della scena ripresa, con punti, linee, ecc. E' quindi possibile realizzare un modello tridimensionale di tipo wire-frame e applicare su di esso i panorami come texture, per la successiva visualizzazione e renderizzazione foto realistica.



Fig. 73 | Restituzione del modello tridimensionale del Duomo di Ancona ad opera di Valeria Pompa (Università Politecnica delle Marche).

Ritornando alle diverse tipologie di modellazione troviamo ancora:

- Modelli solidi generati con procedure di restituzione CAD. In questo caso la forma geometrica dell'oggetto rilevato viene ricavata attraverso un ridisegno CAD manuale, come nel caso applicativo del Palazzo in esame, utilizzando principalmente sezioni di riferimento per la generazione di solidi.

Si tratta di un lungo processo ma facilmente praticabile, che sfrutta tutte le potenzialità di rendering e mappatura di texture degli ambienti di modellazione.

Tale modalità implica però un grado di semplificazione del modello inaccettabile se fatto con solidi e geometrie elementari. E' necessario quindi utilizzare sistemi di modellazione da profili di sezione variabile che permettano di interpolare la superficie tra di essi. I software che consentono l'interfaccia con programmi CAD come Autocad, 3DStudio Max, Rhinoceros e Sketchup, sono quelli di gestione e visualizzazione della nuvola di punti, Cyclone di Leica e Pointools.

I dati della nuvola vengono gestiti in un database esterno all'ambiente di modellazione per consentire la visualizzazione di milioni di punti, tuttavia le fasi di modellazione generano molti di dati che appesantiscono la gestione grafica e non consentono la visualizzazione di tutti i dati del modello.

Questa tecnica di modellazione è adatta per una rappresentazione architettonica dove le forme da rappresentare sono costituite da geometrie definite. Nel caso di forme libere è impossibile operare qualsiasi tipo di modellazione CAD.

La semplificazione che viene operata può essere accettabile in certe scale di rappresentazione, ma se si vuole realizzare un modello digitale con precisioni millimetriche, questo non è lo strumento adatto.

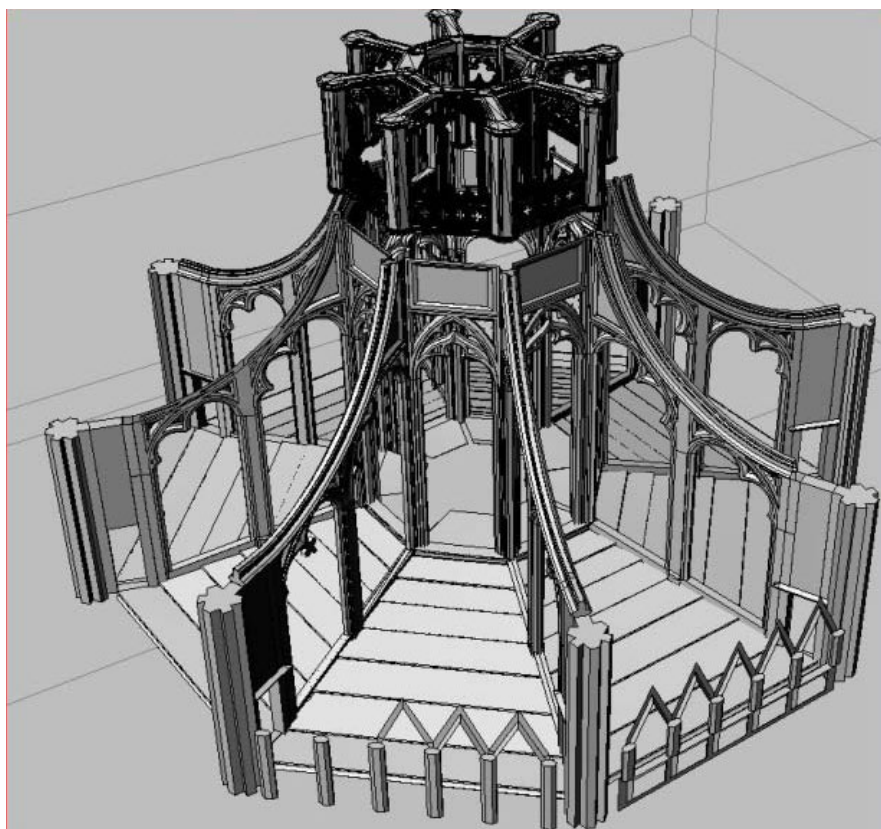


Fig. 74 | Modello tridimensionale del tiburio del Duomo di Milano, realizzato con il software Rhino (3D Survey Group - BEST - Politecnico di Milano).

- Modelli di superficie ottenuti tramite operazioni di interpolazione della nuvola di punti. E' l'approccio più utilizzato perché permette di connettere tutti i vertici del modello, in modalità di superficie o volumetrica.

Le rappresentazioni che si ottengono sono generalmente delle buone approssimazioni del reale andamento dell'oggetto e sono in relazione con la risoluzione della scansione. I punti del modello vengono connessi tramite poligoni, generalmente di tipo triangolare, TIN (triangular irregular network). Il risultato può essere una superficie più o meno corretta a seconda della natura del dato e dalla presenza di errori di connessione tra i triangoli. Vi possono inoltre essere delle lacune che per completare il modello devono essere colmate attraverso procedure automatiche.

Per questo motivo generalmente il lavoro di modellazione si suddivide in diverse fasi: caricamento dei dati e fusione delle nuvole, dopo eventuali processi di allineamento o di ottimizzazione; filtraggio degli errori grossolani e outliers, riduzione dei punti su tutto il modello in modo uguale o rispetto l'andamento delle superfici; triangolazione di superficie o volumetrica; controllo e verifica del dato ottenuto con eliminazione di errori topologici nella definizione delle mesh; ricostruzione delle lacune; lisciatura della superficie con operazioni di smoothing o enfaticizzazione dei profili attraverso operazioni di enhancement (esaltazione dei particolari); ottimizzazione del modello e riduzione del numero delle mesh, attraverso l'eventuale redistribuzione dei poligoni; export del dato e creazione di visualizzazioni del modello.

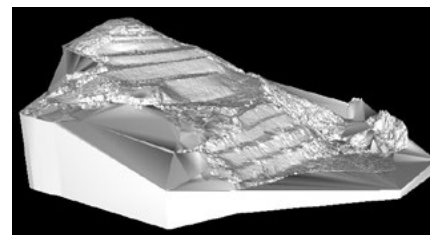


Fig. 75 | Esempio di superficie TIN di un sito di cava.

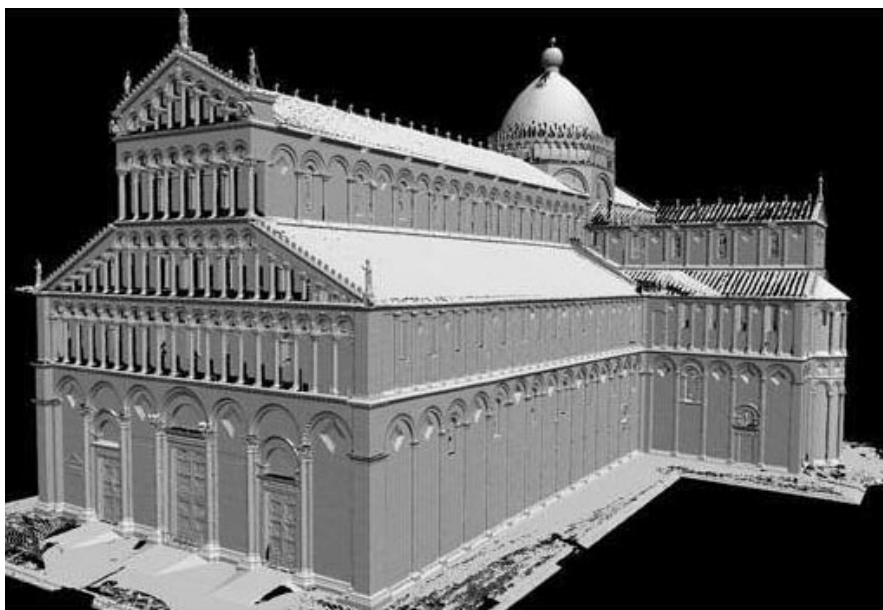
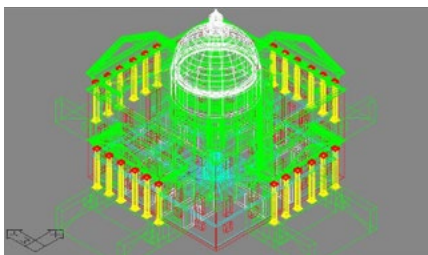


Fig. 76 | Modellazione tridimensionale del duomo di Pisa da dati laser scanner elaborati dal centro di ricerca ISTI_CNR (DIAPReM - Ferrara).

3.2 Costruzione per Primitive Geometriche



La modellazione tridimensionale consente di realizzare degli oggetti 3D in uno spazio virtuale generato da un computer attraverso particolari software.

La forma dell'oggetto modellato viene trasposta in dati di sintesi sui quali il computer può operare. Il processo di trasposizione virtuale richiede la trasformazione di elementi geometrici in codici arbitrari, che per loro natura non consentono una efficace comunicazione degli stessi.

La ricerca dei dati di sintesi, che possono rappresentare entità geometriche in modo da essere successivamente oggetto di trasformazione al computer, ha portato allo sviluppo di alcune principali tecniche di modellazione:

Modellazione Wireframe

È la più semplice e vecchia forma infografica per rappresentare le forme tridimensionali. Essa raffigura solo i bordi delle forme, rimandando all'osservatore la capacità di individuare la consistenza del volume.

Modellazione per Superfici

Rappresenta i vertici, i bordi e le facce di un oggetto, ma la struttura che crea su questi elementi è piuttosto limitata. Un cubo, secondo questo tipo di struttura dati, è un insieme di sei poligoni non strutturati.

Modellazione NURBS

Permette di modellare qualsiasi oggetto particolarmente complesso. Si tratta di una rappresentazione matematica che definisce accuratamente qualunque forma, da una semplice linea al più complesso solido o superficie free-form tridimensionale organica.

Modellazione Solida

È il più completo di tutti i metodi usati per rappresentare le forme. I modelli solidi contengono informazioni geometriche su tutte le parti della forma offrendo la possibilità di generare forme complesse combinando semplici solidi attraverso operazioni booleane di unione, sottrazione ed intersezione.

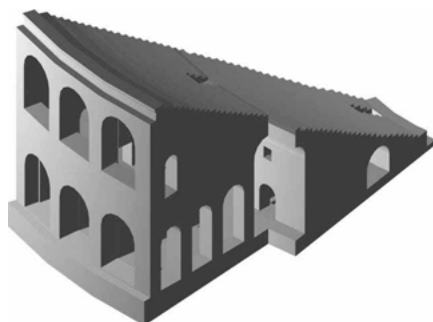
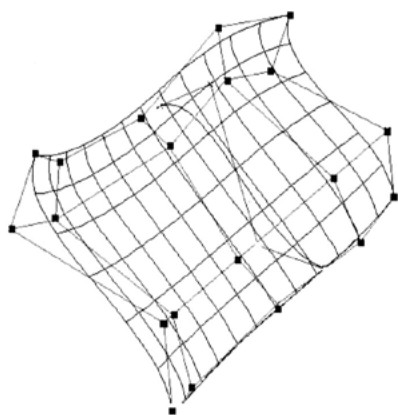
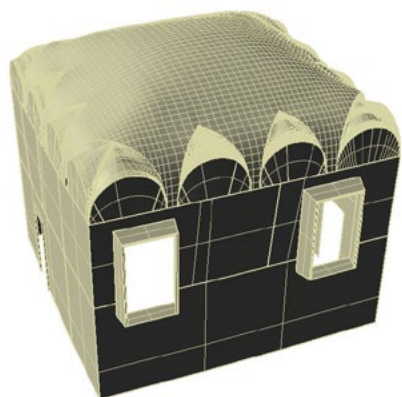


Fig. 77 | Visualizzazione wireframe in ambiente Autocad.

Fig. 78 | Modello per superfici della Sala del Porcospino - Museo della Città

Fig. 79 | Punti di controllo di una superficie NURBS.

Fig. 80 | Modellazione solida dell'Arena di Verona (CIRCE -Laboratorio di Cartografia e Gis - IUAV).

La costruzione del modello tridimensionale del Museo della Città rientra nella tipologia di modellazione 3D geometrica per superfici NURBS ottenuta mediante l'utilizzo di primitive 3D e delle principali funzioni di costruzione tridimensionale (estrusione, rivoluzione, loft..) della famiglia di applicativi CAD e/o di modellazione solida.

Per la sua costruzione è stato utilizzato Rhinoceros 4.0, software di modellazione 3D, editing, compositing, animazione e rendering.

Per lo sviluppo del modello sono state importate, sottoforma di polilinee unite, le sezioni orizzontali e verticali estratte dalla nuvola di punti.

Il software utilizzato per il ridisegno vettoriale della nuvola di punti è Autocad 2012 associato ad un applicativo della Leica Geosystem, Cloudworx, che consente di operare sulle nuvole di punti in ambiente CAD.

Cloudworx, essendo studiato per operazioni di ridisegno consente di visualizzare il database tridimensionale in modo agevole anche se costituito da milioni di punti e di selezionare e/o isolare parti specifiche della nuvola laser per la definizione di profili di sezione.

Dato che si sta lavorando in CAD sono utilizzabili tutti i sistemi di visualizzazione di dati 3D rispetto a piani di riferimento prestabiliti (proiezioni ortogonali), pur conservando la georeferenziazione del dato rispetto a un sistema di riferimento generale.

Per poter procedere dunque al ridisegno delle sezioni dell'edificio è necessario creare un sistema di riferimento (UCS) che risulti ortogonale alle sezioni dell'edificio da estrarre, in modo da poter utilizzare correttamente il sistema di viste automatiche del programma.

Le nuvole visualizzate in Autocad, saranno pertanto orientate secondo il sistema di riferimento topografico con cui sono state orientate spazialmente l'una con l'altra. Per ottenere l'orientamento utile all'estrazione dei profili, dall'UCS globale di Autocad (ovvero quello pre-impostato dal programma), si procede disegnando delle linee che indicheranno la direzione sulla quale dovrà giacere il piano di taglio per l'estrazione delle sezioni desiderate. I ridisegni delle sezioni sono tracciati direttamente sul piano di taglio, ottenendo quindi una collocazione spaziale delle restituzioni.

Una volta caricato il Modelspace delle singole scansioni esportate in formato .pts e impostato il piano di disegno, è possibile grazie a Cloudworx ritagliare delle slices (fette), rispetto agli assi XYZ, di punti, che corrisponderanno al profilo da ridisegnare. Lo spessore della slice, e quindi il numero di punti inclusi dalla stessa, determina la precisione del profilo da ridisegnare, pertanto deve essere individuata dall'operatore con attenzione. Tramite il comando polilinea sono tracciati i punti che definiscono il profilo della porzione sezionata. Tutti i nodi della polilinea giacciono sul medesimo piano avendo la stessa elevazione di partenza o

assegnandola se diversa.

A seconda della geometria delle stanze sono state ricavate diverse sezioni:

- le sale del piano terra (Sala del Sole, Sala del Porcospino e Sala del Crogliolo) e le sale del piano primo (Sala Est, Sala delle Frecce e Sala delle Brevi) presentano una forma di pianta pressochè quadrata pertanto si è ritenuto opportuno estrarre una sezione orizzontale e quattro sezioni verticali, due in senso trasversale e due in senso longitudinale, in modo da poter seguire l'andamento della muratura;

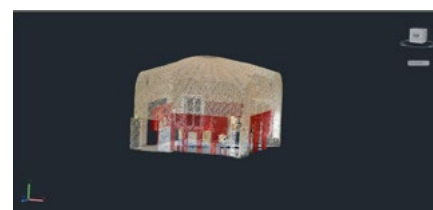
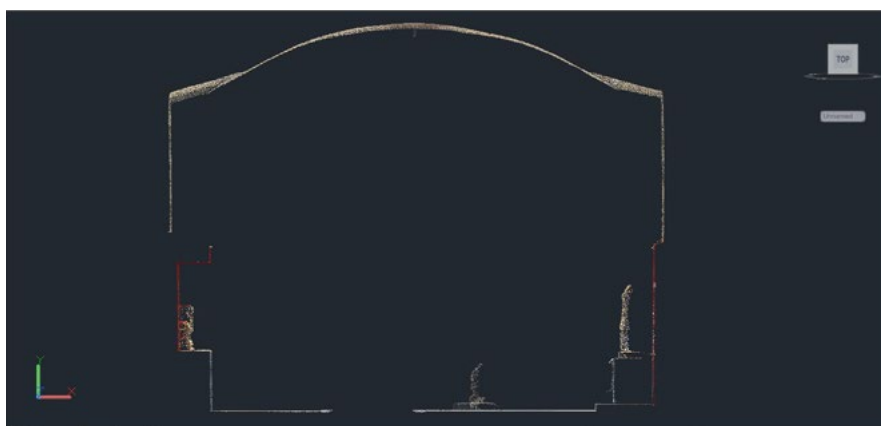


Fig. 81 | Vista tridimensionale in ambiente Autocad della Sala delle Brevi.

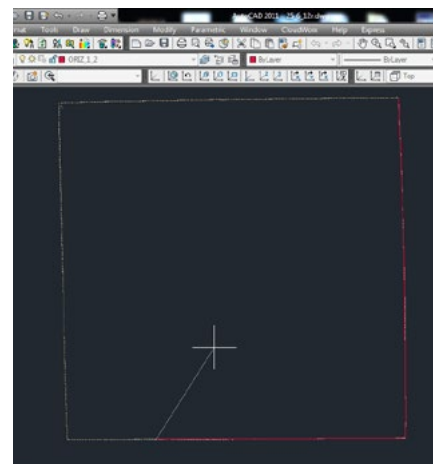
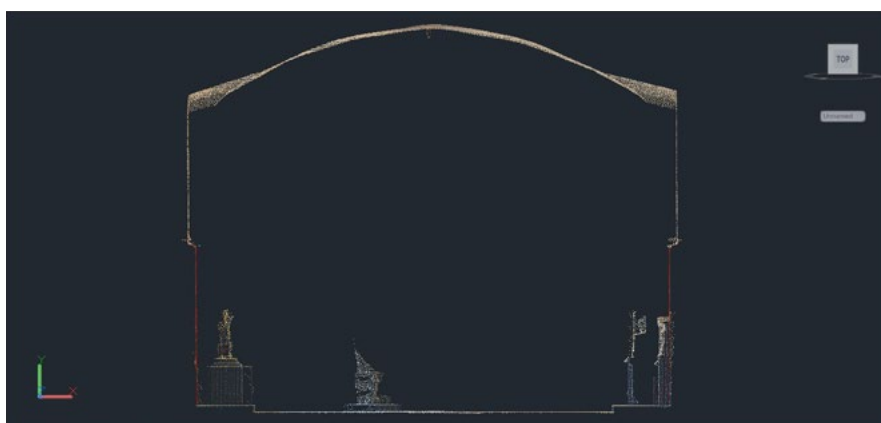
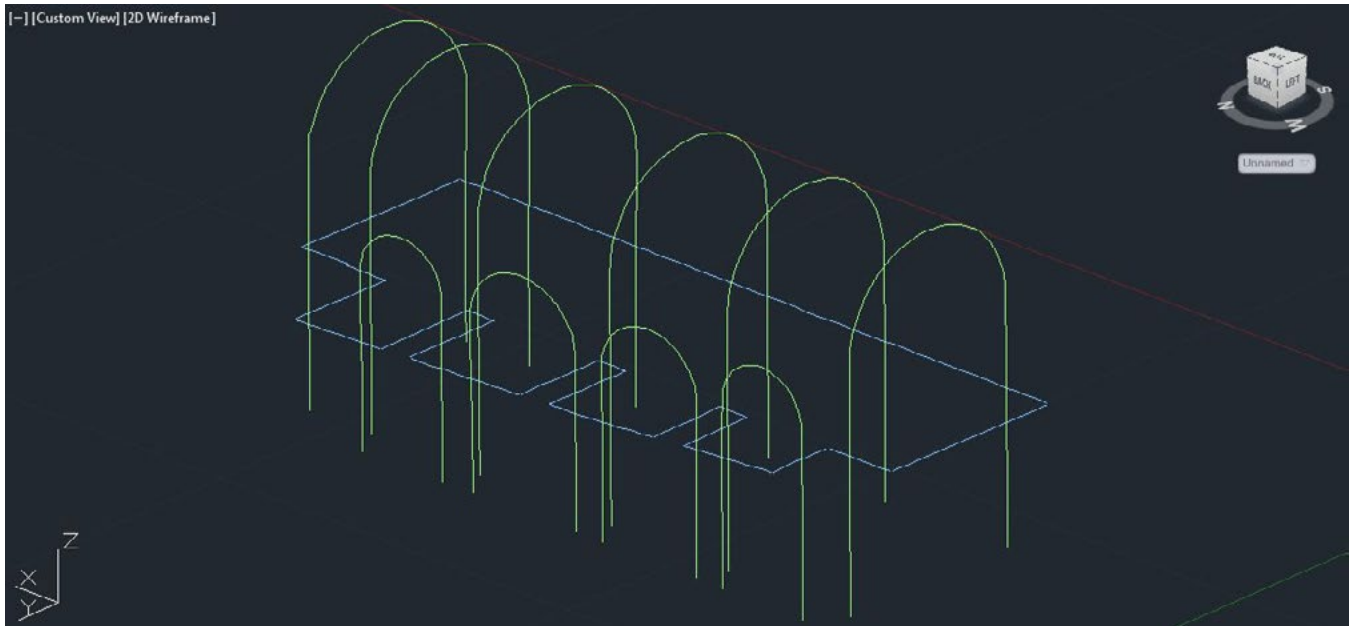


Fig. 82 | Ridisegno geometrico della Sala delle Brevi che ha previsto l'estrazione della sezione in pianta e due sezioni verticali in senso trasversale e due in senso longitudinale. Nelle immagini si può identificare la slice utilizzato per questo procedimento.

