

Un viaggio nel quattordicesimo secolo. Una ricostruzione digitale di piazza delle Erbe a Verona

Fabrizio I. Apollonio, Marco Gaiani, Federico Fallavollita,
Elisabetta C. Giovannini, Riccardo Foschi

Abstract

La visualizzazione digitale come rappresentazione di un passato non più esistente è un'esigenza comunicativa in cui le ricostruzioni virtuali sono divenute mezzo e sperimentazione di un tempo altrimenti intangibile. Il caso studio presentato è espressione di una metodologia che cerca di combinare insieme l'aspetto divulgativo e quello scientifico. Questo metodo vorrebbe rispondere a un approccio multidisciplinare che caratterizza lo studio del patrimonio architettonico del passato dove le ricostruzioni virtuali, se scientificamente supportate, possono diventare documenti chiari e trasmissibili.

Parole chiave: ricostruzione virtuale, 3D modeling, patrimonio culturale, rendering.

Introduzione

Il caso studio, frutto di un lavoro multidisciplinare che ha coinvolto storici della città e architetti, si inserisce in un più ampio progetto di ricerca presentato all'Expo 2015 di Milano che ha avuto l'obiettivo della ricostruzione virtuale delle piazze del mercato in alcune città italiane del Medioevo. Questo articolo presenta nel dettaglio il caso di piazza delle Erbe a Verona negli anni fra il tredicesimo e il quattordicesimo secolo. L'articolo si pone l'obiettivo, da un lato, di descrivere dettagliatamente gli aspetti metodologici e procedurali adottati e, dall'altro, di evidenziare in maniera articolata le potenzialità e le criticità del lavoro svolto all'interno dello specifico ambito di ricerca. L'area oggetto della ricostruzione virtuale di piazza delle Erbe, per la sua estensione, si situa in una dimensione intermedia tra la ricostruzione di edifici singoli e quella di

un'intera area urbana, presentando i pro e i contro di ambedue le scale di rappresentazione. Tale aspetto ha determinato il bisogno di modellare a scala architettonica i singoli edifici che si affacciano sulla piazza, a partire dalle informazioni storico-documentali disponibili, secondo livelli di certezza e gradi di accuratezza differenti. In questo quadro va specificato che il lavoro presentato è stato prodotto interamente da ricercatori afferenti al settore del Disegno in stretta collaborazione e con il fattivo apporto e confronto con gli storici della città, il cui contributo è stato indispensabile per verificare ed escludere le varie ipotesi ricostruttive e indicare le fonti attendibili ricavate dalle informazioni storiche. Il raffronto è stato continuo e proficuo e ha interessato tutte le fasi del progetto: dallo studio delle fonti fino alla produzione del video.

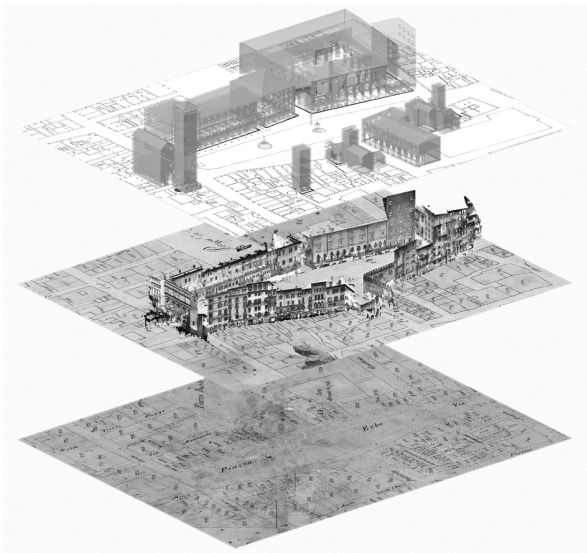
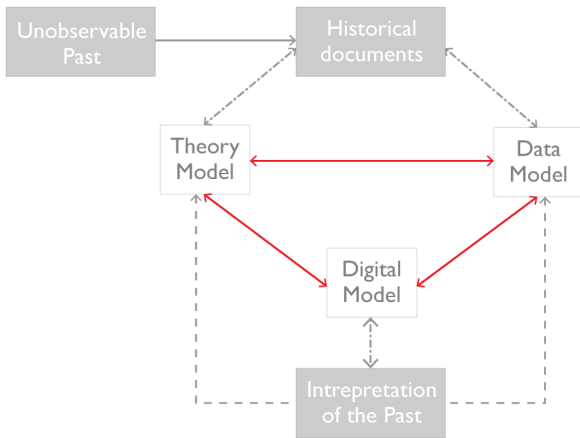