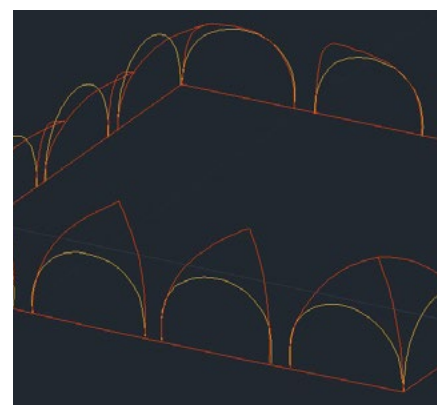
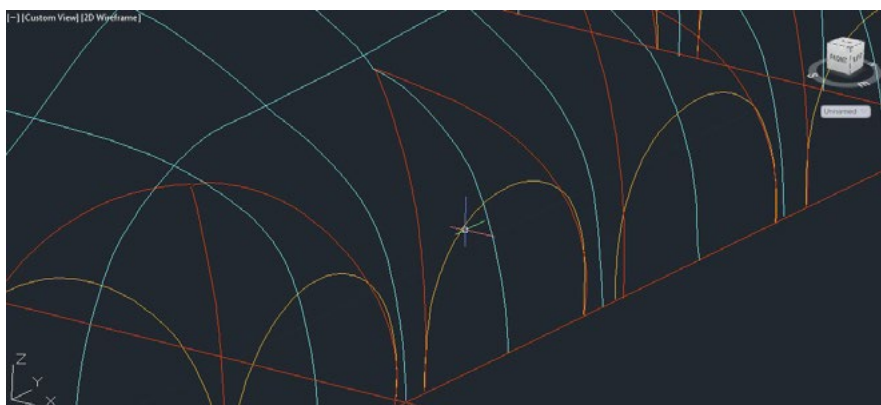
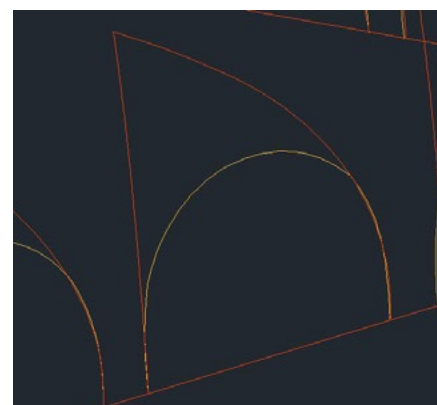
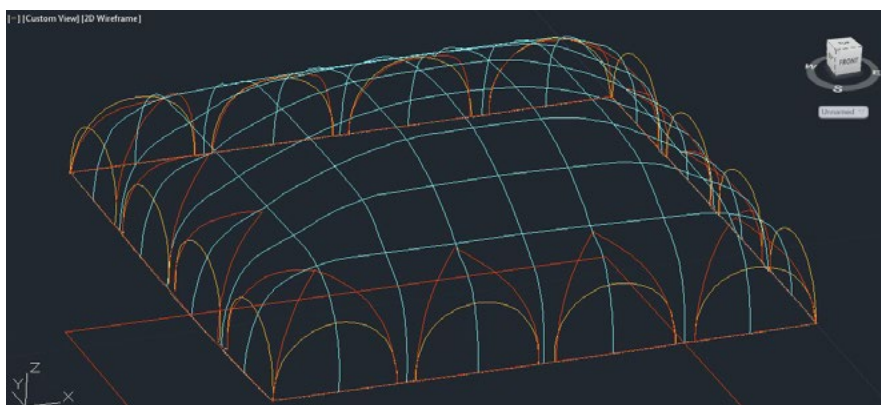
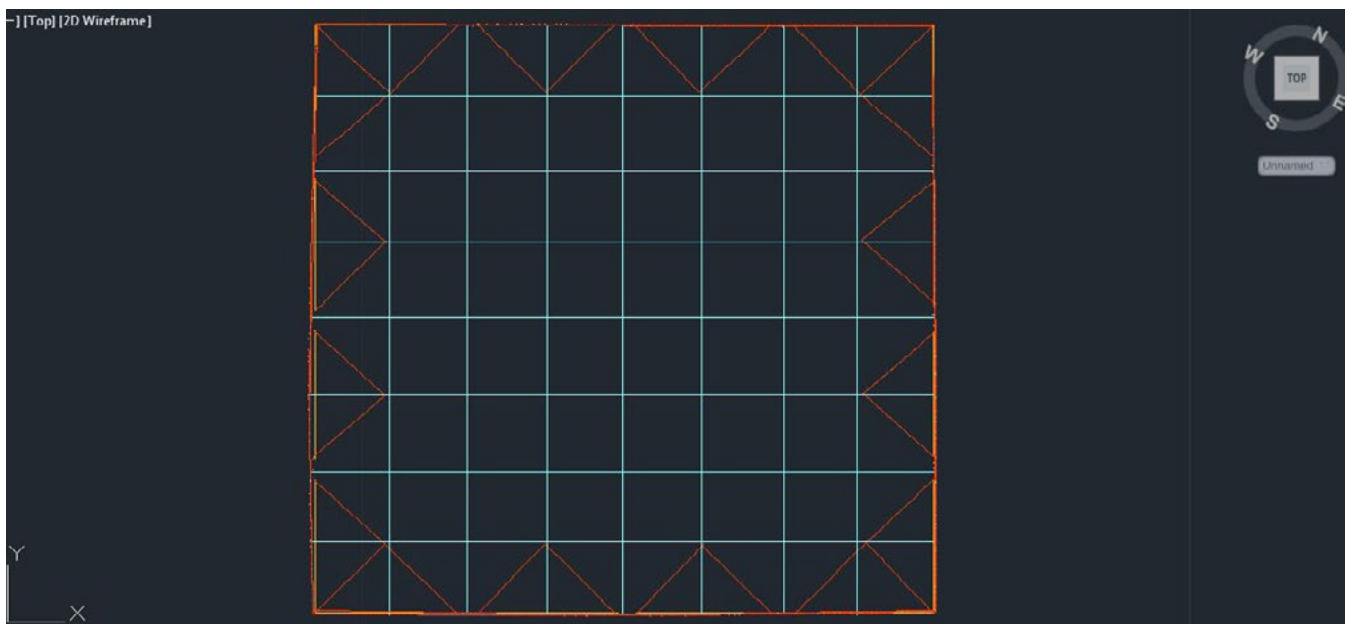
- l'atrio del Museo, la Sala dei Trionfi al primo piano e la Galleria Superiore al secondo, sono ambienti lunghi e di pianta rettangolare perciò sono state estratte ravvicinate sezioni trasversali.



Per il ridisegno delle sezioni delle volte presenti a piano terra nell'atrio, nella Sala del Sole, nella Sala del Porcospino e nella Sala del Crogiolo invece si è proceduto nel seguente modo: per ogni sala sono state disegnate sezioni trasversali e longitudinali in corrispondenza delle unghie e delle lunette. Per il disegno delle unghie è stato impostato un nuovo UCS ortogonale alla sezione del profilo da estrarre. Terminato il ridisegno geometrico il file viene esportato in formato .iges o .dgn riportando l'UCS in modalità World pronto per essere elaborato in Rhinoceros.

Fig. 83 | Estrazione delle sezioni trasversali ravvicinate dell'atrio ex cammino di ronda necessarie per eseguire il Loft nella successiva costruzione del modello geometrico in Rhinoceros.

Fig. 84 | Estrazione dei profili per costruire la geometria della volta. Prima fase di estrazione di sezioni longitudinali e trasversali ravvicinate in modo da creare una rete di curve. Seconda fase di ridisegno delle lunette per finire con i profili delle unghie disegnati modificando per ognuna il piano di coordinate UCS.



3.3 Costruzione del Modello 3D

Gli strumenti di modellazione CAD offerti da Rhinoceros 4.0 prevedono molteplici funzionalità: modellazione Nurbs di superfici, gestione delle polisuperfici, strumenti di deformazione, ambiente di modellazione bidimensionale.

La modellazione NURBS, acronimo di B-Splines Non-Uniformi (Non Uniform Rational B-Splines), ha consentito di modellare qualunque oggetto dalla forma svariata e complessa come un apparato del corpo umano.

Non-Uniform si riferisce alla parametrizzazione della curva, ovvero sono presenti dei punti di controllo non equidistanti tra loro.

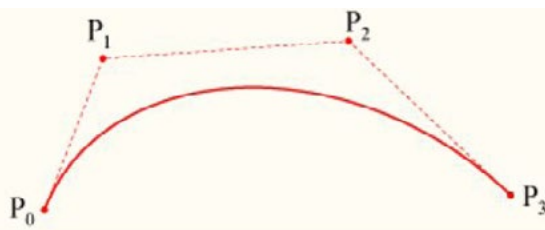
Rational si riferisce all'uso del peso. Questo valore viene attribuito al peso (solitamente positivo).

B-Spline si riferisce a basis spline, cioè curve polinomiali che hanno una rappresentazione parametrica, formate da una serie di curve di Bézier.

Quando si parla di superficie parametrica si intende una parametrizzazione di curve parametriche descritte da una tripletta di coordinate $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$. Le curve parametriche - quindi le superfici - più usate sono quelle di terzo grado, dette cubiche.

Mentre un segmento rappresenta una curva di primo ordine e può essere rappresentato da 2 coefficienti (i due estremi), una curva di terzo ordine richiede 4 parametri, ovvero gli estremi e i due valori della derivata agli estremi stessi.

Le curve parametriche di Bézier hanno la possibilità di poter rappresentare differenti tipi di curve. Per disegnare questa curva nel piano, o in uno spazio tridimensionale, si ricorre ad



una poligonale composta da quattro punti distinti P_0 , P_1 , P_2 , P_3 .

La curva così ha inizio dal punto P_0 , termina in P_3 e viene controllata dagli altri due punti che sono esterni alla curva, ma che comunque sono necessari dato che gli fornisce una direzione.

Il segmento che collega i primi due punti, ed il segmento che collega gli ultimi due, sono tangenti alla curva rispettivamente nel punto iniziale e nel punto finale della stessa.

I punti P_0 , P_1 , P_2 , P_3 prendono il nome di punti di controllo, mentre la poligonale che li unisce viene comunemente denominata poligono di controllo. Spostando un punto di controllo, vengono modificati tutti i punti della curva avendo così una influenza globale sull'andamento.

La curva è interamente compresa all'interno della poligonale chiusa definita dai punti di controllo.

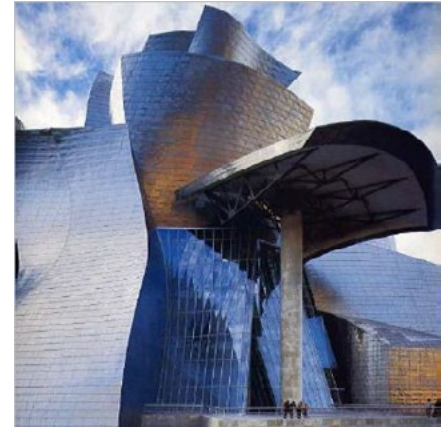


Fig. 85 | Il Museo Guggenheim di Bilbao di Frank Gehry è un esempio reale di modelli realizzati su superfici NURBS.

Fig. 86 | Curva cubica di Bézier.

A lungo andare ci si accorse che le curve di Bézier erano troppo rigide ovvero modificando un punto si modificava tutta la curva, non riuscendo ad ottenere modifiche locali.

Da questa intuizione nacquero le curve B-Splines, che possono essere equiparate ad una serie di curve di Bézier, messe in successione ed unite attraverso dei nodi. Se i nodi sono disposti in modo equidistante tra loro, allora la curva si dice uniforme, viceversa, se sono disposti in modo disomogeneo allora vi è la possibilità di creare cuspidi e la curva viene detta non-uniforme.

Si tratta di una classe di curve geometriche in grado di descrivere accuratamente qualunque figura. A differenza dei poligoni, di solito composti da triangoli che ne definiscono

la superficie, le NURBS definiscono la curva che approssima la superficie da modellare.

Esse formano dei reticoli, la cui densità viene stabilita dall'utente, ai cui

incroci sono situati dei punti di controllo che, a seconda dei casi, sono stati singolarmente selezionati con il puntatore e spostati nella direzione desiderata. In questo modo è stato possibile modificare il profilo dell'oggetto in ogni sua parte.

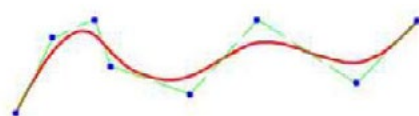


Fig. 87 | Curva B-Splines non uniforme.

Nel caso del Museo, una volta importate le sezioni estratte da Autocad in formato .iges o .dgn, la costruzione del modello è stata sviluppata in diverse modalità a seconda dell'oggetto da modellare.

Costruzione per estrusione

Si tratta di un semplice metodo per realizzare delle forme estruse partendo dalla polilinea disegnata in Autocad e assegnandogli una certa altezza e una direzione di estrusione nel caso di estrusione lineare o seguendo il percorso di una curva.

Per la costruzione delle pareti delle sale di pianta quadrata è stato adottato questo tipo di procedimento: Estrudi lungo una curva. Si è lavorato parete per parete, dove si sono selezionate le polilinee da estrudere che rappresentano la sezione orizzontale della sala e successivamente la polilinea che costituisce il percorso dell'estrusione. La traiettoria è costituita dalla polilinea corrispondente alla sezione verticale della sala.

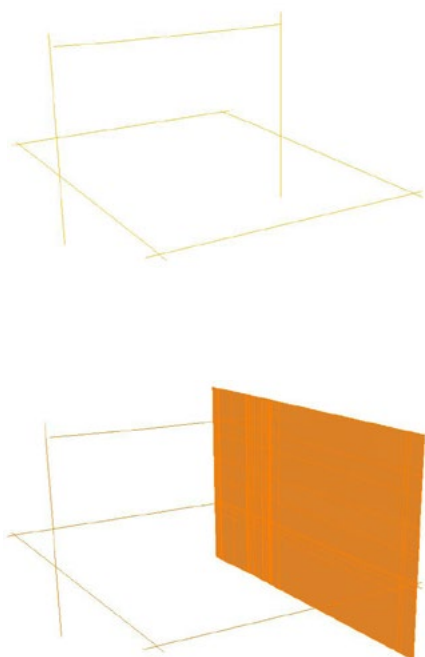


Fig. 88 | Costruzione per estrusione lungo una traiettoria per le pareti delle sale del Museo con una geometria a pianta quadrata.

Con il comando Estrudi lineare, il profilo della polilinea importata da Autocad, è stato proiettato in senso ortogonale a questa per un'altezza stabilita dall'operatore, generando una superficie.

L'estrusione funziona solo con figure geometriche chiuse, l'importante è che il contorno di quest'ultime sia stato costruito con una polilinea. Questa funzione è stata utilizzata come completamento della costruzione per terminare ad esempio le estrusioni lungo una curva e per generare le bucatore delle finestre.

Costruzione per Loft

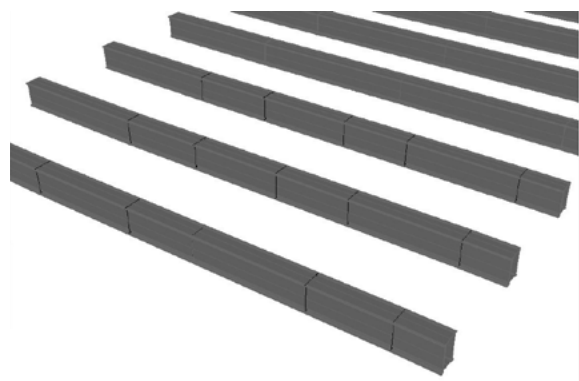
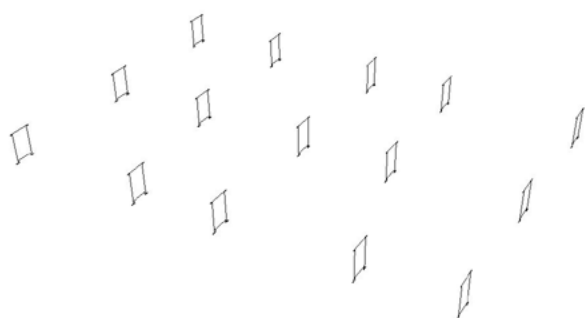
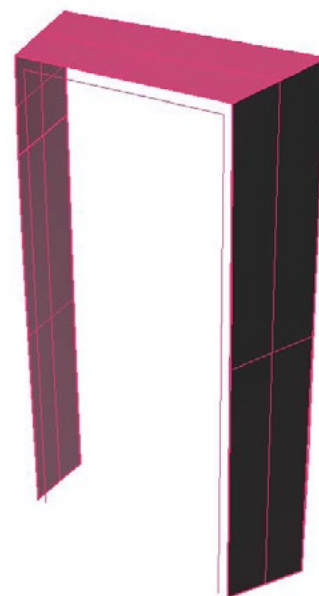
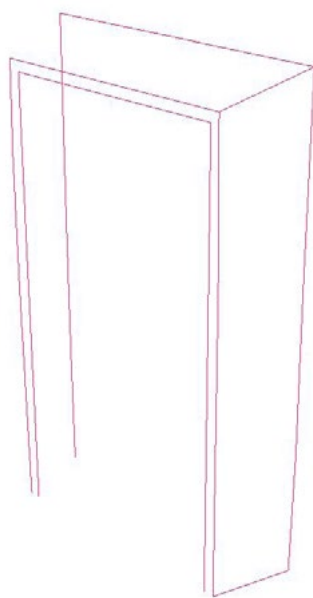
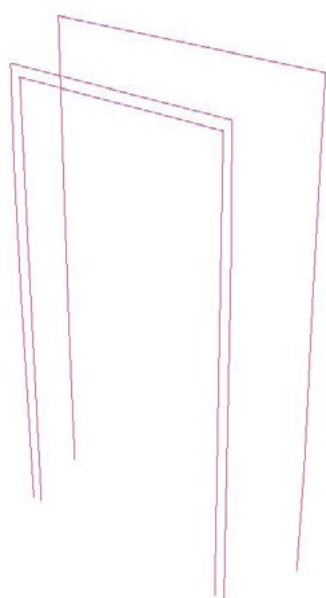
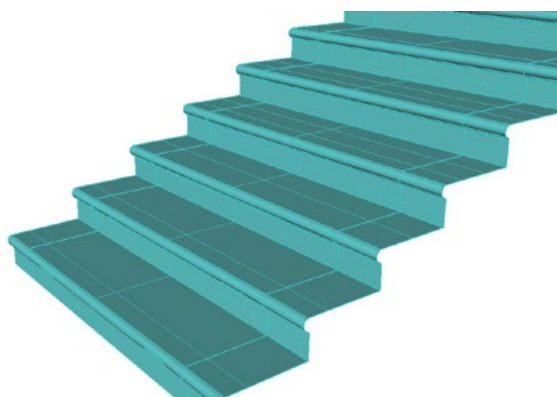
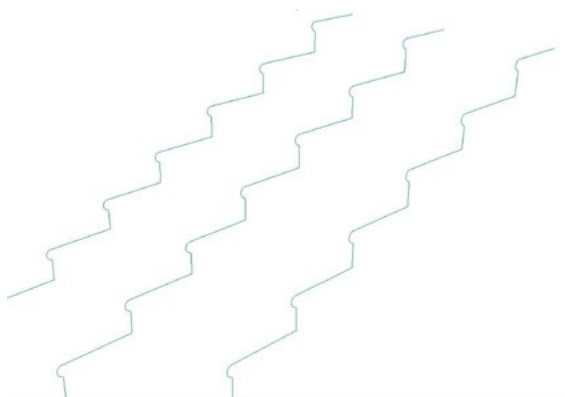
In questo caso la forma dell'oggetto è data da una serie di sezioni disposte in una certa sequenza.

Un ulteriore metodo di costruzione risultato molto adeguato è stato il Loft. Esso ha consentito di realizzare una polisuperficie collegando due o più sezioni trasversali le quali possono avere contorni completamente diversi. La forma creata si è adatta in maniera graduale al profilo delle sezioni che ne definiscono il percorso.

Insieme al procedimento Loft si è ricorso al comando Sweep su due binari, operazioni adottate per la realizzazione delle pareti delle sale con pianta rettangolare, delle bucatore murarie in corrispondenza delle finestre, per la costruzione dei componenti del solaio, delle capriate e delle scale.



Fig. 89 | Procedimenti di costruzione per Loft delle pareti a pianta rettangolare, delle scale, delle travi del solaio e per la costruzione delle bucatore per le finestre il Loft veniva alternato allo Sweep su due binari.



Operazioni Booleane

Consente di ottenere delle forme complesse partendo dalle polisuperfici generate, componendole tra loro attraverso tre operazioni: Unione, Sottrazione e Intersezione.

I comandi Unione, Differenza, Intersezione eseguono sulle polisuperfici le cosiddette operazioni booleane.

Le operazioni eseguite maggiormente sono state Differenza e Intersezione.

La prima operazione è servita per sottrarre una forma solida da un'altra. Questa modalità infatti insieme ad Intersezione, è stata utile per realizzare le aperture nelle strutture murarie.

Le polilinee disegnate in ambiente Autocad rappresentano le sezioni dell'apertura muraria e del telaio dell'infisso, aventi la stessa elevazione. Generata la polisuperficie della bucatura mediante il comando Loft o Sweep su due binario, si attiva il comando Differenza, il quale permette la sottrazione di due superfici che si intersecano. Il comando Intersezione invece crea un solido composto dalle sole parti comuni di due oggetti che si compenetrano; i volumi che restano al di fuori dell'intersezione vengono pertanto eliminati.

Altri comandi utili hanno permesso di modificare gli spigoli o le facce delle polisuperfici, per esempio dando modo di copiarli, spostarli, ruotarli, ecc. Fra i più utili Estendi superficie che consente di allungare o accorciare una polisuperficie selezionando il bordo di quest'ultima ed Estrai superficie che permette di estrarre dalla polisuperficie soltanto le superfici selezionate.

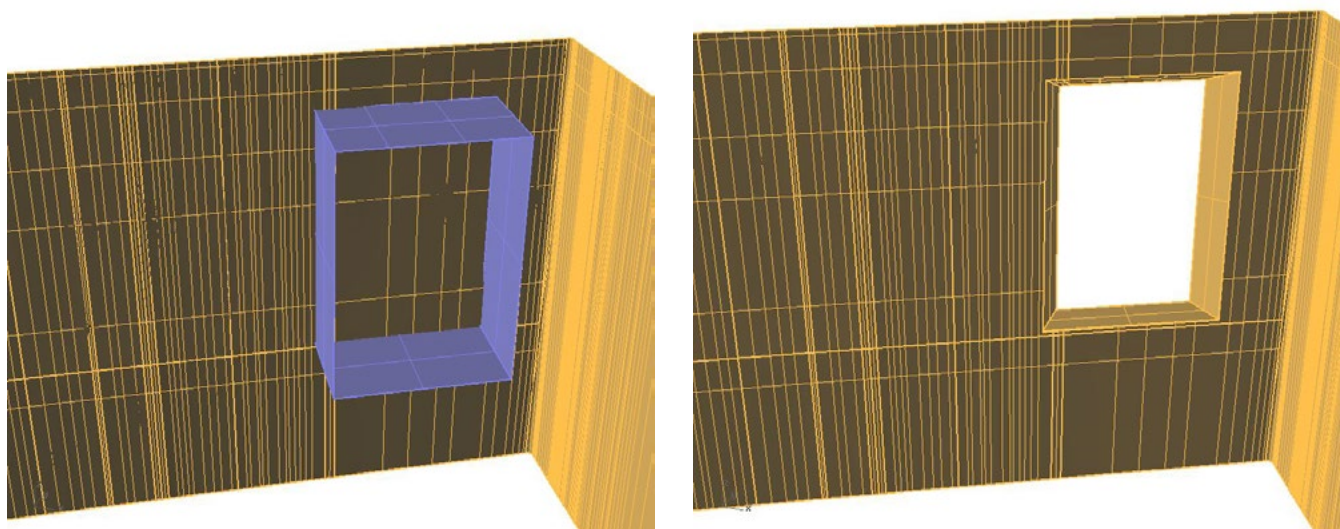


Fig. 90 | Le operazioni Booleane sono state utilizzate per le aperture delle sale in corrispondenza delle finestre.