Fig. 1. Diagramma del processo di ricostruzione.

Fig. 2. Layering della metodologia: dati storici, dati basati sul rilievo e ipotesi di ricostruzione virtuale.

Stato dell'arte

Negli ultimi venticinque anni la rivoluzione digitale ha prodotto un importante sviluppo di nuovi strumenti e metodi per l'acquisizione, la documentazione e la diffusione di dati 3D nell'ambito del patrimonio urbano, architettonico e archeologico. La disponibilità di nuove e più efficaci tecnologie digitali introduce supporti intercambiabili in grado di offrire diversi nodi di accesso a un determinato oggetto di studio e consente un approccio multidimensionale alla conoscenza su più livelli. Le tecnologie digitali propongono nuovi significati della rappresentazione architettonica, aggiungendo una dimensione ulteriore, quella temporale (diacronica e sincronica), che consente di conoscere l'artefatto non solo nell'evoluzione e trasformazione del suo ciclo di vita, ma anche attraverso l'analisi della sua composizione e matrice geometrica-formale. L'avvento della ricostruzione virtuale applicata all'archeologia introdotto da Paul Reilly [1] ha aperto il dibattito sull'approccio multidisciplinare a una grande quantità di progetti di questo tipo. Ampia ormai è la serie di lavori relativi a ricostruzioni ipotetiche di siti archeologici, già a partire dal 1990 [2], e anche di studi applicati alla ricostruzione architettonica di edifici mai costruiti [3], o, ancora, a contesti urbani più o meno estesi [4]: si tratta di lavori che hanno utilizzato tecniche 3D di modellizzazione digitale. Koller [5] si è concentrato sulla necessità di rendere visibile la tracciabilità di tutte le aggiunte, le sottrazioni e le modifiche ai modelli 3D, per rendere comprensibile l'ipotesi e la visualizzazione delle differenze tra i modelli dell'oggetto/artefatto. Uno degli obiettivi principali è la trasparenza del processo che comporta una ricostruzione virtuale che comprende diversi problemi relativi alla gestione delle informazioni di tutto il processo cognitivo [6]. Partendo dalle fonti dei dati per giungere al modello 3D, i principali problemi sono legati alla tracciabilità delle decisioni soggettive e delle congetture che influenzano il processo di un certo grado di incertezza [7] che apre la possibilità a opzioni alternative di ricostruzione generalmente non dichiarate [8]. La ricostruzione virtuale diventa ancora più complessa nel caso di grandi aree urbane, dove la difficoltà di ricomposizione del quadro documentale globale è accompagnata anche dalla definizione e gestione dei diversi livelli di certezza delle informazioni raccolte e dei dettagli dei dati restituiti.

Il caso studio fa parte del progetto di ricerca *Piazze, palazzi del potere e mercati del cibo nell'Italia di Dante. Progetto di ricostruzione 3D delle piazze e dei mercati alimentari di Milano, Bologna, Firenze, Verona* [9] volto a proporre una ricostruzione virtuale delle piazze del mercato alimentare in alcune grandi

città del Medioevo italiano, presentato a Expo 2015 di Milano. Questo articolo presenta il caso di piazza delle Erbe a Verona negli anni a cavallo tra il XIII e il XIV secolo. La prima sezione fornisce un quadro sintetico sulla metodologia relativa alla ricostruzione virtuale delle architetture scomparse o mai esistite, con particolare riferimento ai casi di aree urbane di estensione limitata. I paragrafi seguenti descrivono la procedura adottata nel caso studio. La sezione finale fornisce alcune valutazioni generali sulla ricerca condotta.

La ricostruzione virtuale degli edifici e delle aree urbane non più esistenti

Tra le esperienze di ricostruzione virtuale delle aree urbane non più esistenti una delle prime e tra le più grandi ricostruzioni di un'intera città antica si riferisce a Roma nel 320 d.C. [10]. Si tratta di una ricostruzione virtuale da dati archeologici incompleti che utilizza tecniche di modellazione procedurale e parametrica per creare modelli visivamente accattivanti e dettagliati [11]. In tutt'altro contesto, ma in egual modo degna di nota per l'approccio, la metodologia e la qualità dei risultati conseguiti, è la saga di *Assassin's Creed* [12] che si è caratterizzata per le ambientazioni in antiche città virtualmente ricostruite. Le aree tematiche della ricostruzione virtuale di piazza delle Erbe si vanno a collocare, come già anticipato, in una zona intermedia rispetto alla ricostruzione di singoli

edifici e a quella relativa all'intera città, preservando i pro e i contro di entrambe le scale. La ricostruzione virtuale di una vasta area urbana, come quella che caratterizza una piazza e il suo quartiere, richiede da una parte la raccolta di dati e la corrispondenza di un livello tipico di dettaglio della scala architettonica (edilizia) e, dall'altra, una raccolta che riguarda i problemi tipici della scala urbana (una grande quantità di edifici). Dobbiamo garantire nel processo di ricostruzione virtuale la fedeltà/precisione tipica della scala architettonica al livello del singolo edificio (non sempre raggiungibile) e la complessità (in termini di variabili da calcolare e conseguente grado di accuratezza da garantire) tipiche della scala urbana. Da queste considerazioni emerge la necessità di definire e modellare i singoli edifici che costituiscono la scena della piazza su scala architettonica, affrontando una scena in scala urbana. Ogni edificio che compone la scena della piazza delle Erbe, pertanto, è stato ricostruito in conformità con le informazioni storiche reperibili, diverse per tipo e grado di accuratezza.

La ricostruzione di piazza delle Erbe tra il secondo e il quarto secolo: fonti, metodi e procedure

Al di là dell'impatto emergente della digitalizzazione 3D sulla documentazione museologica e archeologica da un lato e la considerazione di richieste scientifiche di riferimento

Fig. 3. Nuvola di punti ottenuta mediante campagna con Laser scanner Leica C-10 (a destra) e pianta con punti di ripresa delle scansioni (a sinistra).