3.4 Costruzione delle Volte

È opportuno dedicare uno spazio più approfondito alla costruzione delle volte presenti nell’Atrio, nella Sala del Sole, Sala del Porcospino, Sala del Crogiolo, i vani 1 e 2, lo scalone della zona ovest, Sala delle Brevi e Sala delle Frece, poichè la complessità della loro geometria ha portato alla sperimentazione di più metodi per ottenere un buon esito finale.

Nel campo del rilievo dei Beni Culturali si ha spesso a che fare con oggetti dalla geometria molto complessa e quindi con dense nuvole di punti, da cui la generazione della superficie è un processo complicato.

Le nuvole dei punti e le mesh prodotte dai rilievi con laser-scanner costituiscono dunque solo il punto di partenza di una procedura di modellazione tridimensionale. I software di post-processamento di questo tipo di dati hanno pertanto sviluppato funzioni di modifica delle superfici e di disegno vettoriale finalizzati al completamento dei modelli.

La creazione di modelli tridimensionali costituiti da mesh è una delle principali funzioni dei software di Reverse Engineering di post-processamento dei rilievi con laserscanner. Tali software modellatori creano modelli definiti matematici poichè le superfici NURBS sono definite da polinomi in forma parametrica con i quali è possibile descrivere e rappresentare superfici di qualsiasi forma, sia quelle canoniche della geometria classica, sia le cosiddette free form¹.

1° Tentativo

Il primo software utilizzato per ottenere le superfici delle volte da unire al modello costruito con Rhinoceros, è stato Rapidform XOR, un programma di Reverse Engineering che offre una serie di automatismi per gestire l’attività di allineamento delle nuvole di punti e creazione di mesh.

In Cyclone è stata esportata in formato .pts la porzione della nuvola di punti mappata utile alla generazione della volta ed è stata importata in Rapidform decimandola di 1/9 per alleggerire la points cloud altrimenti ingestibile a causa della pesantezza del dato. Successivamente è stata sottoposta ad operazioni di pulizitura ed eliminazione del rumore e ad una semplificazione per ridurre i punti ridondanti.

¹ Mario Docci, *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell’architettura della città*, Gangemi Editore, Roma, 2004

Costruzione delle Volte

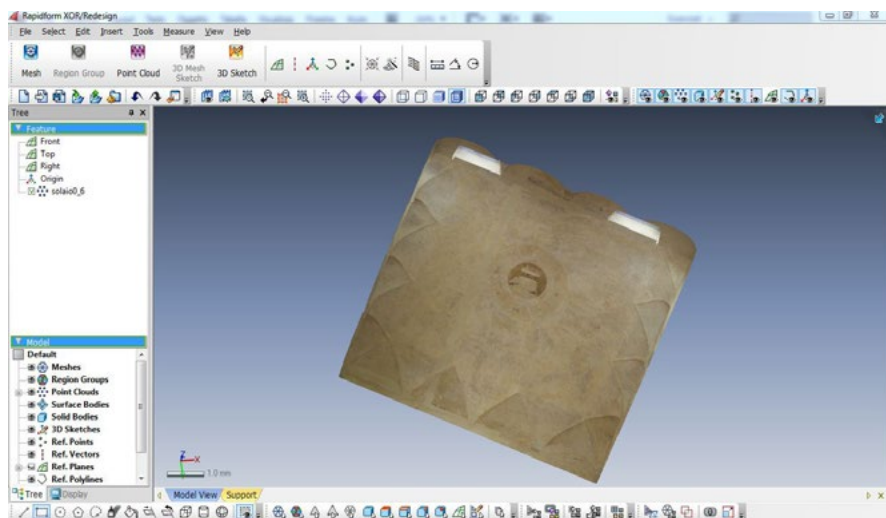


Fig. 91 | Volta della Sala del Porcospino importata in Rapidform XOR decimata di 1/9.

Dopo la decimazione la volta conta più di 6 milioni di punti.



La fase di triangolazione è il cuore di ogni programma di ricostruzione tridimensionale. A partire dai dati di input vengono generati vertici, spigoli, e facce (rappresentanti la superficie analizzata) che si incontrano negli spigoli condivisi. Dalla nuvola di punti è stata in tal modo generata la mesh e su essa sono state poi eseguite svariate operazioni semi-automatiche per ottimizzare il risultato: individuazione e risoluzione di eventuali difetti, smooth della superficie, edit di bordi e facce ove necessario e riempimento dei buchi (in modo manuale o automatico) che inevitabilmente si creano operando con superfici complesse come le volte del palazzo. Questi fori sono principalmente zone rimaste in ombra durante il rilievo e vengono riempiti da una nuova porzione della mesh che si adatta al contorno circostante.

Fig. 92 | Mesh della volta della Sala del Porcospino prima e dopo le operazioni di ottimizzazione.

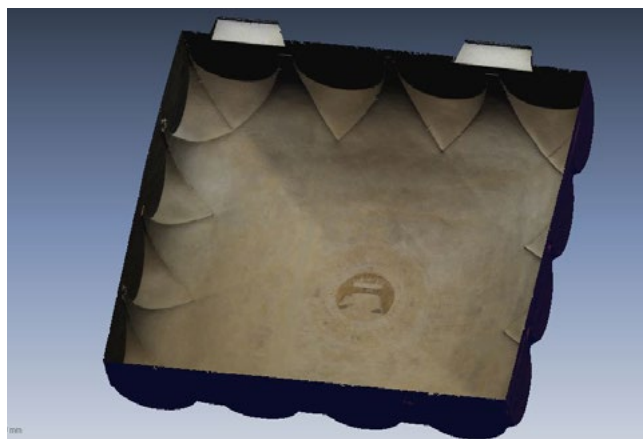
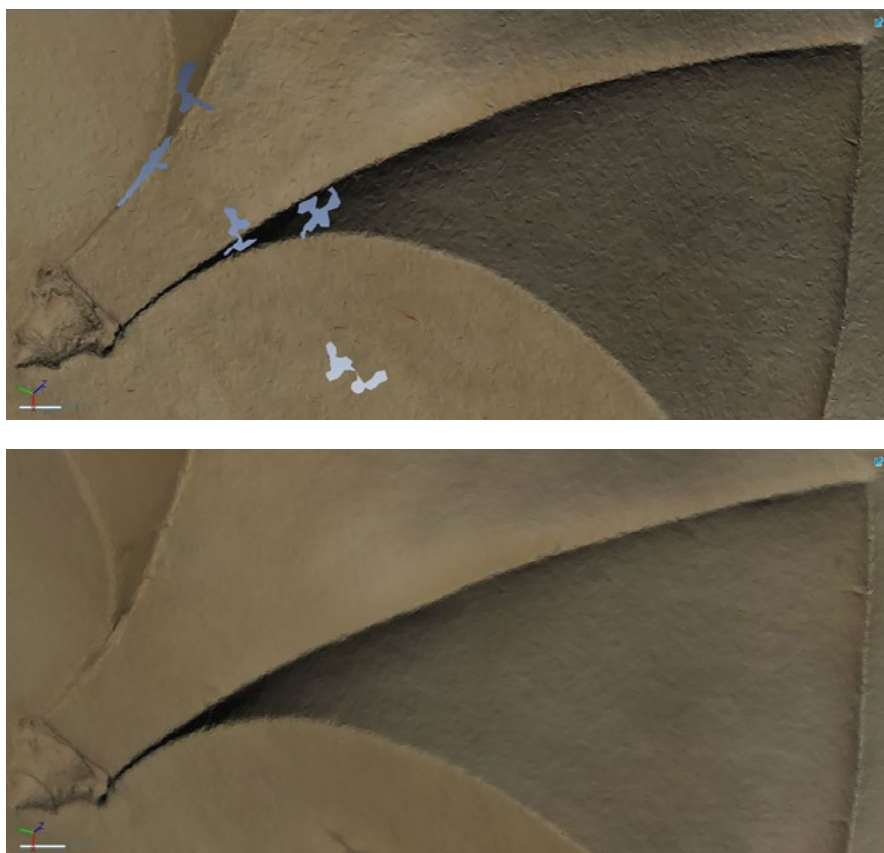
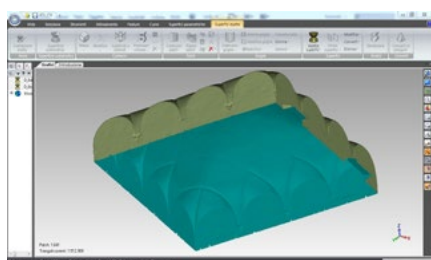


Figura 93 | Dettaglio mesh dell'unghia della volta della Sala del Porcospino prima e dopo le operazioni di ottimizzazione.



Sulla mesh corretta ed ottimizzata si è effettuata una decimazione del 50% riducendo il numero delle poly-faces sulla base della curvatura in quanto il programma non riusciva a gestire agevolmente mesh così dense. Si è esportata dunque la mesh così ottenuta in formato .ply per generare la superficie tramite il software Geomagic Studio 12. In questo programma, laddove necessario, sono state eseguite una seconda volta le operazioni di riparazione, levigatura e riempimento dei fori e subito dopo si è originata la superficie.

Fig. 94 | Superficie della volta della Sala del Porcospino generata con il software Geomagic Studio 12.



Importando la superficie in Rhinoceros 4.0 essa risulta molto degradata evidenziando una considerevole perdita di definizione, precisione e accuratezza del dato oltre alla difficoltà di gestione a causa della onerosità dello stesso.

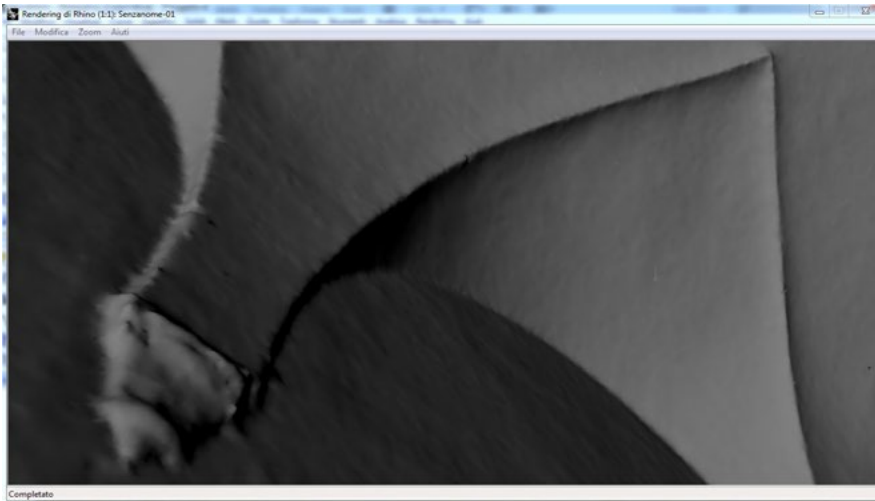


Fig. 95 | Superficie della volta della Sala del Porcospino importata nel software Rhino 4, superficie degradata.

2° tentativo

Il secondo tentativo per costruire la superficie corretta della volta si basa sull'estrazione di curve dalla superficie precedentemente ottenuta tramite il software Geomagic Studio 12. Una serie di sezioni orizzontali a distanza ravvicinata, 5 cm, estratte tramite piani di taglio sono state esportate in estensione .obj come base per eseguire il Loft in Rhino: la superficie generata produce degli errori negli angoli, non seguendo linearmente le sezioni.

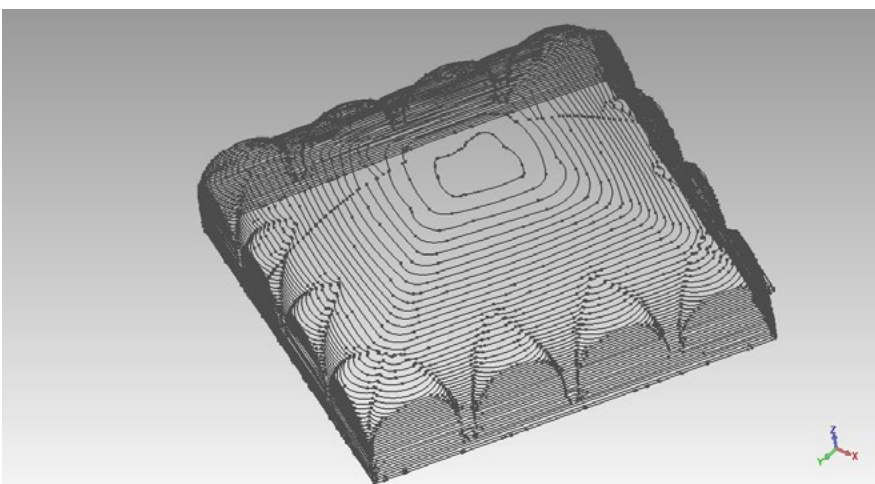


Fig. 96 | Sezioni orizzontali della volta della Sala del Porcospino estratte dalla superficie della volta tramite il software Geomagic Studio 12.

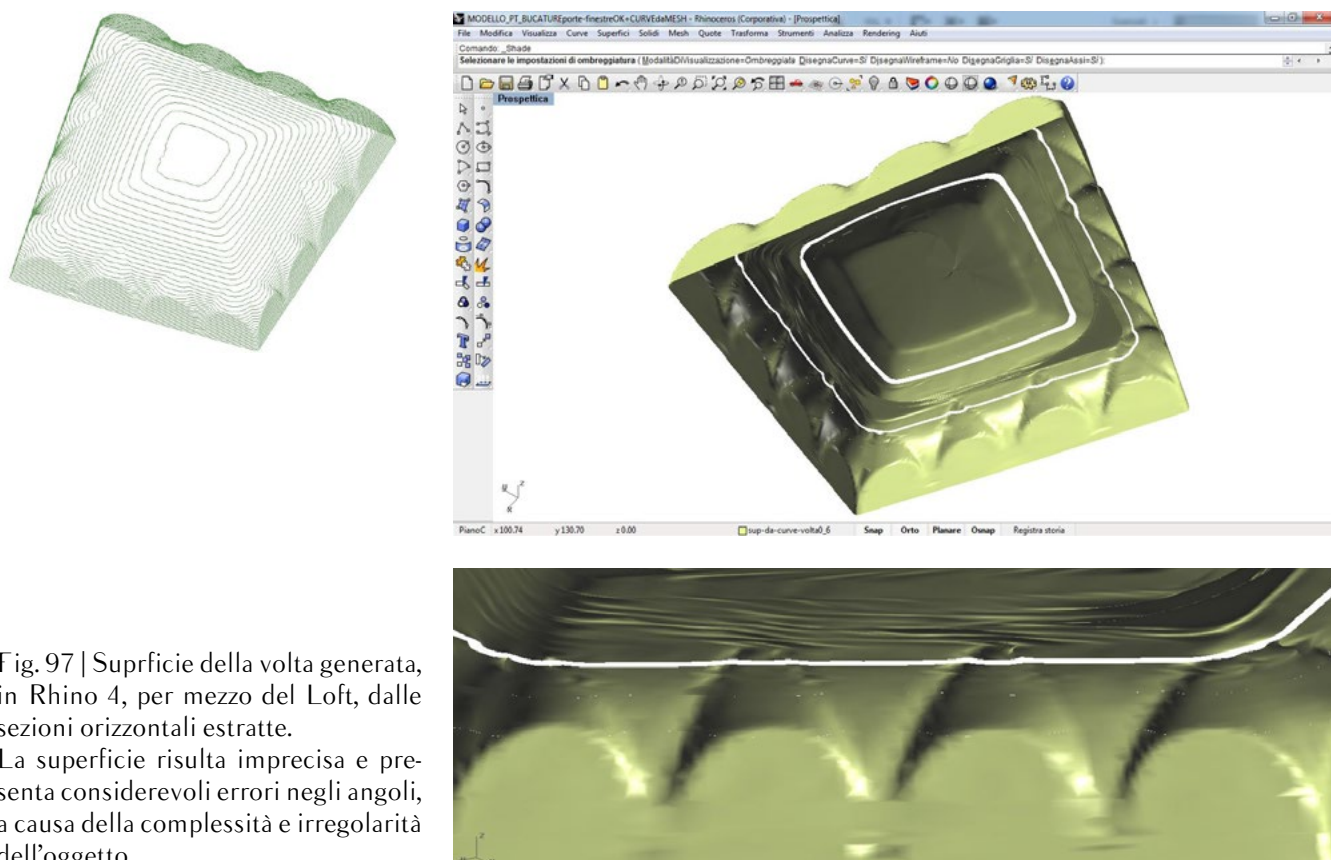


Fig. 97 | Superficie della volta generata, in Rhino 4, per mezzo del Loft, dalle sezioni orizzontali estratte. La superficie risulta imprecisa e presenta considerevoli errori negli angoli, a causa della complessità e irregolarità dell'oggetto.

3° tentativo

Lo sforzo successivo per la modellazione della volta ha visto la costruzione della superficie dalla mesh direttamente in Rhino 4.0 tramite il comando "MeshANurbs". Ma i problemi sono stati molteplici: in primo luogo nella trasformazione vi è un numero limite di poligoni pari a 20000 (tremendamente pochi rispetto a quanti ne conta la mesh ottenuta in Geomegic Studio 12 e che ne determina la buona qualità), in secondo luogo le mesh complesse generano superfici NURBS che usano un'elevata quantità di memoria rallentando qualsiasi operazione o talvolta bloccando completamente il pc, in terzo luogo questo comando converte ogni faccia poligonale in una superficie NURBS ma non è stato ideato per convertire interi modelli mesh in modelli NURBS e, di fatto, non esiste un modo semplice per farlo.

Ad ogni modo, l'iter seguito ha visto una prima opera di semplificazione estrema della mesh della volta sulla base della curvatura: rada al centro e densa nei cambi di direzione, ovvero negli spigoli delle unghie e delle lunette.

Il risultato è di bassa qualità in quanto a causa dell'estrema semplificazione la superficie risulta sfaccettata e non uniforme a causa della riduzione dei triangoli della mesh. Rhino infatti è un software di modellazione potentissimo ma che non nasce per gestire mesh di tali dimensioni.

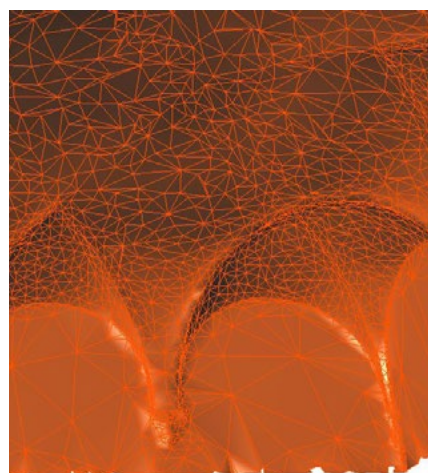
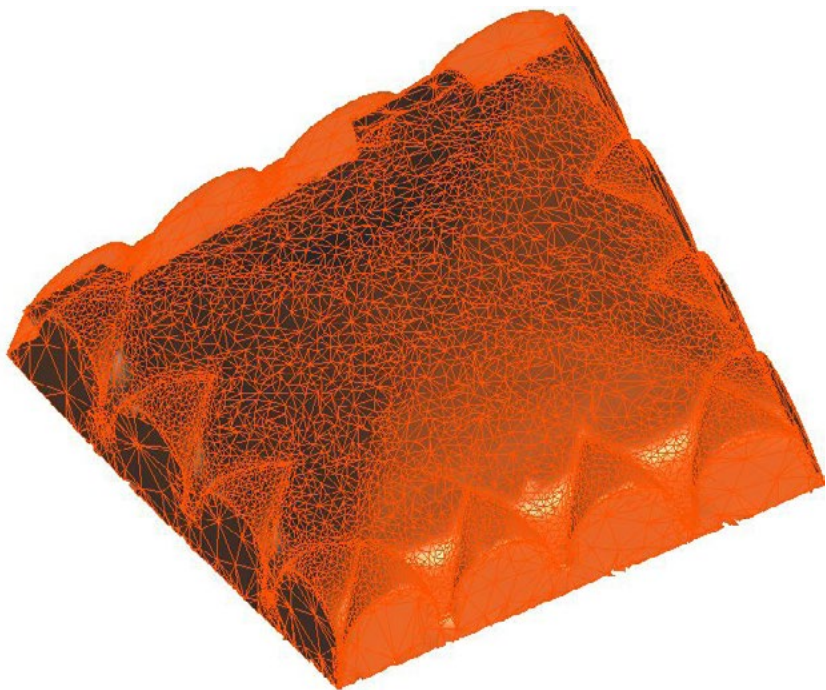


Fig. 98 | Mesh della volta della Sala del Porcospino semplificata sulla base della curvatura.

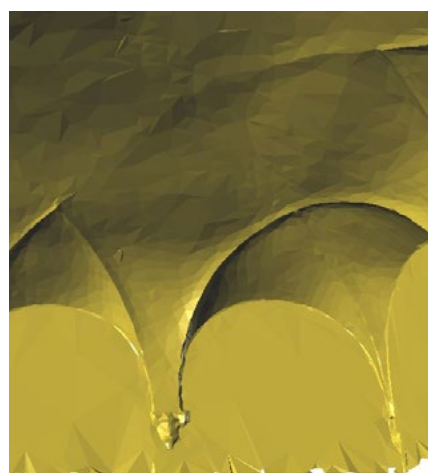
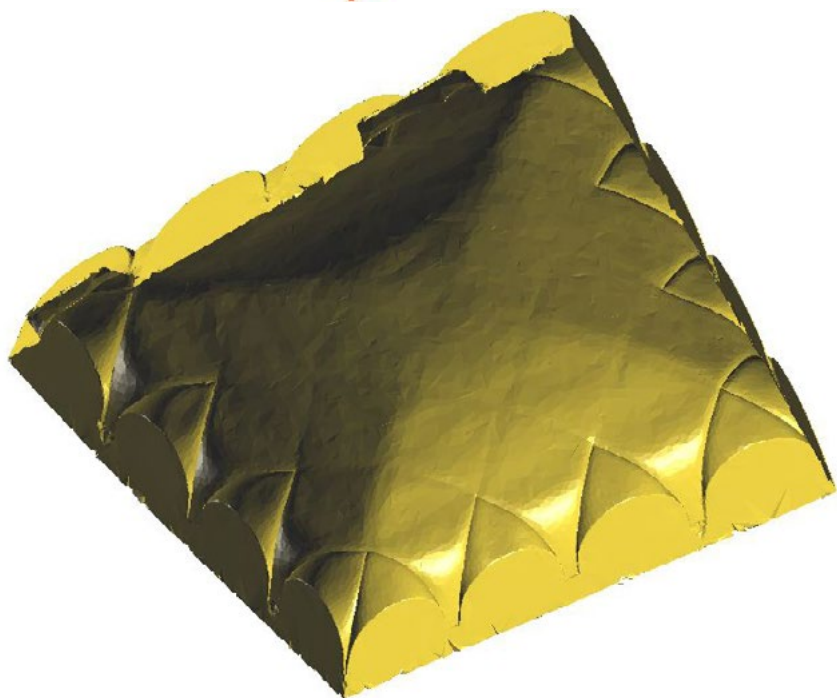


Fig. 99 | Superficie NURBS realizzata sulla base della mesh della volta con il software Rhino 4.