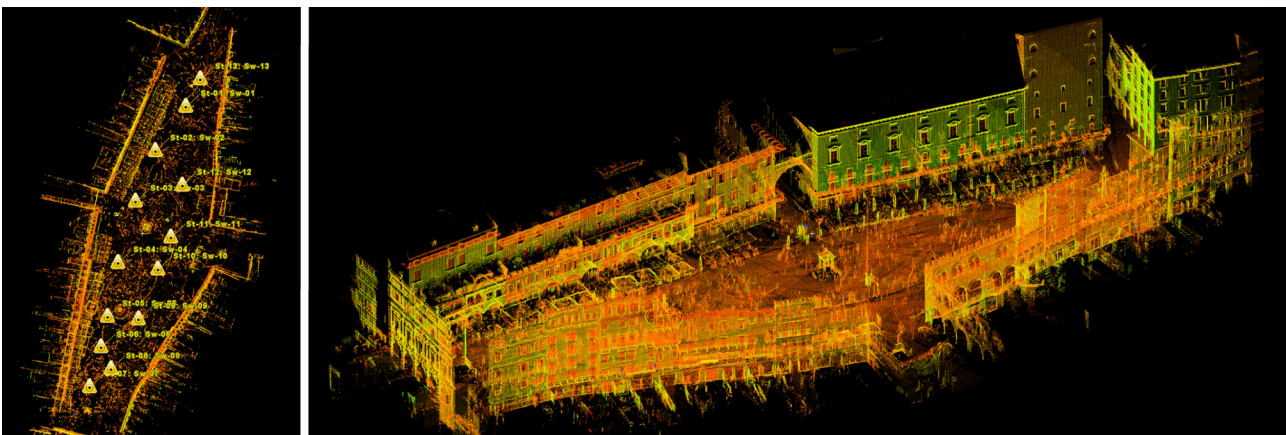
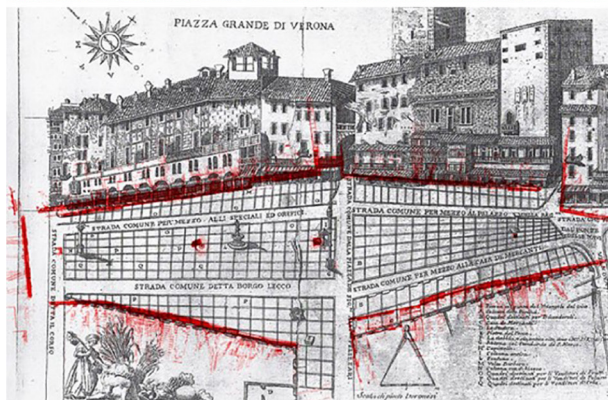
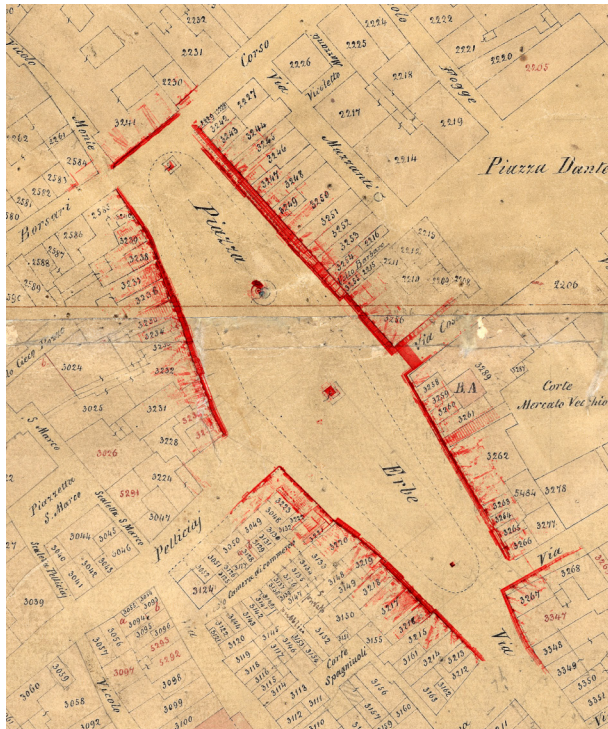


Fig. 4. Allineamento della nuvola di punti con la documentazione storica: catasto napoleonico, 1807-1813 (in alto); Piazza Grande di Verona, 1549 (in basso).