4° TENTATIVO: TECNICA UTILIZZATA

Queste sperimentazioni sulle volte, che non hanno dato i risultati sperati, erano state testate con l'idea di velocizzare la loro modellazione ma così non è stato in quanto che gli esiti finali non sono stati soddisfacenti.

Dunque si è giunti alla conclusione di modellare le volte tramite l'estrazione di primitive geometriche da ambiente CAD, come era stato fatto da principio per le superfici più semplici del Palazzo.

A differenza delle precedenti modellazioni per freeform, la modellazione geometrica opera una semplificazione obbligata dovuta al diverso principio di costruzione della superficie.

Per la modellazione delle volte è stato utilizzato il comando Rete di curve. Importate le sezioni trasversali e longitudinali della volta, si sono selezionate tutte le curve che rappresentano la rete ed è stata generata la superficie.

Stesso procedimento per la realizzazione delle unghie le quali sono state sottratte alla superficie della volta.

Il comando Tronca ha consentito di tagliare le polisuperficie delle unghie intersecate con la volta.

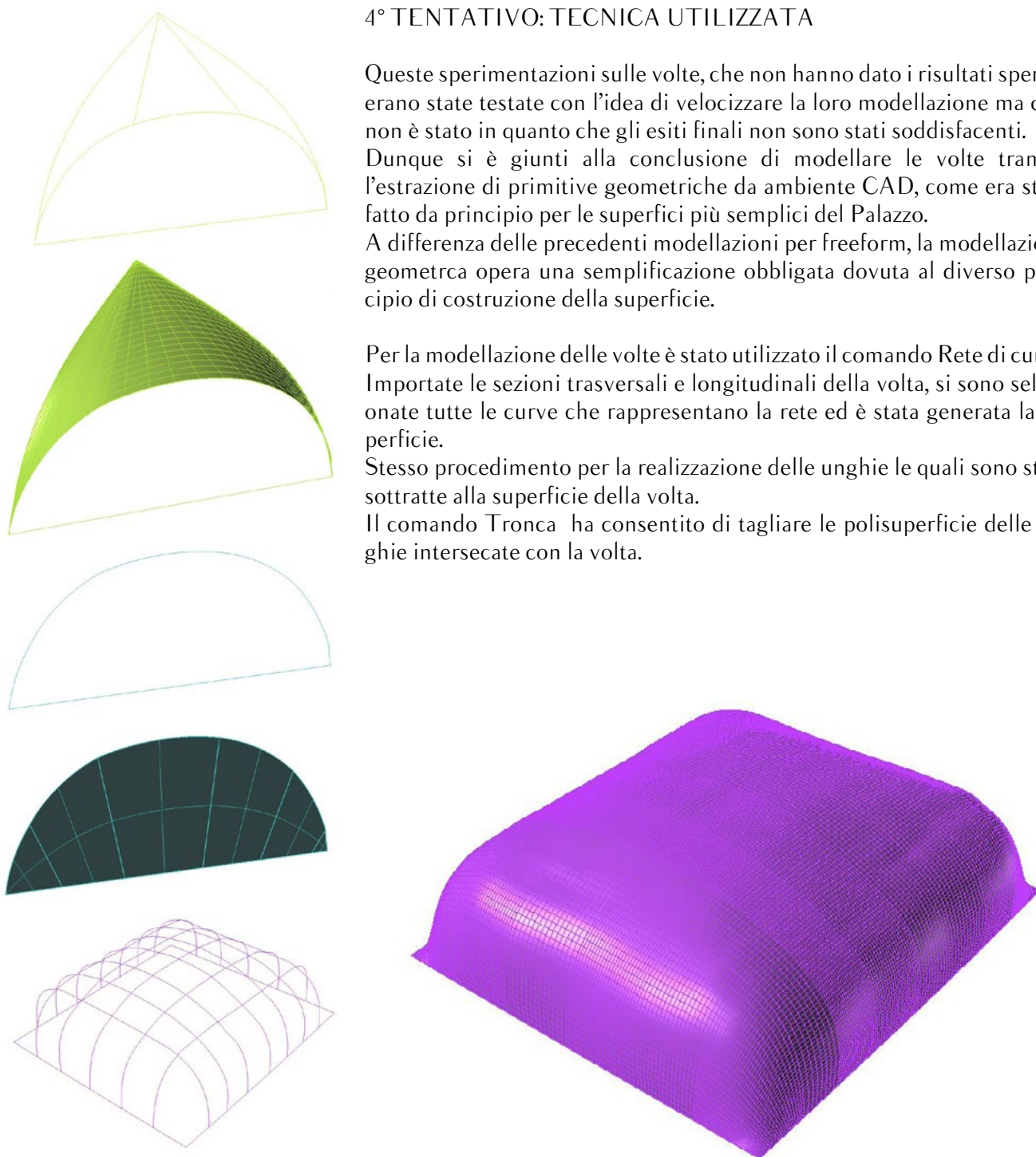


Fig. 100 | Sezioni delle lunette, delle unghie e della volta della Sala delle Brevi per la generazione delle superfici.

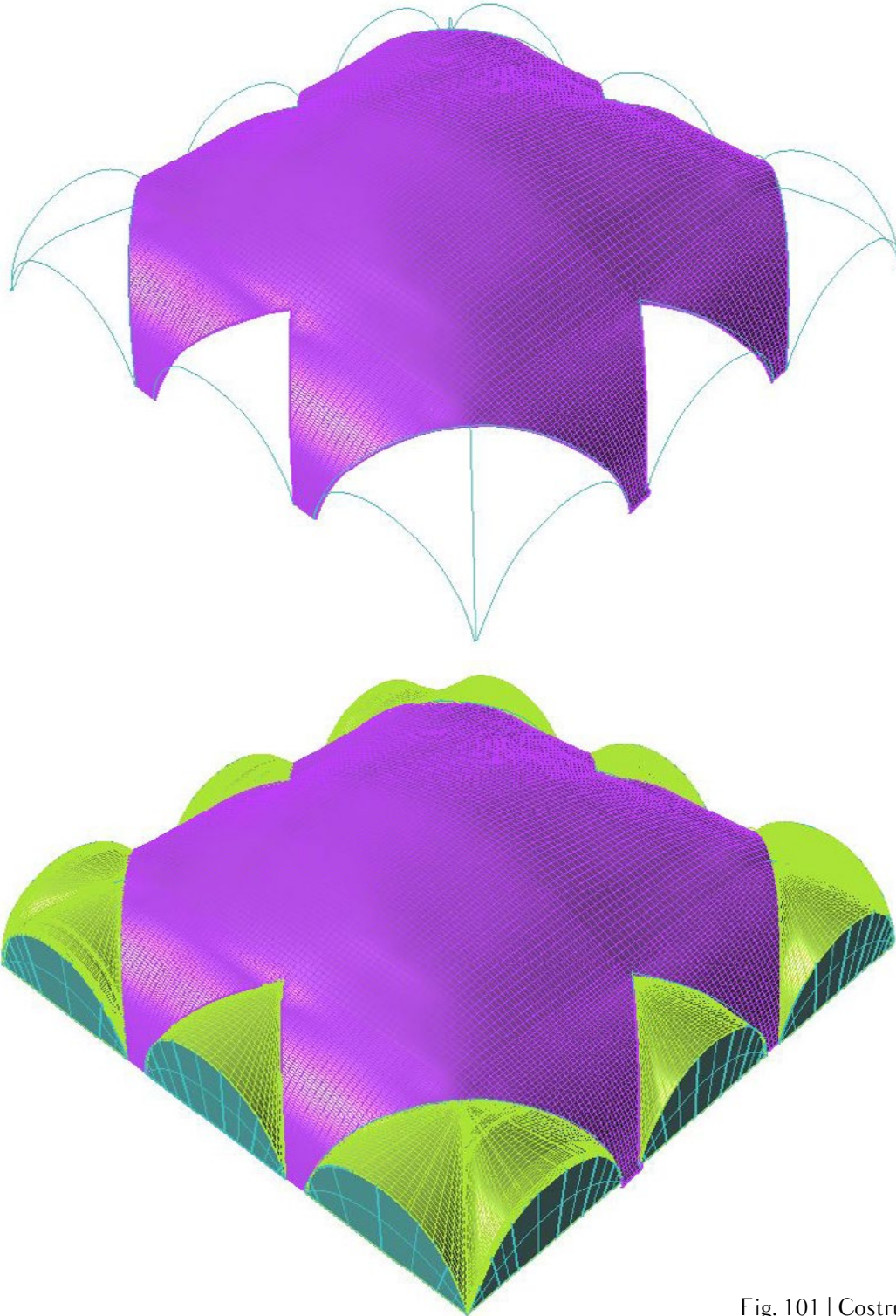


Fig. 101 | Costruzione della superficie della volta, delle lunette e delle unghie.

3.5 Applicazione della Texture

Terminata la creazione del modello tridimensionale il passo successivo ha previsto la fase di texturing, ovvero immagini raster a colori sono state mappate sopra la superficie geometrica 3D.

Si è ritenuto opportuno utilizzare il software Pointools View 1.8 Pro, un programma di visualizzazione e gestione dei dati rilevati, per la creazione di ortofoto-laser, ossia elaborati dove l'informazione fotografica viene associata direttamente ai punti della nuvola laser senza passare per la realizzazione di un modello della superficie (DSM) e senza interpolazioni del dato RGB originale.

Si tratta di una ortofoto del tutto simile a quella fotografica metrica, posizionando il punto di vista del modello ortogonalmente alla superficie in studio.

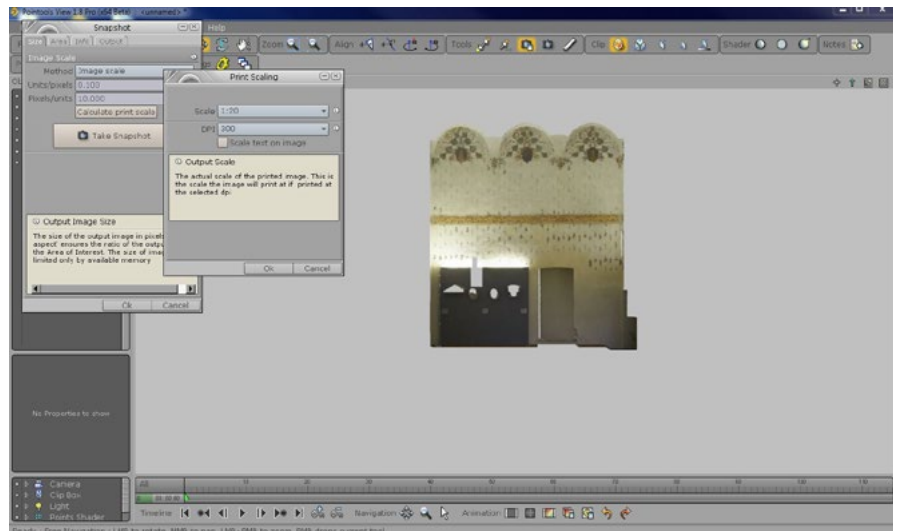


Fig. 102 | Individuazione sul dato laser della ortofoto-laser da utilizzare come texture per la mappatura del modello tridimensionale geometrico, grazie al software Pointools View 1.8 Pro.

In questo modo è stato possibile estrarre ortofoto-laser salvata in formato .jpeg in corrispondenza di ogni parete delle sale e delle volte affrescate, applicabili al modello geometrico realizzato in Rhinoceros tramite l'utilizzo del software 3DStudio Max di Autodesk.

Prima di procedere con il rivestimento del modello, le ortofoto-laser sono state elaborate con il software Adobe Photoshop CS6 ritagliando in corrispondenza delle lunette le pareti di ogni singola sala in modo che l'immagine della texture coincidesse esattamente con la superficie geometrica.



Fig. 103 | Ortofoto-laser prima e dopo l'elaborazione in Adobe Photoshop.

Per assegnare al modello tridimensionale la texture 2D, è stato necessario specificare un insieme di coordinate di mappatura.

Le coordinate di mappatura (dette anche coordinate UV), sono così chiamate poiché formano un particolare sistema di coordinate.

Variando questo sistema si può variare la posizione di una texture su di un oggetto.

In assenza di coordinate di mappatura, 3DStudio Max non è in grado di applicare una texture al modello.

Gli oggetti di base (sfere, parallelepipedi, cilindri, etc...) sono già dotati di un loro sistema di coordinate UV. Per gli altri tipi di oggetto, come

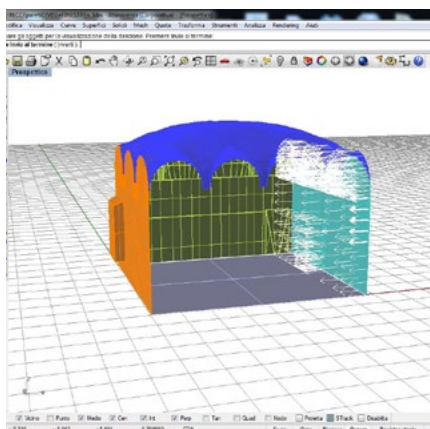


Fig. 104 | Direzioni delle normali rivolte verso l'interno per la mappatura delle texture UV.

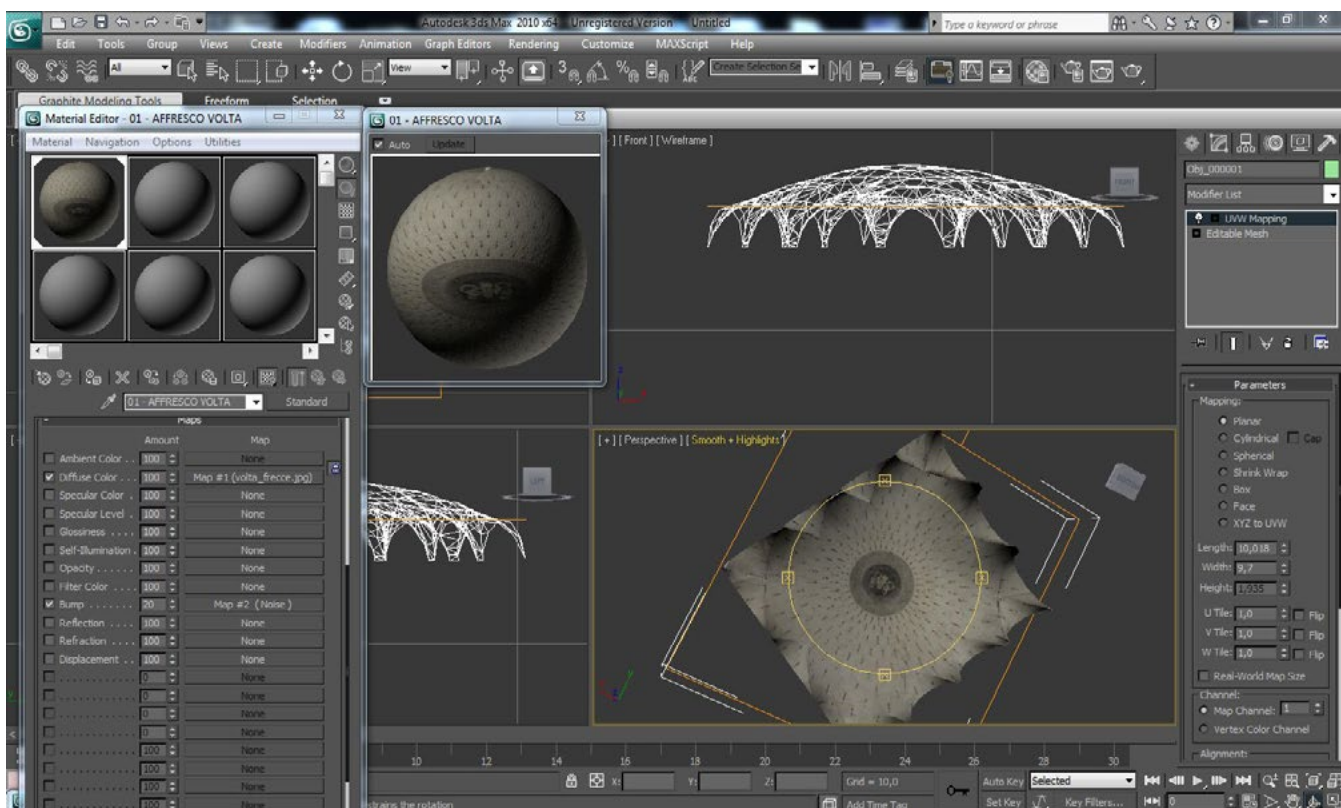
Fig. 105 | Assegnazione della texture alla superficie in ambiente 3DStudio Max.

per le superfici delle sale (mesh modificabili, etc..), bisogna assegnarle manualmente.

Prima di procedere con l'assegnazione della mappatura UV è stato necessario dover cambiare le direzioni delle normali in ambiente Rhinoceros affinché le facce mappate risultassero all'interno della sala.

Il modo più semplice con cui assegnare le coordinate UV è attraverso operazioni di proiezione, nel nostro caso Planare.

Con la proiezione planare, la texture viene immaginata disposta su di un piano e proiettata linearmente nello spazio. È possibile posizionare, ingrandire o ruotare la proiezione, attraverso l'apposito Gizmo ed i normali comandi di traslazione, rotazione e variazione di scala. In questo modo è stato possibile cambiare l'orientamento del piano per angolare la texture.



Applicazione della Texture

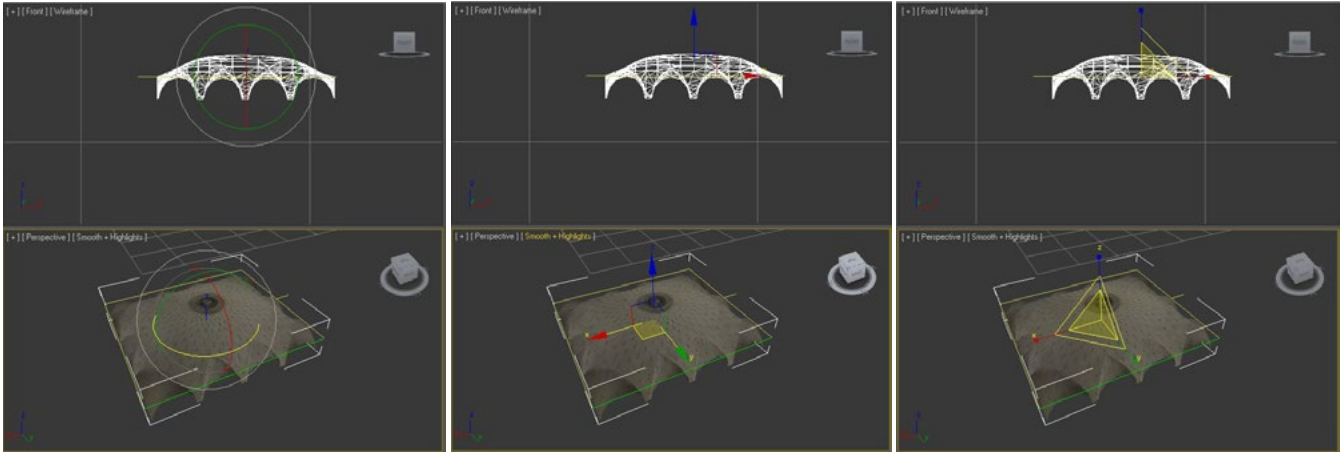


Fig. 106 | Mappatura dell'ortofoto-laser della volta già modificata in Adobe Photoshop e adattata alla superficie del modello 3D. Grazie alla funzione Gizmo la possibilità di ruotare, spostare e scalare l'immagine per ottenere una buona concidenza con la superficie.

Conclusa la fase di mappatura il file è stato esportato in formato .wrl e visualizzato in Cortona 3D Viewer.

Il risultato ottenuto non ha prodotto un elaborato qualitativamente valido e di facile gestione.

La navigazione all'interno della sala è lenta, l'esportazione del file ha danneggiato la qualità del modello ed ha causato la perdita di riferimento di alcune texture, una parete, l'immagine della volta ed il pavimento.

Questo ha portato a seguire una strada alternativa per la successiva fase di navigazione del dato.

La decisione è stata quella di realizzare un'animazione in ambiente 3D Studio Max dove il modello rimane intatto e tutte le texture sono presenti.

E' stata creata una linea, con attivate funzioni di smoothing e bezier per ottenere un andamento fluido, che rappresenta il percorso del filmato.

Al percorso sono state collegate le telecamere che conferiscono all'utente la sensazione di visitare in prima persona la sala, il tutto per una durata di circa 10 secondi.



Fig. 107 | Sala delle Frece visualizzata in Cortona 3D Viewer. La navigazione risulta lenta e di non agevole gestione e l'ambientazione appare buia nonostante siano state impostate delle luci in ambiente 3DStudio Max. Una parete, il pavimento e tutta la superficie della volta mancano di texture.

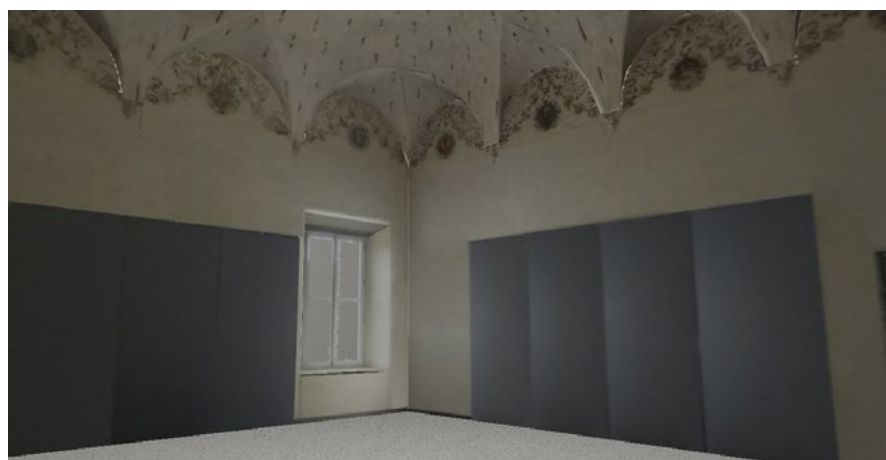
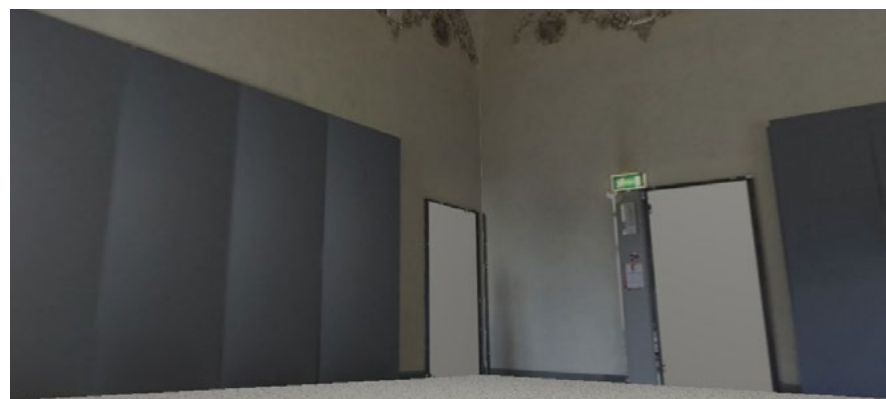


Fig. 108 | Estratti di viste dal filmato della Sala delle Frece realizzato in 3DStudio Max.



4 Realtà Virtuale

Appare decisivo, in un contesto sociale nazionale e internazionale in cui con sempre maggior rapidità cambiano le dinamiche e le tecniche della diffusione dell'informazione, studiare nuove strategie di promozione e comunicazione del patrimonio, per far sì che, la sua frequentazione diventi un'abitudine consolidata di molti.

Oggi, più che nel passato, si avverte la necessità di un confronto con le molteplici forme di comunicazione presenti nella società contemporanea che, negli ultimi anni, di pari passo con l'innovazione tecnologica, stanno rivelando nuove e stimolanti potenzialità e campi di applicazione sempre più diversificati. Per questo, oltre alla comunicazione tradizionale, che di prassi le Amministrazioni Pubbliche adottano, è opportuno e utile guardare ai cosiddetti nuovi media, capaci di raggiungere ampie fasce di pubblico senza limiti spazio-temporali. Molti sono ancora gli interrogativi sull'efficacia delle moderne forme di comunicazione, ma un fatto è certo: un'Amministrazione Pubblica deve accettare il confronto con queste nuove dinamiche, poiché sono il sensore di una diversa domanda di informazione, più evoluta e consapevole.

L'applicazione della multimedialità anche al settore dei Beni Culturali tuttavia non va interpretata come un'alterazione o uno snaturamento ma come un'opportunità di estendere la fruibilità superando i confini geografici per arrivare alle ricchezze dell'arte laddove non si potrebbe arrivare con i canali tradizionali.

Alla sempre crescente e qualificata domanda di informazione culturale corrisponde un'eguale crescita e maturazione del destinatario che diventa così sempre più esperto di 'linguaggi' altri e sempre più in grado di valutare la qualità e la quantità delle informazioni che gli vengono proposte. La diversificazione dei canali mediatici serve dunque per dare la massima diffusione, al pubblico italiano e straniero, della conoscenza e della promozione dei luoghi della cultura.

Il linguaggio scelto per informare deve essere coinvolgente ed inclusivo in modo da rendere la comunicazione vicina e partecipata; un tono semplice, diretto e chiaro, che possa veicolare i benefici emotivi e i valori che questa Amministrazione si propone di trasmettere attraverso ciascun evento promosso.

La comunicazione, pur non essendo il rimedio per sciogliere tutte le criticità, ha un ruolo importantissimo nella promozione del nostro patrimonio artistico e culturale; è uno strumento imprescindibile per consentire ai cittadini di riappropriarsene e determina il modo in cui il patrimonio stesso viene percepito e reso pienamente fruibile.

4.1 Il Museo Virtuale

Negli ultimi anni pure i musei hanno cominciato a confrontarsi sempre di più con le ICT (Information and Communication Technology) ma questo confronto, per essere fruttuoso, deve tuttavia essere pianificato alla luce di scelte strategiche lungimiranti. I musei possono sfruttare queste tecnologie per “liberarsi” e migliorare l’accessibilità, la comunicazione e la comprensione delle collezioni ed esposizioni, instaurando un fitto dialogo tra la struttura museale e l’oggetto esposto da un lato ed il visitatore dall’altro. A questo scopo si rivelano utilissime le più disparate soluzioni tecnologiche: dalle audio guide agli schermi touch screen, dai percorsi interattivi a dispositivi portatili come i palmari, da Internet alle visite virtuali, fino alle sperimentazioni dirette e alle installazioni interattive, come accade in numerosi musei artistici e scientifici. La stessa accessibilità ad Internet e la sua importanza nel processo di rinnovamento e di divulgazione culturale hanno favorito lo svilupparsi di una networked society, una utenza ormai decisamente “planetaria”.

I musei, per stare al passo con i tempi, hanno iniziato a dotarsi di un proprio sito Web, attraverso cui fornire tutte le informazioni utili ad una comunicazione facilitata fra l’istituzione museale e l’utente remoto (il Web visitor anche visitatore diffuso), accompagnandolo in una visita virtuale del museo reale.

L’ICT caratterizza il museo non più come un luogo fisico ma come una rete di servizi, che iniziano ben prima della vera e propria visita e terminano molto dopo. La visita stessa è completamente reinventata e modellata attraverso modalità di fruizione moderne, dinamiche e molto coinvolgenti, come i sistemi di virtual reality o di navigazione virtuale.

Basti pensare ai Musei Vaticani di Roma che offrono la possibilità di Tour Virtuali online in tempo reale delle sale e delle opere rimandando ad una nuova pagina che presenta una planimetria 2D con la possibilità di selezionare le sale desiderate e la visita virtuale tramite filanti navigabili a 360°.

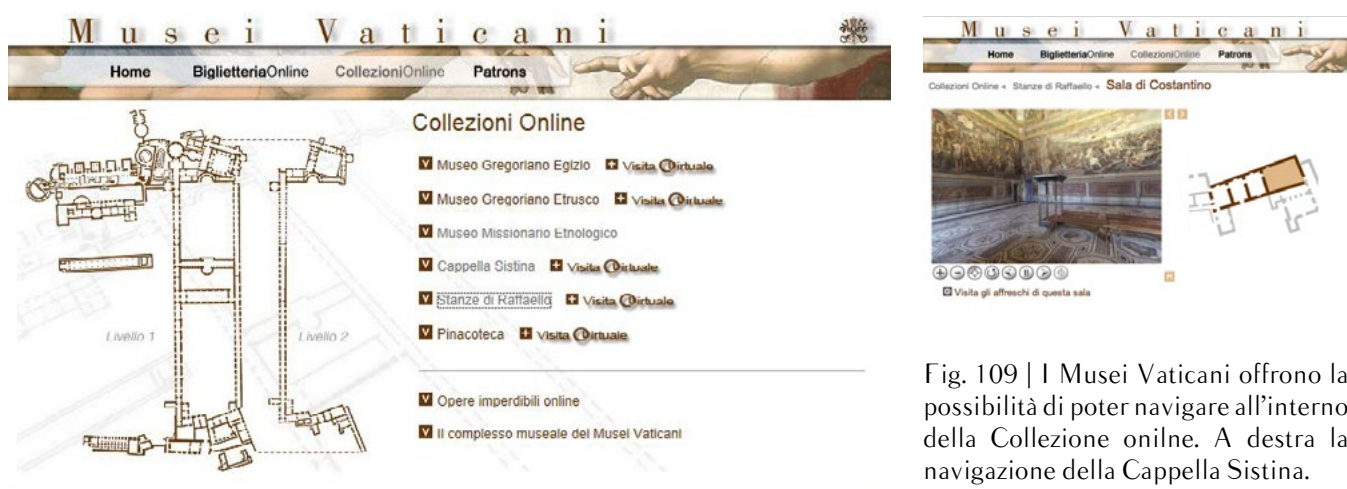


Fig. 109 | I Musei Vaticani offrono la possibilità di poter navigare all’interno della Collezione online. A destra la navigazione della Cappella Sistina.



Le tecnologie digitali, multimediali ed Internet hanno permesso ai musei di approcciarsi al grande pubblico in modo nuovo: un decisivo salto di qualità nella comunicazione e nelle modalità di visita, rispetto ai tradizionali strumenti tuttora in uso quali didascalie, pannelli esplicativi, guide di gruppo, che hanno contribuito alla trasformazione del museo in un soggetto sempre più attivo nella creazione, comunicazione e diffusione della cultura. Divenuto promotore diretto di cultura, il museo ha consentito che l'aspetto della funzione comunicativa e trasmissiva acquistasse la stessa rilevanza o, in alcuni casi, superasse quella della funzione puramente conservativa.

E' il caso del Virtual Museum of Iraq realizzato dal CNR e patrocinato dal Ministero degli Affari Esteri raccoglie filmati, schede, testi, mappe e ricostruzioni virtuali.

La visita, porta nelle varie sale che compongono il museo. In ogni sala è possibile visionare, con l'ausilio di filmati o schede informative oggetti facenti riferimento alla civiltà che si va a conoscere in un viaggio estremamente appassionante ed esauriente.

Per ogni reperto che si va a conoscere durante la navigazione, sono disponibili una ricca scheda informativa e didattica, l'esplorazione tridimensionale e un filmato che riporta alla luce il contesto in cui quel reperto è nato e va inquadrato.

La straordinarietà del tutto, sta nel fatto che, a differenza con quanto accade in operazioni simili, ad esempio quelle riguardanti il Metropolitan,

il British Museum e il Louvre, in questo caso il visitatore interagisce con il reperto, non si limita a guardarne una immagine statica, ma può girare intorno all'opera e, volendo, entrarci addirittura dentro. Un progetto straordinario, che sicuramente apre la strada ad altre operazioni di questo tipo e che potrebbe consentire a strutture di questo genere di fare nuovi proseliti, sfruttando la potenza di Internet.

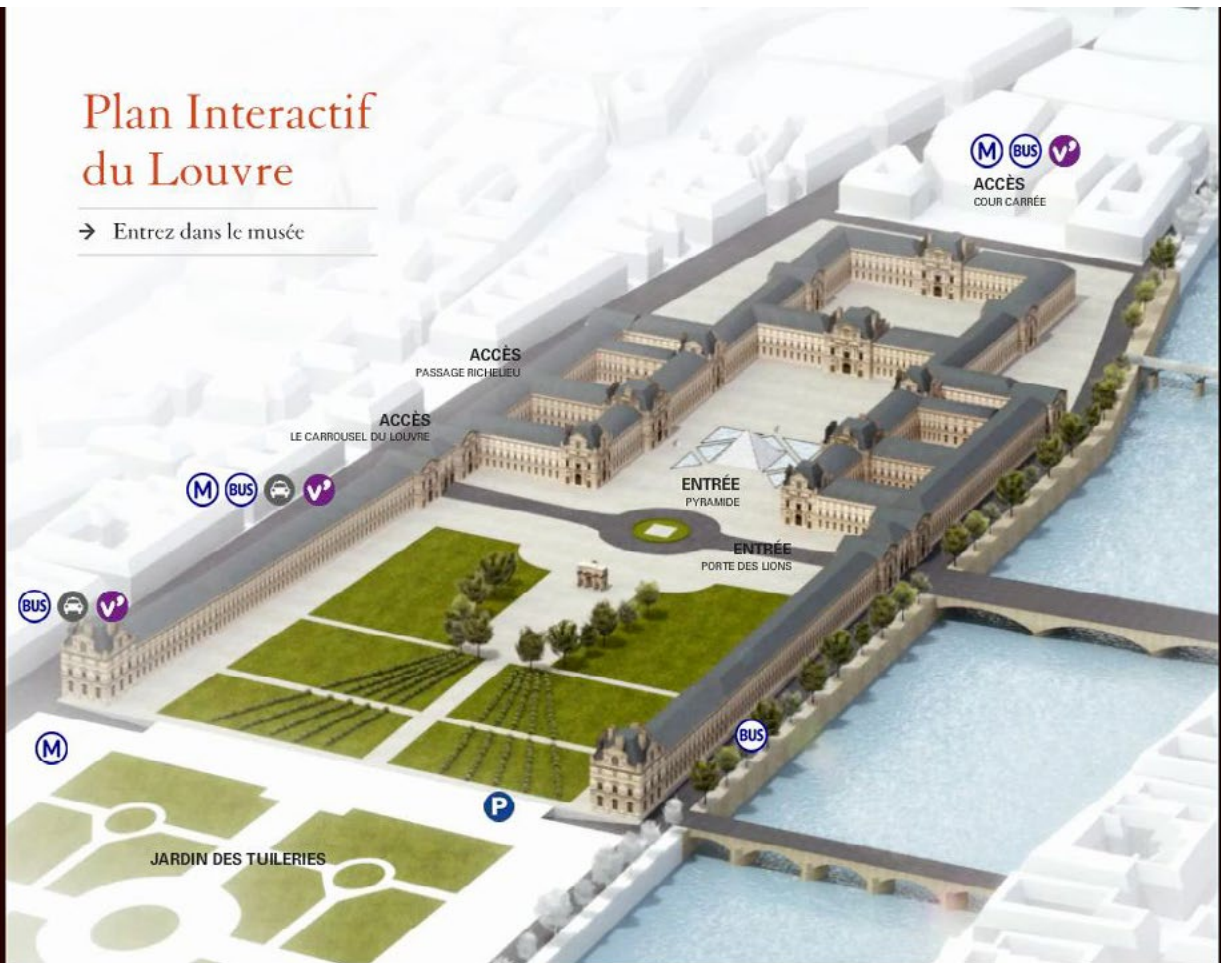
La tecnologia virtuale non può e non vuole certamente sostituirsi all'esperienza "dal vivo", né ammirare un'opera d'arte nelle sale del museo potrà mai equivalere a visualizzarne una sua seppur perfetta e dettagliata riproduzione. Queste tecnologie mirano piuttosto ad allargare il bacino di possibili consumatori, affiancandosi all'istituzione museale tradizionale nelle svolgimento dei suoi compiti educativi e didattici, attraverso una nuova forma di apprendimento attivo e partecipato da parte di comunità remote di utenza. Musei ed allestimenti museali, anche in quest'era digitale, continuano a costituire un aspetto tangibile della storicità e della memoria umana e a collaborare alla loro costruzione e ri-costruzione culturale.

Fig. 110 | Schede interattive del Virtual Museum of Iraq e nella pagina accanto la pianta interattiva del Louvre di Parigi.



Plan Interactif du Louvre

→ Entrez dans le musée



2^E ÉTAGE

1^{ER} ÉTAGE

RDC

ENTRESOL

HALL NAPOLEON

36 ŒUVRES DE RÉFÉRENCE

- VICTOIRE DE SAMOTHRACE**
1^{ER} ÉTAGE
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES
- APHRODITE, DITE "VENUS DE MILD"**
RDC
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES
- SARCOPHAGE DES ÉPOUX DE CERVETI**
RDC
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES
- FIRSE DES AUCHERS**
RDC
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES
- TAURÉAU ANDROCEPHALE**
RDC
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES
- CODE DE HAMMURABI, ROI DE BABYLONE**
RDC
■ ANTIQUITÉS GRECQUES, ÉTRUSQUES ET ROMAINES

LES COLLECTIONS

■ Antiquités orientales	■ Sculptures	■ Salles d'exposition temporaire
■ Arts de l'islam	■ Arts graphiques	■ Salles fermées
■ Antiquités égyptiennes	■ Peintures	
■ Antiquités grecques, étrusques et romaines	■ Louvre médiéval	
■ Objets d'art	■ Arts d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et des Amériques	

2^E ÉTAGE

1^{ER} ÉTAGE

RDC

ENTRESOL

HALL NAPOLEON

← REVENIR AUX ÉTAGES

1^{ER} ÉTAGE

LES COLLECTIONS

■ Antiquités orientales	■ Sculptures	■ Salles d'exposition temporaire
■ Arts de l'islam	■ Arts graphiques	■ Salles fermées
■ Antiquités égyptiennes	■ Peintures	
■ Antiquités grecques, étrusques et romaines	■ Louvre médiéval	
■ Objets d'art	■ Arts d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et des Amériques	

Visiting > Floor plans and galleries > Ground floor

Ground floor | Upper floor | Lower floor



- Back to Visiting
- Americas**
 - 26 North America
 - 27 Mexico
 - Ancient Egypt**
 - 4 Egyptian sculpture
 - Ancient Greece and Rome**
 - 11 Greece: Cycladic Islands
 - 12 Greece: Minoans and Mycenaeans
 - 13 Greece 1050-520 BC
 - 14 Greek vases
 - 15 Athens and Lycia
 - 16 Greece: Bassal Sculptures
 - 17 Nereid Monument
 - 18 Greece: Parthenon
 - 19 Greece: Athens
 - 20 Greeks and Lycians 400-325 BC
 - 21 Mausoleum of Halikarnassos
 - 22 The world of Alexander
 - 23 Greek and Roman sculpture
 - Asia**
 - 33 China, South Asia and Southeast Asia
 - 33b Chinese jade
 - 67 Korea
 - 95 Chinese Ceramics
 - Middle East**
 - 6 Assyrian sculpture & Balawat Gates
 - 7-8 Assyria: Nimrud
 - 9 Assyria: Nineveh
 - 10 Assyria: Lion hunts, Siege of Lachish and Khorsabad
 - 34 Islamic world
 - Themes**
 - 1 Enlightenment
 - 24 Living and Dying

Support the Museum
Donate online
Donations help support research, conservation, and curatorial projects
Make a donation today >

A HISTORY OF THE WORLD
IN 100 OBJECTS

- | | | |
|---|---------------------------------------|--|
| 2 Olduvai stone chopping tool | 32 Pillar of Ashoka | 50 Borobudur Buddha head |
| 3 Olduvai handaxe | 31 Rosetta Stone | 4 The David Vases |
| 4 Swimming reindeer | 24 Chinese Han lacquer cup | 65 Taino ritual seat |
| 5 Clovis spear point | 17 North American otter pipe | 68 Shiva and Parvati sculpture |
| 6 Bird-shaped pestle
<i>Not currently on display</i> | 28 Ceremonial ballgame belt | 69 Sculpture of a Huastec Goddess |
| 7 Ain Sakhr lovers figurine | 41 Seated Buddha from Gandhara | 70 Hoa Hakananai'a Easter Island statue |
| 9 Maya maize god statue | 12 Gold coin of Kumaragupta I | 71 Inca gold llama |
| 11 Indus seal | 44 Gold coin of Abd al-Malik | 74 Jade dragon cup |
| 16 Minoan Bull Leaper | 17 Sutton Hoo helmet | 76 Double-headed serpent |
| 20 Statue of Ramesses II | 46 Moche warrior pot | 81 Shi'a religious parade standard |
| 21 Lachish Reliefs | 40 Korean roof tile | 86 Akan drum
<i>Not currently on display</i> |
| 25 Chinese Zhou ritual bow | 51 Maya relief of royal blood-letting | 87 Hawaiian feather helmet
<i>No longer on display for conservation reasons</i> |
| 26 Paracas textile
<i>Not currently on display</i> | 27 Harem wall painting fragments | 88 North American buckskin map
<i>Not currently on display</i> |
| 28 Gold coin of Croesus | 35 Lothair Crystal | 89 Australian bark shield |
| 29 Parthenon sculpture: Centaur and Lapith | 34 Statue of Tara | |
| 29 Olmec stone mask | 35 Chinese Tang tomb figures | |
| 30 Chinese bronze bell | | |



Explore / Online Tours



The myth of the Trojan war

The myth of the Trojan War was a great and continuing inspiration to Greek artists and poets. The main lines of the story were sketched out by early epic poets such as Homer (eighth century BC), but the tradition was never firmly fixed. Later poets treated the myth freely, small incidents were enlarged, new episodes were introduced, local variants incorporated and different (even contradictory) interpretations offered.

This rich tradition was also explored by visual artists, who felt equally free to formulate their own visions and interpretations of the myths.

The tour which follows presents a series of key scenes from the myths relating to the Trojan War, as depicted on Greek vases now in the collections of the British Museum. The paintings illustrate the variety of ways in which ancient Greek artists chose to visualize the myth's significant moments.

Explore > Themes Highlights Cultures Online tours Galleries Young explorers

Home > Explore > Highlights > Highlight image

Back Use digital image Print record



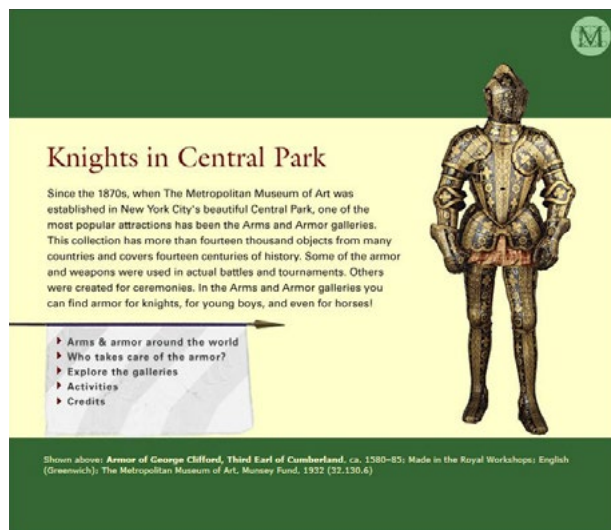
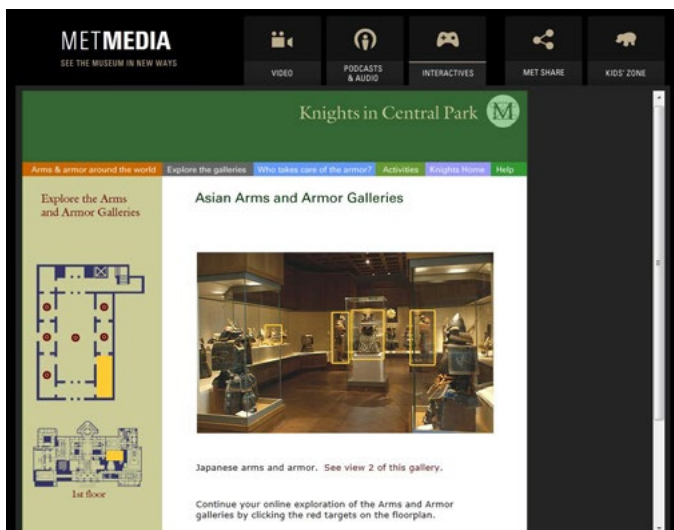


Fig. 111 | Nella pagina accanto il sito del British Museum propone Tour di navigazione all'interno delle Collezioni individuabili nella pianta selezionabile bidimensionale. L'esplorazione è costituita da descrizioni e immagini ingrandibili.

Fig. 112 | Il Metropolitan Museum presenta una sezione dedicata chiamata MetMedia.

La voce Interactives propone diverse schede di consultazione diverse a seconda del tema munite di schemi interattivi, avatar, audio guide, filmati e descrizioni.

4.2 Il Museo della Città in Rete

Le modalità di rappresentazione, documentazione e comunicazione del Museo della Città - Palazzo San Sebastiano attuali risultano essere all'avanguardia con le modalità precedentemente descritte.

Riguardo alla visita in loco le opere sono consultabili sia tramite schede cartacee che informatizzate e la relativa documentazione fotografica, presso il Centro Studi e Documentazione sulle Collezioni Civiche attivo presso la sede del Museo della Città. Per la schedatura del materiale il Museo ha utilizzato tracciati informatici OA e S-MI del tracciato SIR-BEC (Sistema Informativo Regionale dei Beni Culturali), corredati da immagini digitali, per tutte le opere (Dipinti, Stampe e Disegni) di carattere artistico.

In ogni piano è presente un terminale multimediale touch-screen che permette all'utente di ricavare informazioni circa la posizione in cui si trova per mezzo di una planimetria bidimensionale dell'edificio e la possibilità di consultare schede descrittive e osservare le photogallery delle opere esposte.

Per quanto riguarda la sua natura in rete, il Museo dispone di un sito Web semplice e intuitivo.

La Home Page, la pagina principale, presenta una struttura gerarchica, in cui tutte le voci di una tematica sono raccolte in una categoria o sottocategoria dedicata.

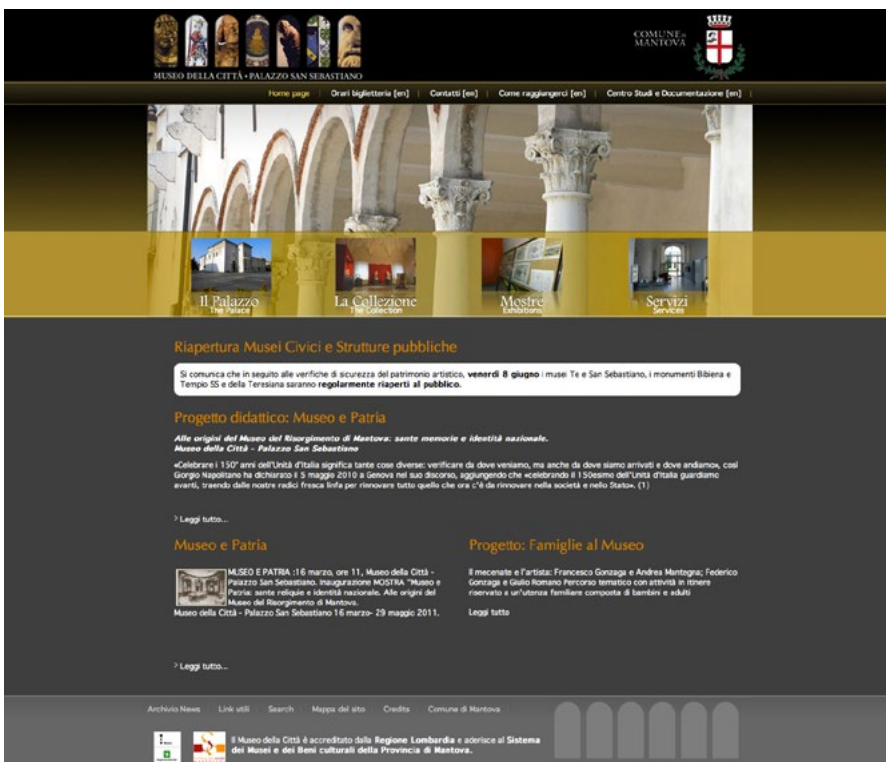
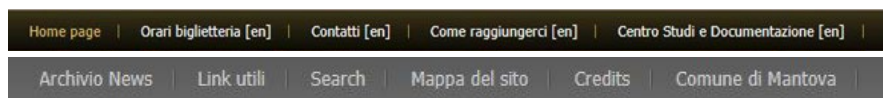


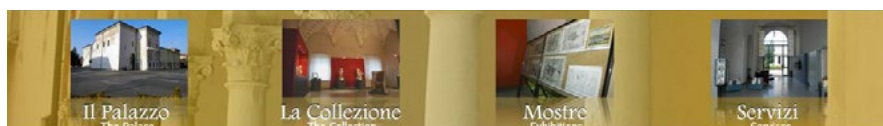
Fig. 113 | Home Page del sito Web del Museo della Città - Palazzo San Sebastiano, Mantova.

Tale struttura permette una veloce navigazione dei contenuti.

Un primo menu sempre presente, quello istituzionale, lo si trova in alto e in fondo alla pagina: Orari biglietteria, Contatti, Come raggiungerci, Centro Studi e Documentazione, Archivio News, Link utili, Search, Mappa del sito, Credits e Comune di Mantova.



Un secondo menu anch'esso sempre presente è quello di navigazione che corrisponde a tutte le altre voci presenti nella Home Page, indispensabili, per la vera e propria navigazione dei contenuti del sito.



Ciascuna voce collega direttamente tramite link a una pagina correlata interna alla struttura. La struttura dei link è prevalentemente orizzontale ovvero la maggior parte delle pagine sono raggiungibili da tutte le altre pagine fatta eccezione delle voci Il Palazzo, La Collezione, Mostre e Servizi.

Queste ultime hanno una struttura verticale ciò significa che per arrivare alle pagine interne si devono cliccare più link e visualizzare più pagine. (La Collezione > Il Percorso di visita).

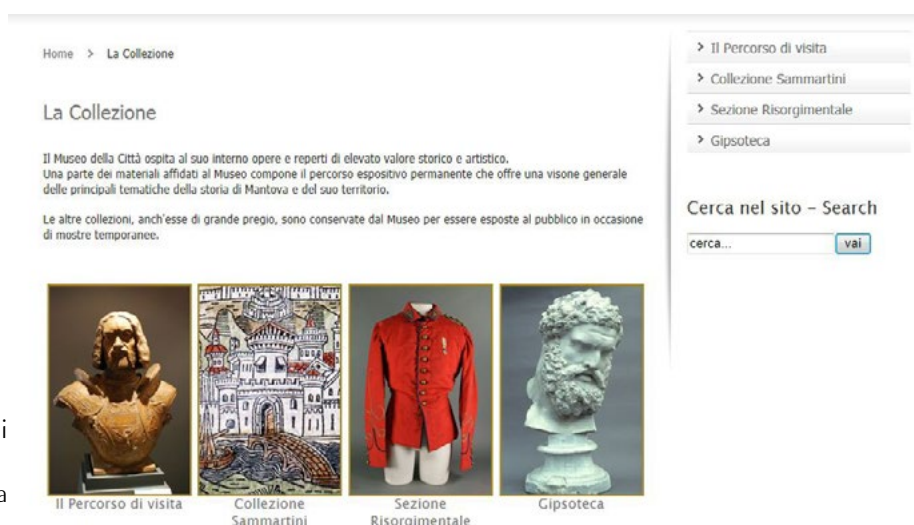


Fig. 114 | In alto troviamo la Barra di navigazione del Menù del sito. A fianco la Pagina della voce La Collezione.

Il Museo della Città in Rete

L'aspetto multimediale del sito è costituito da una Photogallery a piè di pagina nelle sotto-categorie di La Collezione e Il Palazzo. Nella categoria Il Palazzo sono presenti delle animazioni video in Flash ottenuti con la sovrapposizione di varie immagini per evidenziarne le evoluzioni cronologiche e morfologiche (tecnica di morphing) del restauro del palazzo, del loggiato, di un affresco e di una mappa di Mantova.

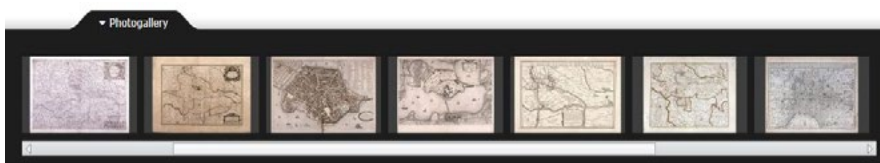
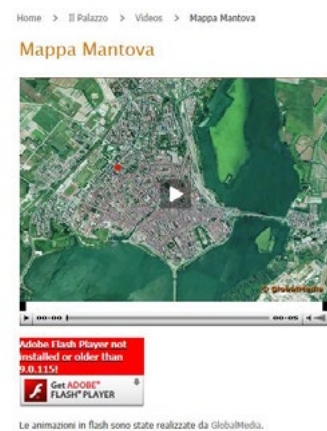
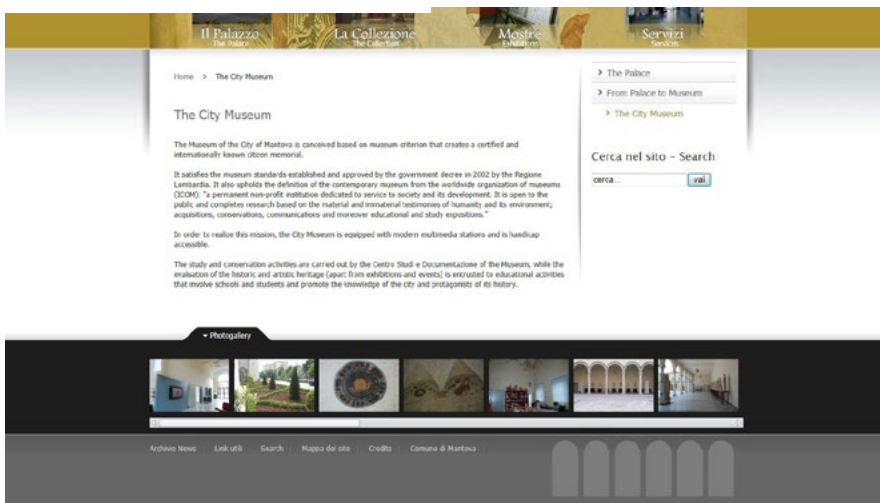


Fig. 115 | Materiale multimediale del museo nella categoria Il Palazzo.



4.3 Tipologie di Navigazione Virtuale

La potenzialità di un metodo di rappresentazione che evidenzia in immagini e modelli virtuali l'architettura dell'edificio e nel caso del museo, le sue collezioni e gli allestimenti, appare estremamente significativo per raggiungere un punto d'incontro fra le esigenze del Bene Culturale, gli utenti e i metodi di rappresentazione.

Attraverso l'integrazione e la fruibilità dei dati in un sistema di realtà virtuale è possibile avviare un processo di analisi e di conoscenza del Bene che porta a completare il percorso di costruzione del modello con lo studio di forme di visualizzazione e comunicazione volte a restituire informazioni sintetiche, efficaci e disponibili a diversi tipi di fruitori.

L'obiettivo pertanto è la definizione di una quarta dimensione di lettura della realtà riferita alla comunicazione, che si attua attraverso tempo, movimento e interazione diretta del fruitore.

Si è giunti alla realizzazione di una voce Navigazione da inserire all'interno del sito Web del Museo che offre la possibilità di accedere a diverse modalità di rappresentazione del Bene.

La raccolta delle differenti modalità di navigazione e visualizzazione in Real Time del Museo e delle opere permette di creare un vero e proprio museo virtuale tramite diverse modalità di visualizzazione del dato:

NAVIGAZIONE METRICA

La prima tipologia di restituzione utilizzata si è basata sull'utilizzo dell'applicativo Leica Truview.

Ciò ha consentito l'elaborazione di un modello interattivo in modalità remota, basato sulla contemporanea visualizzazione della nuvola di punti e delle immagini ad essa correlate. Tale modello si pone quale oggettivo elemento di studio, fornendo la possibilità di compiere operazioni di misura, riduzione ed ingrandimento degli elementi visualizzati, una vera e propria esplorazione virtuale del manufatto rilevato.

Un' esplorazione che vede la sua qualità più evidente nella quasi assoluta mancanza di intervento critico da parte dell'operatore restitutore: ciò fornisce un dato geometricamente corretto e altamente oggettivo, pronto ad essere interrogato dal fruitore finale.

In Leica TruView, l'utente può selezionare un pixel dell'immagine ed interrogarne le coordinate tridimensionali oppure selezionare due punti e calcolarne la distanza. Il risultato appare immediatamente sull'immagine della nuvola di punti. Inoltre è facile creare annotazioni e collegamenti ipertestuali Web.

Il Publisher di Cyclone è stato usato per comprimere la nuvola di punti, e creare delle immagini panoramiche, con una accurata possibilità di misurazione e commento tramite il plug-in distribuita gratuitamente per Internet Explorer. Il plug-in rende accessibili questi dati per ogni tipolo-

Tipologie di Navigazione Virtuale

gia di utente senza il bisogno di istruzione o particolari capacità informatiche.

Per creare le singole “site-maps”, sono state selezionate le Scanworld dei tre piani e sono state centrate all'interno della schermata in modo da avere un quadro generale della porzione scansionata. È stata impostata una risoluzione di 1500x978 dell'immagine che comparirà in prima pagina.

Il risultato che si ottiene è una cartella dentro la quale si trovano: un file htm, una immagine png e una serie di sottocartelle nominate con il nome delle Scanworld contenenti le informazioni metriche e fotografiche.

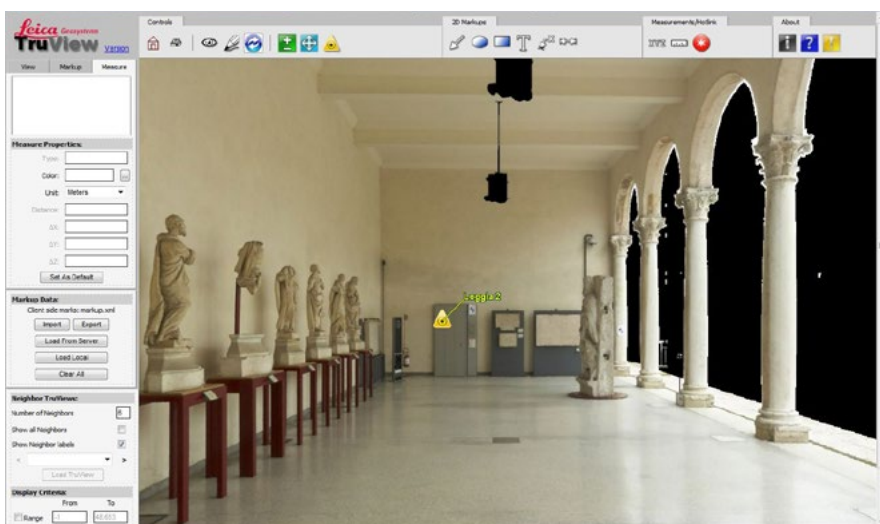
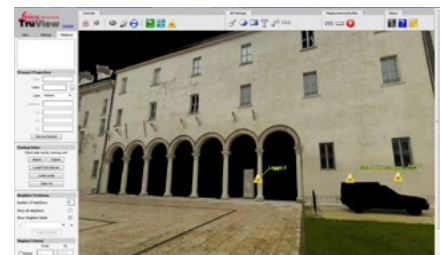
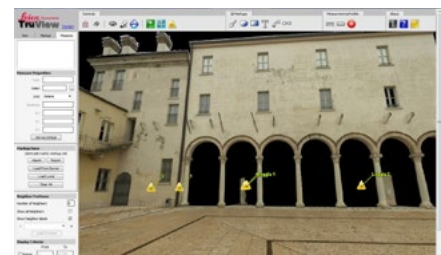
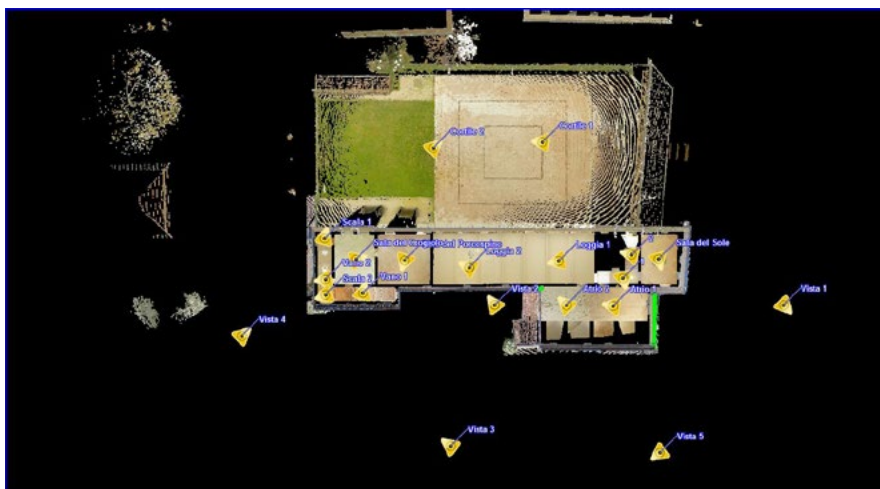
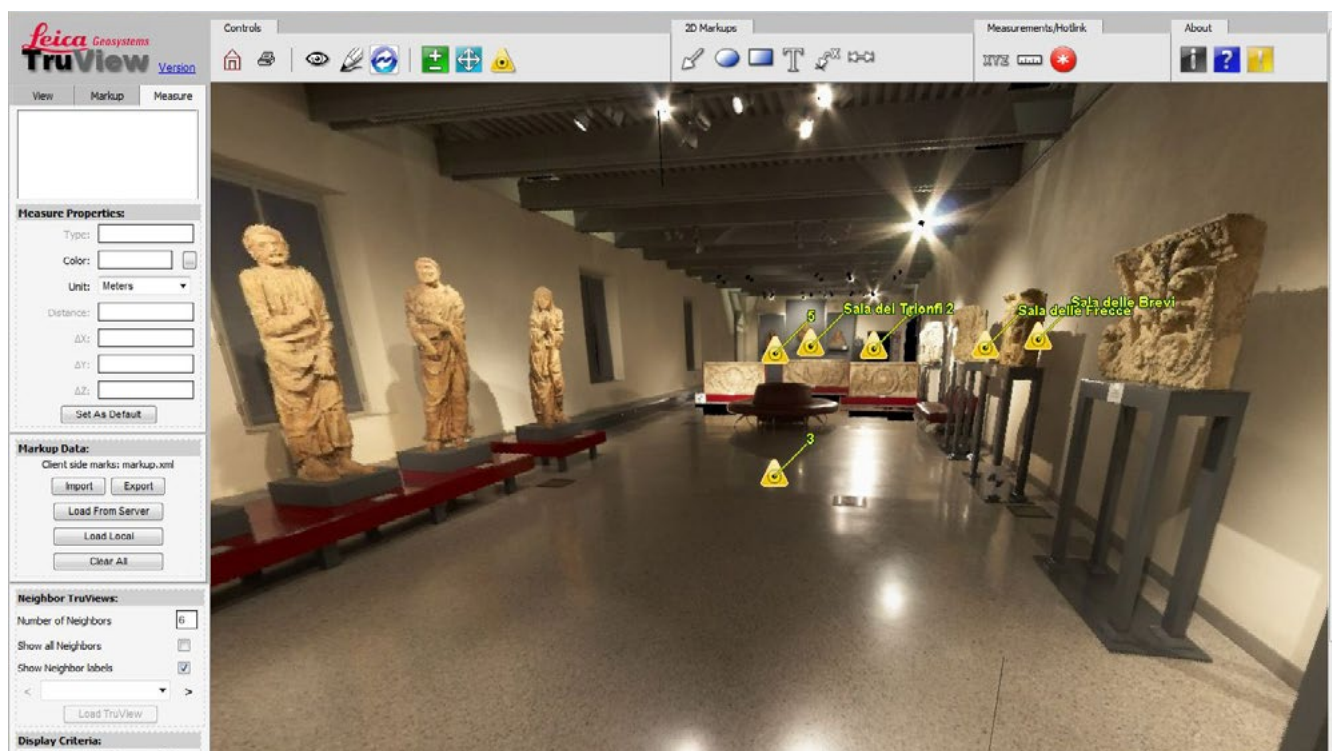
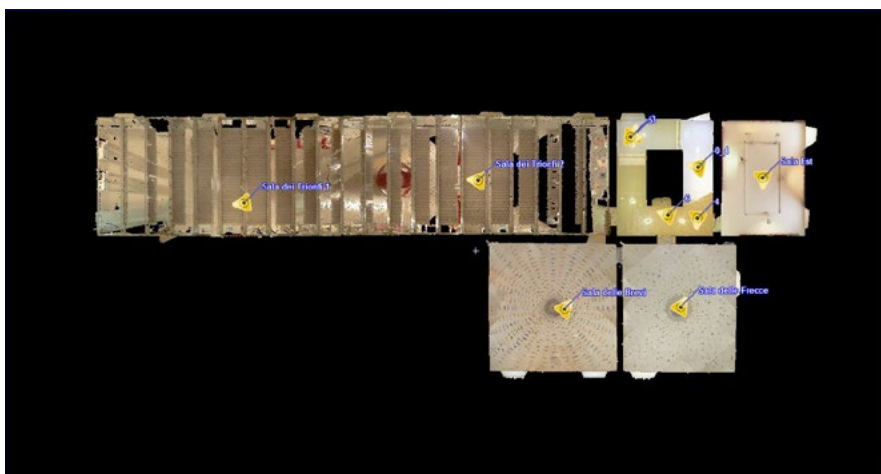
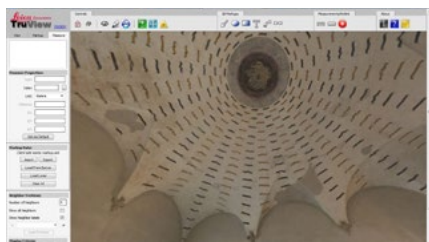


Fig. 116 | Navigazione della nuvola di punti tramite l'applicativo Leica TruView. In pianta si possono individuare i punti di vista delle sale espositive, delle scale e delle viste dei fronti esterni del Palazzo.

Selezionando un punto è possibile visualizzare in tempo reale le varie parti dell'intero Palazzo come il loggiato visto dal cortile interno e al suo interno.

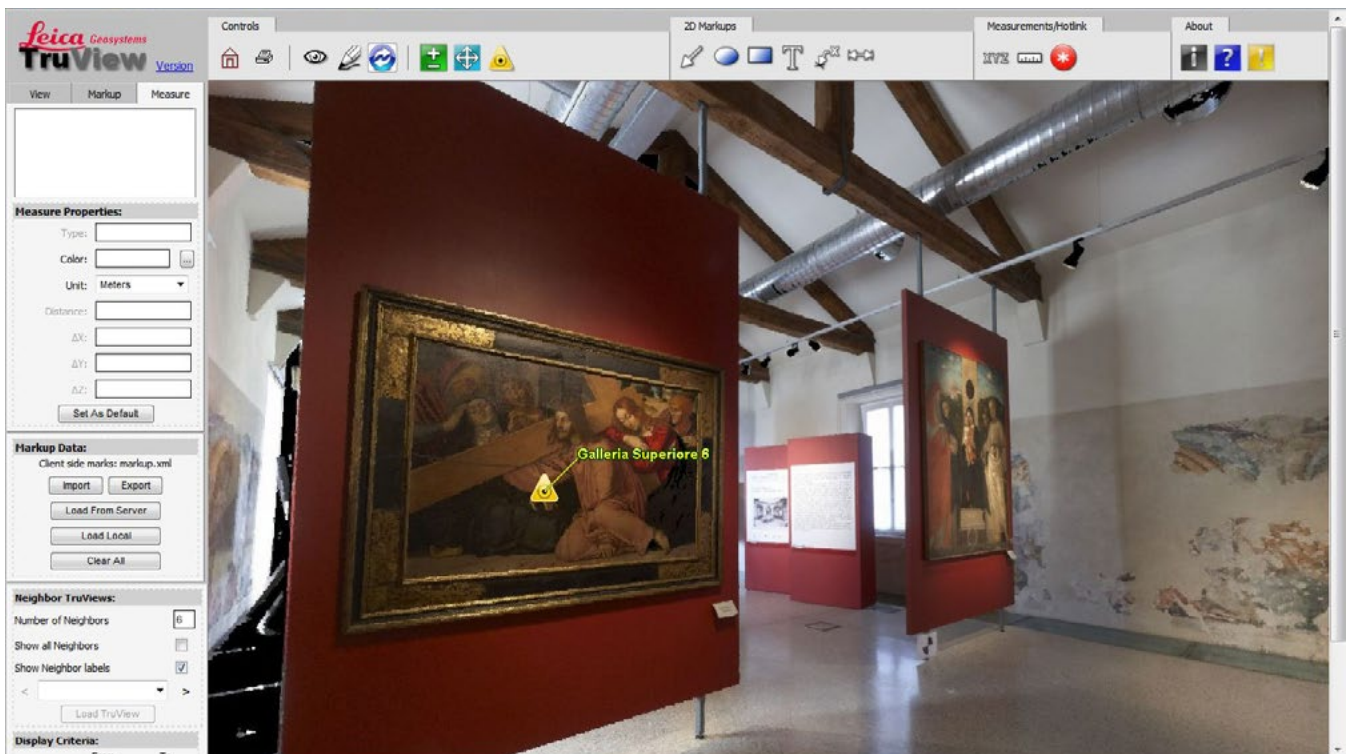
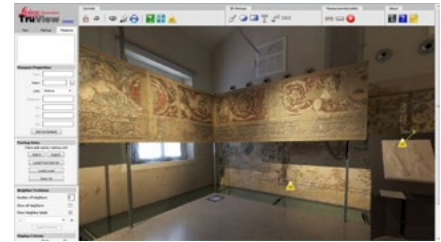
Fig. 117 | Piano primo della nuvola di punti tramite Leica TruView. Un particolare della volta presente nella Sala delle Brevi e una vista dall'interno della Sala dei Trionfi.



Tipologie di Navigazione Virtuale



Fig. 118 | Navigazione della nuvola di punti del piano secondo. Galleria Superiore.



NAVIGAZIONE MUSEOGRAFICA QTVR

Una soluzione semplice sta nelle tecniche di realtà visuale fondate su immagini fotografiche, applicate agli oggetti esistenti e non ricostruiti nel mondo virtuale.

La creazione di panorami QuickTimeVirtualReality (QTVR), consistenti in diversi filmati navigabili a 360° degli ambienti collegabili tra loro con nodi nascosti, permettono di ricostruire la visita virtuale delle sale del Museo e dell'intero Palazzo.

I panorami sono realizzati con il software EasyPano Tour Weaver, che ha permesso di creare un tour virtuale delle sale espositive del piano terra, primo e secondo, grazie al collegamento tramite nodi delle cubiche generate da Pano2 QTVR.

Non è a priori una modalità di conoscenza metrica della realtà, ma è sicuramente un sistema molto espressivo rapido pratico e semplice da utilizzare per realizzare una documentazione completa dello stato del Museo.



Fig. 119 | Fotografie panoramiche del cortile interno e dell'atrio ex cammino di ronda. Panorami necessari per creare il percorso con il software Tourweaver.



Fig. 120 | Panoramiche del piano terra: loggiato, Sala del Porcospino e Sala del Crogiolo.



Fig. 121 | Fotografie panoramiche del primo piano: Sala Est, Sala delle Frece e Sala delle Brevi.

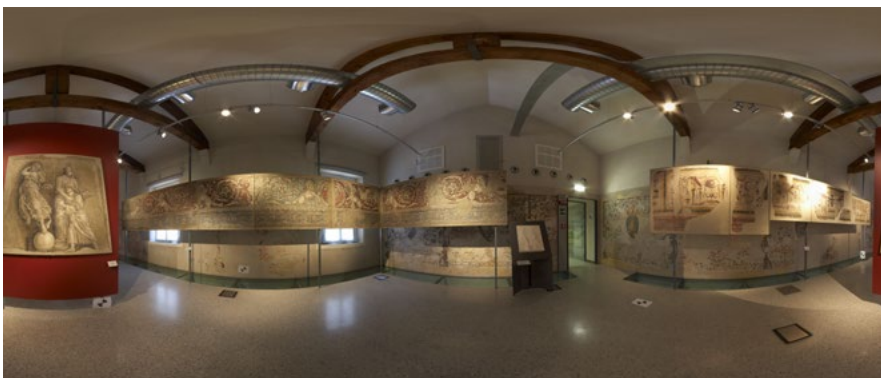


Fig. 122 | Fotografie panoramiche del primo piano Sala dei Trionfi e al secondo piano Galleria Superiore.

NAVIGAZIONE VRML

La rappresentazione in realtà virtuale con il linguaggio VRML offre all'utente la sensazione di entrare in uno spazio 3D dove è presente il modello dell'opera selezionata, camminarvi attorno e osservarla sotto diversi punti di vista.

Il Virtual Reality Markup Language è un linguaggio di programmazione in grado di creare modelli tridimensionali interattivi. È possibile descrivere ambienti virtuali contenenti oggetti, sorgenti luminose, immagini, suoni, filmati. Inoltre, allo stesso modo di qualsiasi documento ipertestuale, il VRML prevede l'impiego di link a URL remoti e naturalmente a qualunque altro file di tipo .wrl (formato dei file VRML).

Un file wrl, è un semplice file di testo che utilizza caratteri ASCII (come l'HTML ad esempio) che contiene al suo interno tutti i comandi necessari a descrivere una scena tridimensionale.

Questo tipo di formato è stato utilizzato per consentire la navigazione del Busto di Francesco II Gonzaga, elaborato in 123D Catch, e del modello tridimensionale dell'intero Palazzo creato in Rhinoceros 4.0.

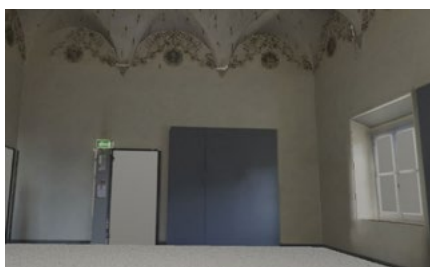
Per la rappresentazione interattiva dei modelli tridimensionali sul Web, finalizzata alla comunicazione del Museo, è stato utilizzato il software Cortona 3D Viewer della Parellelgraphics, un plug-in dei browser HTML (Internet Explorer) per la visualizzazione di scene VRML 3D in Internet. Il plug-in è di dimensioni estremamente contenute al fine di consentirne lo scaricamento anche su connessioni con banda limitata; l'installazione è necessaria una sola volta ed avviene automaticamente all'atto dell'apertura di una pagina Web che include contenuti VRML.

L'applicazione Web, realizzata utilizzando Cortona 3D Viewer, consente di navigare interattivamente all'interno dei modelli tridimensionali, permettendone la visualizzazione da varie angolazioni e distanze, così da consentire di analizzare i dettagli di maggior interesse.

È stata inoltre aggiunta una modalità di un'animazione realizzata in 3D Studio Max 2010 della Sala delle Freccce mappata con texture costituite dalle ortofoto-laser. Il filmato segue un tragitto prestabilito in cui l'utente si pone come spettatore della scena virtuale che descrive un modello approssimato alla realtà.

L'aspetto interessante di queste modalità di visualizzazione del dato permettono di estrapolare informazioni utili ad un tecnico per possibili allestimenti museali, per una progettazione illuminotecnica delle sale espositive mostrando un modello tridimensionale libero da ostacoli.

Fig. 123 | Estratto dell'animazione della Sala Freccce realizzata in 3DStudio Max.



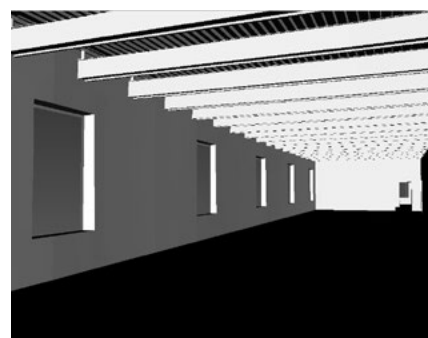
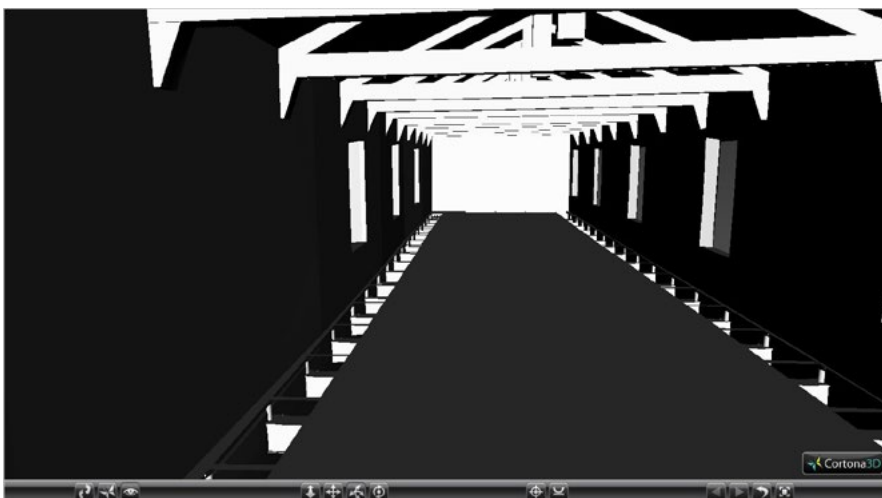
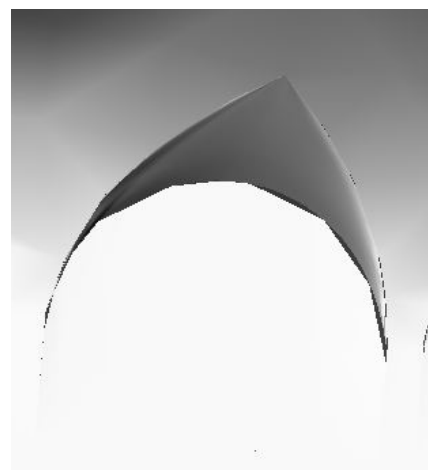
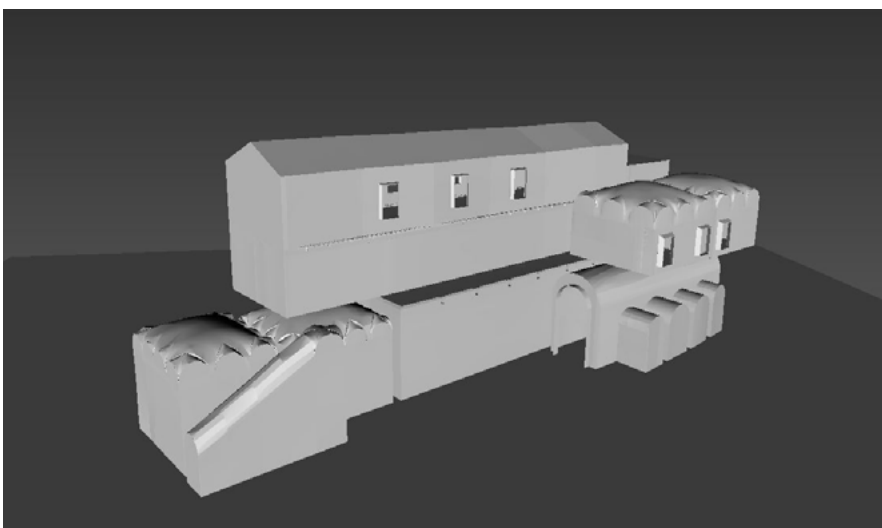
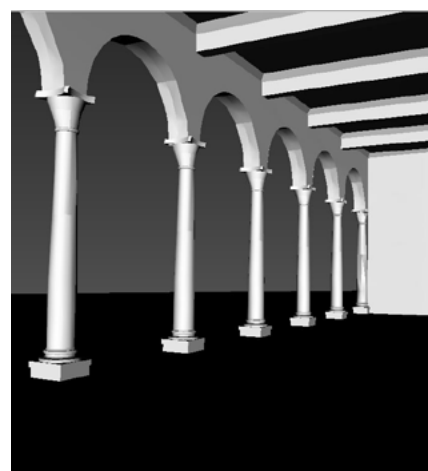


Fig. 124 | Modello tridimensionale del Palazzo visualizzato in Cortona 3D Viewer riprendendo una vista del Loggiato, il particolare di un unghia, la Sala dei Trionfi e la Galleria Superiore

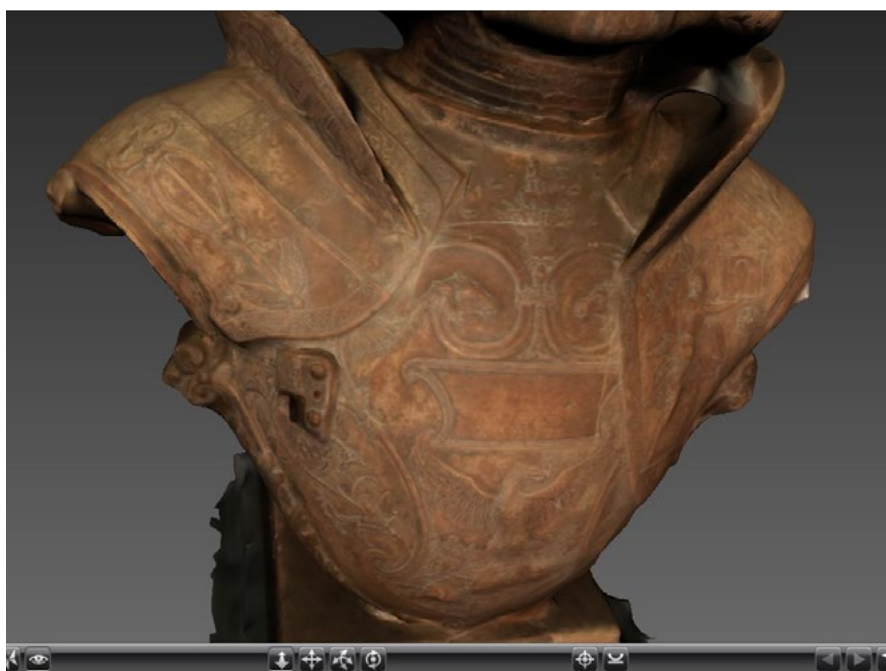


Fig. 125 | Busto di Francesco II esplorabile. Grazie a Cortona 3D Viewer si può osservare virtualmente l'opera nella sua interezza e tridimensionalità.

4.4 Una Nuova Voce per il Museo

I vantaggi di Internet sono noti a tutti: facilità di consultazione, semplicità d'uso, trasmissione di ogni tipo di informazione a più segmenti di utenza. La rete risulta quindi un veicolo perfetto per la comunicazione, per lo scambio di dati e di informazioni.

Risulta quindi importante oggi essere in rete, costruire un sito Web non solo di presentazione ma anche e soprattutto di servizio e motore per l'attivazione di contatti, scambi, diffusione di sapere a tutte le fasce di utenza.

Nella realizzazione della pagina Internet si è voluto tenere conto di queste caratteristiche e di tali necessità.

È sembrato pertanto di fondamentale importanza l'utilizzo di un linguaggio grafico e di contenuto capace di far comprendere sia allo specialista sia al grande pubblico le modalità di rappresentazione suddette (navigazione della nuvola di punti, panorami QTVR, modelli VRML navigabili e animazioni).

Dovendosi attenere alla struttura e all'impostazione grafica esistente del sito del Museo, la scelta del colore e del background, il tipo, la grandezza e il colore dei caratteri hanno mantenuto la continuità con l'esistente.

Dal punto di vista tecnico la pagina è stata realizzata utilizzando il software Adobe Dreamweaver CS6.

Si tratta di un Editor HTML visuale ovvero un software che permette di creare pagine Web senza alcuna conoscenza del linguaggio HTML.

Infatti la realizzazione di una pagina Web è costituita dal linguaggio HTML - HyperText Markup Language, cioè un linguaggio di formattazione basato su marcatori (markup).

“Marcare” un file di testo significa aggiungere degli identificatori HTML (o contrassegni, tag in inglese) in modo che il file possa essere letto dalla rete e sul proprio computer da un programma chiamato Browser.

I Browser leggono gli identificatori quando formattano i file HTML sullo schermo. I documenti disponibili in rete sono file HTML.

Il linguaggio HTML non descrive una pagina come fanno altri linguaggi grafici, per esempio caratterizzando un elemento e la sua posizione nella pagina, specificandone il font (carattere), le dimensioni in punti o lo spessore delle linee. Al contrario il linguaggio HTML identifica (contrassegna) il contenuto del file mediante alcuni attributi che vengono successivamente definiti dal Browser usato per visualizzare il file.

I tag di HTML specificano attributi di testo, inseriscono nel testo file grafici, audio e video e creano collegamenti ipertestuali e form.

L'ipertesto è la caratteristica più importante del linguaggio HTML: indica che qualunque parte di testo o grafica può essere collegata a un altro documento HTML.

La creazione di una pagina HTML implica due operazioni:

- il progetto della struttura dell'informazione
- il progetto grafico.

Circa la struttura, come è già stato scritto, è stato scelto di mantenere l'impostazione del sito del Museo aggiungendo semplicemente una nuova voce accanto alle altre.

Il visitatore determina l'ordine con cui l'informazione viene letta in base alle possibilità di scelta che si presentano.

La struttura è di tipo non lineare, collega le pagine con ipertesto; basta solo inserire tutti i collegamenti necessari nei vari file, sia i file di testo che i file interattivi.

La configurazione della voce Navigazione presenta una pagina chiara e intuitiva. I collegamenti ipertestuali sono sempre presenti all'interno del documento. Ogni titolo o immagine grafica può collegarsi al file interattivo di navigazione.

Tutti questi elementi compongono il Body cioè il contenuto vero e proprio del documento. Al suo interno sono stati inseriti i tag di tutto ciò che viene visualizzato sulla pagina Web. Al Body possono essere applicate molteplici proprietà come il colore oppure un'immagine di sfondo. Qui entra in gioco il progetto grafico del documento.

Il software Adobe Dreamweaver CS6 è tornato utile per la creazione e gestione dei fogli di stile CCS.

I fogli di stile Cascading Style Sheet sono un insieme di modelli, o stili, che si applicano a varie parti del documento e descrivono il modo in cui viene reso. Ogni elemento ha riportato le informazioni relative alle sue dimensioni, il posizionamento rispetto all'elemento precedente o nel quale è contenuto, le caratteristiche grafiche e la sua formattazione nel caso si tratti di un livello di testo.

Ogni elemento è identificato da una categoria e da un nome (scelto dal programmatore) e scritto in linguaggio CSS.

All'inizio della pagina HTML viene inserito il collegamento al foglio di stile e ogni volta che si desidera inserire uno degli elementi pre-impostati basterà richiamarlo all'interno del Body, nell'ordine di sequenza nel quale è visualizzato.

Questa procedura consente di ridurre molto la lunghezza del file HTML che diventa così più gestibile, oltre a consentire una serie di effetti grafici che sarebbero risultati ostici con la semplice scrittura dell'HTML.

L'utilizzo di file di stile risulta inoltre molto utile nella progettazione di siti composti da un elevato numero di pagine HTML, in quanto basta creare un unico file di stile che viene ogni volta richiamato, garantendo alle pagine del sito l'uniformità di formato necessaria alla loro navigazione.

Nel file di stile sono state scelte tutte le caratteristiche del testo: dal font alla dimensione, fino al colore e allo spessore del carattere, sempre mantenendo la configurazione grafica del sito esistente.

Un'ulteriore proprietà è stata applicata al cursore : quando esso si troverà sopra la scritta, questa verrà evidenziata.

Questo comando sarà molto utile per indicare i link, rendendo la navigazione del sito più immediata.

La navigazione dunque risulta possibile tramite una pagina costituita da quattro immagini che rappresentano le modalità di navigazione del Museo; queste sono selezionabili, ovvero cliccando sulla sezione desiderata si apre una nuova pagina dove compaiono le planimetrie dei tre piani del Museo. Scegliendo una di esse sarà possibile cominciare il vero e proprio tour unicamente scelto dall'utente eccetto il filmato creato in 3DStudio Max della Sala delle Frecce.

Questo è un tipo di visualizzazione di insieme che consente all'utente di navigare le opere del Museo seguendo il proprio interesse e al contempo permette di avere una panoramica della conformazione architettonica dell'edificio.

Il presente lavoro di tesi si è proposto di dare risalto allo stretto legame tra conoscenza e comunicazione tridimensionale per la valorizzazione e la divulgazione del patrimonio dei Beni Culturali, attraverso l'uso delle tecniche, delle metodologie innovative all'avanguardia, che oggi, la ricerca scientifica ci permette di utilizzare in questo ambito.

A seguito di una ricerca documentale sul Museo della Città, è stata affrontata una analisi sui metodi di rilievo e sulle moderne tecnologie: dal sistema di digitalizzazione alla rete di inquadramento topografico, dal sistema di acquisizione laser scanner a quello di immagini. La disposizione di tutte queste informazioni ha portato, dopo molteplici tentativi, analisi e sperimentazioni, alla elaborazione e realizzazione di modelli digitali soddisfacenti.

Ogni modello realizzato presenta informazioni di diversa natura: metrica, documentale, geometrica dell'intero manufatto ed esplorativa della singola opera. Il percorso intrapreso sulla visualizzazione e sulla comunicazione di tali elaborati 3D costituisce un passo interessante soprattutto per l'investigazione della struttura volumetrica e delle sue articolazioni.

Le modalità di rappresentazione dell'architettura, basate sulla modellazione tridimensionale e sull'esplorazione virtuale dello spazio, costituiscono la base di partenza per la definizione di un museo virtuale che si pone come strumento di ausilio all'analisi, alla rappresentazione, alla documentazione, all'informazione sul patrimonio architettonico ed alla conseguente sistematizzazione dei dati desunti dalla realtà costruita.

La costruzione di una navigazione virtuale del Museo, dotato di una sua dimensionalità, permette la realizzazione di spazi immateriali riconducibili al reale, all'interno dei quali muoversi ed agire. A tale scopo l'uso di modelli digitali tridimensionali risulta una soluzione ricca di potenzialità per creare modelli informatici che consentono simulazioni virtuali e che racchiudono le caratteristiche morfologiche, geometriche e costruttive degli omologhi modelli reali, permettendo, in un unico sistema di rappresentazione, la totalità dei meccanismi di visione possibili.

Il progetto, nato dalla collaborazione tra il laboratorio LA.RI.FO e la Direzione del Museo di Mantova, ha condotto alla concretizzazione di una nuova pagina Web che permette la navigazione dei modelli ottenuti dalla sintesi dei dati topografici, fotogrammetrici e laser scanner acquisiti. La fruizione delle informazioni è accessibile a tutti e viene filtrata a seconda della tipologia d'utenza.

Conclusioni

Da quanto è emerso nella ricerca è evidente che lo sviluppo delle tecnologie e gli interessi di vari settori di indagine portino sempre più ad una integrazione fra sistemi di misure e rilievo per approdare a nuove forme di visualizzazione e comunicazione del Patrimonio Culturale.

- U. Bazzotti, A. Guastalla-D. Nicolini, *Palazzo di San Sebastiano. Da residenza gonzaghesca a Museo della Città*, Comune di Mantova, 1999.
- C. Bertuglia, F. Bertuglia, A. Magnaghi, *Il museo tra reale e virtuale*, Editori Riuniti, Roma 2000.
- E. Bonacini, *Nuove tecnologie per la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale*, Aracne Editrice, Roma 2011
- C. Cerati, *I trionfi di Cesare di Andrea Mantegna e il Palazzo di San Sebastiano in Mantova*, collaborazioni Royal Collection, Hampton Court, Londra Galleria Nazionale, Praga Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici, Archivio di Stato, Archivio Storico Comunale, Mantova, 1989
- S. Converso, *Il progetto per la costruzione. Cronache di un mutamento professionale*, Maggioli Editore, Milano 2010
- F. Crosilla, R. Galetto (a cura di), *La tecnica laser scanning. Teoria ed applicazioni*, International centre for mechanical sciences Collana di geodesia e cartografia, Udine, 2003
- M. Docci, E. Chiavoni, P. Paolini (a cura di), *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*, Gangemi Editore, Roma, 2004
- T. Empler, *Modellazione 3D e rendering*, Officina Edizioni, Roma 2006
- F. Fassi, *Integration of traditional and innovative technologies for survey and modeling of cultural heritage*, Phd Thesis, Politecnico di Milano, 2009.
- F. Fassi, C. Achille, L. Fregonese, C. Monti, *Multiple data source for survey and modelling of very complex architecture*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5, Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, 2010.
- R. A. Genovese, *Il cantiere della conoscenza. Metodologie e strumenti per la conservazione ed il restauro*, Arte Tipografica Editrice, Napoli, 2008
- G. Guidi, M. Russo, J. A. Beraldin, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, Mc Graw-Hill, Milano, 2010

Bibliografia

- R. Migliari (a cura di), *Frontiere del rilievo - dalla matita alle scansioni 3D*, Gangemi Editori, Roma, Novembre 2001
- W.J. Mitchell, S. Polano (a cura di), *La città dei bits. Spazi, luoghi e autostrade informatiche*, Electa, Venezia 1997
- P. Palka, *Il rilievo 3D ad oggetto. Nuove procedure per il rilevamento dell'ambiente costruito*, Aracne Editrice, Roma, 2011
- G. Paulis, *Arte e Web*, Caravaggio Editore, 2009
- M. Pignataro, *Modellando modellando. Modello digitale e modello fisico, esperienze e riflessioni sul ruolo della rappresentazione*, Maggioli Editore, Milano 2011
- M. Rossi, P. Salonia, *Comunicazione multimediale per i beni culturali*, Pearson Education Italia, Milano 2003
- L. Taffurelli, *Mantova digitale: strumenti per la valorizzazione e la conoscenza del patrimonio culturale ed architettonico attraverso la digitalizzazione 3D*, Phd Thesis, Politecnico di Milano, 2011.

Siti Web Consultati

www.museodellacitta.mn.it/
www.leica-geosystems.com
www.rhino3d.com
www.cortona3d.com
www.geomagic.com
www.rapidform.com
www.123dapp.com
www.adobe.com/Dreamweaver
www.geomaticaeconservazione.it
www.sitech-3dsurvey.polimi.it
www.cnr.it
www.iuav.it
www.rilievoarcheologico.it

Indice delle Figure

Fig. 1 | G. Bertazzolo, Urbis Mantuae descriptio, 1628. Veduta della zona di San Sebastiano. Il Palazzo e Porta Pusterla. Pag. 11

Fig. 2 | Ritratto di Francesco II Gonzaga, Vienna, Kunsthistorisches Museum.
Fig. 3 | Loggiato del fronte settentrionale. Particolare prima dei restauri. Pag. 12

Fig. 4 | Camera delle Frece. Particolare decorazione originale prima dei restauri. Pag. 13

Fig. 5 | Scala del lato est prima dei restauri. Particolare impresa della ruota.
Fig. 6 | Camera del Crogiolo prima dei restauri. Lunetta, Impresa della A fiammeggiante.
Fig. 7 | Camera del Crogiolo prima dei restauri. Lunetta, Impresa del candelabro. Pag. 14

Fig. 8 | Camera del Crogiolo, volta prima dei restauri. Impresa del Crogiolo. Pag. 15

Fig. 9 | Fronte sud prima della demolizione del 1902. Pag. 16

Fig. 10 | La torretta isolata dopo la demolizione di Porta Pusterla.
Fig. 11 | La torretta isolata dopo la demolizione di Porta Pusterla. Pag. 17

Fig. 12 | Il palazzo, ingresso principale da sud-est nel 1998, all'inizio dei restauri.
Fig. 13 | Stato attuale del Palazzo. Pag. 18

Fig. 14 | Mantova, Palazzo S. Sebastiano, Torre di Porta Pusterla (fine XV sec.). Guglielmo Calciolari, china.
Fig. 15 | Palazzo San Sebastiano (1508). Guglielmo Calciolari, china.
Fig. 16 | Palazzo San Sebastiano, l'addizione del 1512. Guglielmo Calciolari, china.
Fig. 17 | Palazzo San Sebastiano (1525-1530 circa). Guglielmo Calciolari, china.
Fig. 18 | Palazzo San Sebastiano, veduta della loggia dalla parte del giardino (1525 circa). Guglielmo Calciolari, china.
Fig. 19 | Palazzo San Sebastiano oggi. Guglielmo Calciolari, china. Pag. 19

Fig. 20 | Laser scanner distanziometrici, principio di funzionamento.
Fig. 21 | Mantova, Palazzo di San Sebastiano - Museo della Città. Scansione laser dei prospetti, prima acquisizione dal cortile interno. Pag. 25

Fig. 22 | Nuvole di punti raffiguranti i fronti che si affacciano sul cortile interno del museo di San Sebastiano scansionate da due punti differenti con il laser scanner HDS 6000.
Fig. 23 | L'unione delle due nuvole di punti dei prospetti del cortile interno ha permesso di ottenere una maggiore completezza del dato. Visualizzazione delle due scansioni unite.
Fig. 24 | Teodolite a stazione totale Leica TCRM1103. Pag. 26

Indice delle Figure

Fig. 25 | Sistema di misurazione di un laser a differenza di fase.

Fig. 26 | Principio di funzionamento del laser a differenza di fase. Pag. 27

Fig. 27 | Sistema di misurazione TOF (Time Of Flight). Pag. 28

Fig. 28 | Unione tra le scansioni adiacenti del cortile e della loggia del palazzo. Ogni scansione è evidenziata da un colore differente per sottolineare la loro complementarità. Pag. 29

Fig. 29 | Unione tra le scansioni adiacenti della Sala dei Trionfi.

Fig. 30 | Affreschi della Sala del Crogiolo, della Sala del sole e della Sala delle Frece. Volta e lunette. Il laser scanner rileva la decorazione. Pag. 30

Fig. 31 | Specifiche tecniche del Laser Scanner HDS6000. Pag. 31

Fig. 32 | Specifiche tecniche del Laser Scanner HDS7000. Pag. 32

Fig. 33 | Laser HDS 6000 in azione nel cortile del palazzo. Pag. 33

Fig. 34 | Differenti visualizzazioni della nuvola di punti del piano terra, piano primo, piano secondo. Pag. 34

Fig. 35 | Pianta del Piano Terra.

I punti rossi indicano i punti di presa dove sono state eseguite le scansioni.

Fig. 36 | Pianta del Piano Primo.

Fig. 37 | Pianta Piano Secondo. Pag. 35

Fig. 38 | Acquisizione laser HDS 6000 nella Sala dei Trionfi. Data la lunghezza dell'ambiente sono state effettuate due scansioni. Sono visibili i target distribuiti nella Sala. Pag. 36

Fig. 39 | Teodolite TCRM1103, loggia.

Fig. 40 | Posizionamento del chiodo topografico nella loggia.

Fig. 41 | Teodolite, bolla. Pag. 37

Fig. 42 | Leica Geo Office. Visualizzazioni della rete topografica. Sono visibili i punti di stazione, i punti collimati e gli ellissi d'errore.

Fig. 43 | Estratto della tabella dei valori compensati delle coordinate X,Y,Z dei punti di stazione della rete. Pag. 38

Fig. 44 | Documentazione fotografica del rilievo topografico per mezzo del teodolite TCRM1103. Target e mire collimati per l'orientamento delle scansioni laser. Pag. 39

Fig. 45 | Cyclone7.3. Fase di registrazione/orientamento delle scansioni attraverso il riconoscimento di targets individuati nel sistema di riferimento generale. A fianco Sala del Porcospino. Sotto Ingresso e nella pagina accanto vista esterna del retro del Museo. Pag. 40

Fig. 46 | Cyclone7.3. Possibilità di eseguire delle misurazioni direttamente dal dato laser. Pag. 41

Fig. 47 | Scansione prima e dopo l'operazione di pulitura. Sala del Porcospino.

Fig. 48 | Scansione prima e dopo l'operazione di pulitura. Cortile. Pag. 42

Fig. 49 | Acquisizioni fotografiche del Museo tramite Canon EOS 350D con obiettivo fish-eye da 8 mm, montata su braccio a rotazione manuale (Nodal Ninja). Cortile e Sala del Porcospino. Pag. 43

Fig. 50 | Le sette prese fotografiche eseguite con camera Canon EOS 350D e con obiettivo fish-eye da 8 mm, acquisite per colorare la nuvola di punti corrispondente nel cortile.

Fig. 51 | Software PTGui, con il quale vengono individuati i punti omologhi tra le immagini per la creazione della relativa panoramica.

Fig. 52 | Panoramica ottenuta con il software PTGui, relativa alle prese fotografiche scattate dalla prima stazione nel cortile. Pag. 44

Fig. 53 | Le sette prese fotografiche eseguite nella Sala del Crogiolo.

Fig. 54 | Individuazione dei punti omologhi nella Sala del Crogiolo.

Fig. 55 | Panoramica della Sala del Crogiolo. Pag. 45

Fig. 56 | Le cubiche del Cortile ottenute dall'immagine panoramica da associare alla scansione da colorare.

Fig. 57 | Le cubiche della Sala del Crogiolo. Pag. 46

Fig. 58 | Individuazione di punti omologhi tra la nuvola di punti del Cortile e un'immagine cubica del Cortile attraverso il software Cyclone 7.3.

Fig. 59 | Associazione dell'informazione RGB alla nuvola di punti della Sala del Crogiolo. Pag. 47

Fig. 60 | Report errori associazione dato RGB alle nuvole di punti del piano terra, piano primo, piano secondo, scale.

Fig. 61 | Nuvola di punti del Cortile con l'informazione radiometrica associata. Pag. 48

Fig. 62 | Nuvola di punti con l'informazione radiometrica associata della Sala del Crogiolo, Atrio e Sala del Porcospino. Pag. 49

Fig. 63 | Individuazione di punti omologhi tra la nuvola di punti della Vista 5 dell'esterno e un'immagine cubica attraverso il software Cyclone 7.3.

Fig. 64 | Report errori associazione dato RGB alle nuvole di punti dell'esterno. Pag. 50

Fig. 65 | Ortofoto del soffitto ligneo del Piano Nobile del Palazzo Ducale di Sabbioneta - Sala degli Ottagoni, Mantova (3D Survey Group - BEST - Politecnico di Milano).

Fig. 66 | Ara Pacis Augustae, restituzione 3D, attraverso fotomodellazione

(CNR-IBAM). Pag. 56

Fig. 67 | Livelli di presa fotografica a quattro quote differenti del Busto di Francesco II Gonzaga. Pag. 57

Fig. 68 | Elaborazione del busto realizzato con il software 123D Catch .

Fig. 69 | Busto di Francesco II Gonzaga non ancora pulito dalle parti di fotografia riprendenti l'ambiente circoante della sala delle Frece del Museo della Città.

Fig. 70 | Grazie a 123D Catch è possibile individuare le quote a cui sono state scattate le fotografie e i punti di presa. Pag. 58

Fig. 71 | Busto di Francesco II visualizzato in Meshlab software che ha permesso l'eliminazione delle fotografie che riprendevano l'ambiente circostante della Sala delle Frece.

Fig. 72 | Il busto è stato salvato in formato .wrl e visualizzato in rete tramite il player Cortona 3D Viewer. Pag. 59

Fig. 73 | Restituzione del modello tridimensionale del Duomo di Ancona ad opera di Valeria Pompa (Università Politecnica delle Marche). Pag. 60

Fig. 74 | Modello tridimensionale del tiburio del Duomo di Milano, realizzato con il software Rhino (3D Survey Group - BEST - Politecnico di Milano). Pag. 61

Fig. 75 | Esempio di superficie TIN di un sito di cava.

Fig. 76 | Modellazione tridimensionale del duomo di Pisa da dati laser scanner elaborati dal centro di ricerca ISTI_CNR (DIAPReM - Ferrara). Pag. 62

Fig. 77 | Visualizzazione wireframe in ambiente Autocad.

Fig. 78 | Modello per superfici della Sala del Porcospino - Museo della Città

Fig. 79 | Punti di controllo di una superficie NURBS.

Fig. 80 | Modellazione solida dell'Arena di Verona (CIRCE -Laboratorio di Cartografia e Gis-IUAV). Pag. 63

Fig. 81 | Vista tridimensionale in ambiente Autocad della Sala delle Brevi.

Fig. 82 | Ridisegno geometrico della Sala delle Brevi che ha previsto l'estrazione della sezione in pianta e due sezioni verticali in senso trasversale e due in senso longitudinale. Nelle immagini si può identificare la slice utilizzato per questo procedimento. Pag. 65

Fig. 83 | Estrazione delle sezioni trasversali ravvicinate dell'atrio ex Cammino di Ronda necessarie per eseguire il Loft nella successiva costruzione del modello geometrico in Rhinoceros.

Fig. 84 | Estrazione dei profili per costruire la geometria della volta. Prima fase di estrazione di sezioni longitudinali e trasversali ravvicinate in modo da creare una rete di curve. Seconda fase di ridisegno delle lunette per finire con i profili delle unghie disegnati modificando per ognuna il piano di coordinante UCS. Pag. 66

Fig. 85 | Il Museo Guggenheim di Bilbao di Frank Ghery è un esempio reale di

modelli realizzati su superfici NURBS.
 Fig. 86 | Curva cubica di Bézier. Pag. 68

Fig. 87 | Curva B-Splines non uniforme.

Fig. 88 | Costruzione per estrusione lungo una traiettoria per le pareti delle sale del museo con una geometria a pianta quadrata. Pag. 69

Fig. 89 | Procedimenti di costruzione per Loft delle pareti a pianta rettangolare, delle scale, delle travi del solaio e per la costruzione delle bucaure per le finestre il Loft veniva alternato allo Sweep su due binari. Pag. 70

Fig. 90 | Le operazioni Booleane sono state utilizzate per le aperture delle sale in corrispondenza delle finestre. Pag. 72

Fig. 91 | Volta della Sala del Porcospino importata in Rapidform XOR decimata di 1/9. Dopo la decimazione la volta conta più di 6 milioni di punti.

Fig. 92 | Mesh della volta della Sala del Porcospino prima e dopo le operazioni di ottimizzazione. Pag. 74

Fig. 93 | Dettaglio mesh dell'unghia della volta della Sala del Porcospino prima e dopo le operazioni di ottimizzazione.

Fig. 94 | Superficie della volta della Sala del Porcospino generata con il software Geomagic Studio 12. Pag. 75

Fig. 95 | Superficie della volta della Sala del Porcospino importata nel software Rhino 4, superficie degradata.

Fig. 96 | Sezioni orizzontali della volta della Sala del Porcospino estratte dalla superficie della volta tramite il software Geomagic Studio 12. Pag. 76

Fig. 97 | Superficie della volta generata, in Rhino 4, per mezzo del loft, dalle sezioni orizzontali estratte. La superficie risulta imprecisa e presenta considerevoli errori negli angoli, a causa della complessità e irregolarità dell'oggetto. Pag. 77

Fig. 98 | Mesh della volta della Sala del Porcospino semplificata sulla base della curvatura.

Fig. 99 | Superficie NURBS realizzata sulla base della mesh della volta con il software Rhino 4. Pag. 78

Fig. 100 | Sezioni delle lunette, delle unghie e della volta della Sala del Porcospino per la generazione delle superfici. Pag. 79

Fig. 101 | Costruzione della superficie della volta, delle lunette e delle unghie. Pag. 80

Fig. 102 | Individuazione sul dato laser della ortofoto-laser da utilizzare come texture per la mappatura del modello tridimensionale geometrico, grazie al software Pointools View 1.8 Pro. Pag. 81

Fig. 103 | Ortofoto-laser prima e dopo l'elaborazione in Adobe Photoshop.
Pag. 82

Fig. 104 | Direzioni delle normali rivolte verso l'interno per la mappatura delle texture UV.

Fig. 105 | Assegnazione della texture alla superficie in ambiente 3d Studio Max.
Pag. 83

Fig. 106 | Mappatura dell'ortofoto-laser della volta già modificata in Adobe Photoshop e adattata alla superficie del modello 3D. Grazie alla funzione Gizmo la possibilità di ruotare, spostare e scalare l'immagine per ottenere una buona coincidenza con la superficie. Pag. 84

Fig. 107 | Sala delle Frece visualizzata in Cortona 3D Viewer. La navigazione risulta lenta e di non agevole gestione e l'ambientazione appare buia nonostante siano state impostate delle luci in ambiente 3d Studio Max. Una parete, il pavimento e tutta la superficie della volta mancano di texture.

Fig. 108 | Estratti di viste dal filmato della Sala delle Frece realizzato in 3d Studio Max. Pag. 85

Fig. 109 | I Musei Vaticani offrono la possibilità di poter navigare all'interno della Collezione online. A destra la navigazione della Cappella Sistina. Pag. 90

Fig. 110 | Schede interattive del Virtual Museum of Iraq e nella pagina accanto la pianta interattiva del Louvre di Parigi. Pag. 92

Fig. 111 | Nella pagina accanto il sito del British Museum propone Tour di navigazione all'interno delle Collezioni individuabili nella pianta selezionabile bidimensionale. L'esplorazione è costituita da descrizioni e immagini ingrandibili.

Fig. 112 | Il Metropolitan Museum presenta una sezione dedicata chiamata Met-Media. La voce Interactives propone diverse schede di consultazione diverse a seconda del tema munite di schemi interattivi, avatar, audio guide, filmati e descrizioni. Pag. 95

Fig. 113 | Home Page del sito Web del Museo della Città - Palazzo San Sebastiano, Mantova. Pag. 96

Fig. 114 | In alto troviamo la Barra di navigazione del Menù del sito. A fianco la Pagina della voce La Collezione. Pag. 97

Fig. 115 | Materiale multimediale del museo nella categoria Il Palazzo. Pag. 98

Fig. 116 | Navigazione della nuvola di punti tramite l'applicativo Leica Truview. In pianta si possono individuare i punti di vista delle sale espositive, delle scale e delle viste dei fronti esterni del Palazzo. Selezionando un punto è possibile visualizzare in tempo reale le varie parti dell'intero Palazzo come il loggiato visto dal cortile interno e al suo interno.
Pag. 100

Fig. 117 | Piano primo della nuvola di punti tramite Leica TruView. Un particolare della volta presente nella Sala delle Brevi e una vista dall'interno della Sala dei Trionfi. Pag. 101

Fig. 118 | Navigazione della nuvola di punti del piano secondo. Galleria Superiore. Pag. 102

Fig. 119 | Fotografie panoramiche del cortile interno e dell'atrio ex Cammino di Ronda. Panorami necessari per creare il percorso con il software Tourweaver. Pag. 103

Fig. 120 | Panoramiche del piano terra: loggiato, Sala del Porcospino e Sala del Crogiolo. Pag. 104

Fig. 121 | Fotografie panoramiche del primo piano: Sala Est, Sala delle Frece e Sala delle Brevi. Pag. 105

Fig. 122 | Fotografie panoramiche del primo piano Sala dei Trionfi e al secondo piano Galleria Superiore. Pag. 106

Fig. 123 | Estratto dell'animazione della Sala Frece realizzata in 3d Studio Max. Pag. 107

Fig. 124 | Modello tridimensionale del Palazzo visualizzato in Cortona 3D Viewer riprendendo una vista del Loggiato, il particolare di un unghia, la Sala dei Trionfi e la Galleria Superiore. Pag. 108

Fig. 125 | Busto di Francesco II esplorabile. Grazie a Cortona 3D Viewer si può osservare virtualmente l'opera nella sua interezza e tridimensionalità. Pag. 109