dall'altro, l'ipotetica ricostruzione digitale affronta diverse criticità e potenzialità. La ricostruzione virtuale include la composizione – modificabile nel tempo – di tre modelli reciprocamente interrelati: quello teorico, quello dello stato di fatto e quello delle ipotesi ricostruttive. Questi modelli sono definiti dal processo di interpretazione del passato non più osservabile, partendo dai dati storici. La ricostruzione virtuale di piazza delle Erbe è stata sviluppata in più fasi. Il primo passo è legato alla ricerca storica che ha utilizzato le fonti archivistiche, iconografiche, bibliografiche, fotografiche ecc. Attraverso questa ricerca è stato possibile raccogliere informazioni importanti su riferimenti specifici o generali relativi all'architettura medievale di Verona, sotto forma di documenti notarili, testi scritti, iconografia, o (da fonti più recenti) incisioni di vedute della piazza, cartoline e fotografie storiche, mappe catastali ecc. [13]. In tale contesto fondamentale è stato l'apporto e il confronto con gli storici della città Rosa Smurra e Francesca Bocchi, coordinatrici del progetto. Attraverso le loro ricerche è stato possibile attingere alle differenti fonti documentali attraverso le quali sono state ricavate le informazioni attendibili sulla conformazione degli edifici e della piazza in relazione ad una determinata epoca. Oltre alle fonti grafiche, come piante e raffigurazioni storiche della piazza [14] o i catasti storici [15], molto importanti sono state anche le testimonianze scritte [16] che descrivono la piazza e gli edifici limitrofi. Per esempio il confronto con la pianta napoleonica catastale ha permesso di verificare la conformazione attuale della piazza; mentre dalle maggior parte delle descrizioni scritte sono state ricavate le informazioni per ricostruire i modelli degli edifici non più esistenti o modificati (vedi passi 2 e 3).

Il secondo passo ha riguardato il rilievo di tutta la piazza che, in base ai dati storici disponibili, non ha subito trasformazioni rilevanti fin dal XIII secolo. L'indagine è stata condotta attraverso l'integrazione di tecnologie attive (*scanner laser ToF*) e tecnologie passive (fotogrammetria digitale). Il persistere dell'impianto della piazza è stato confortato dal confronto tra le strutture esistenti e i dati dei catasti austriaci (1843-1852) e Napoleonici (1807-1813), che rappresentano il primo rilievo di particelle catastali del Veneto e del Friuli; si tratta di una raffigurazione di piazza delle Erbe, al di là della precisione metrica e formale dei documenti, risalente al 1549 [17]. In particolare, attraverso l'impiego dello *scanner laser* è stata registrata la conformazione della piazza attuale e dei fronti. Sono state necessarie tredici stazioni per poter avere il perimetro esatto

dell'intero spazio. Dalla nuvola di punti sono state ricavate le sezioni necessarie per le misure indicative dei modelli dei singoli edifici da ricostruire e della pianta dell'invaso. Attraverso la fotogrammetria digitale sono stati ricostruiti i modelli poligonali testurizzati di quegli elementi che risalgono all'epoca di studio: come la fontana e l'altana presenti nella piazza. Questo ci ha permesso di ottenere un modello corretto della geometria di massima; inoltre, dal punto di vista delle *texture* superficiali, grazie all'utilizzo di ColorChecker, è stato possibile eseguire una correzione colore di tutto il set fotografico prima dell'elaborazione delle foto. I modelli finiti e texturizzati sono stati posizionati nel loro sedime originale. Oltre a ciò è stata effettuata una campagna fotografica degli edifici limitrofi per ricavare informazioni sui materiali e sui dettagli da ricostruire (vedi il quarto passo).

Il terzo passaggio è stato dedicato a isolare gli edifici con informazioni storiche più accurate e dettagliate e capire quali elementi sono rimasti invariati nel corso dei secoli e quali sono cambiati nel tempo, facendo uso delle fonti raccolte durante il primo passo. Anche in questo caso, il continuo confronto con gli storici è stato fondamentale per poter validare le varie ipotesi e escludere quelle meno attendibili. Dalle due fasi precedenti si è potuto constatare, al netto di tolleranze e imprecisioni dei disegni originali, che il sedime della piazza è rimasto per lo più invariato dal Medioevo a oggi; grazie a questo si è ridisegnata la planimetria a partire dal catasto napoleonico nel quale era riportata la suddivisione particellare degli edifici. Questo ha permesso di ipotizzare quale fosse la scansione più probabile delle facciate

prima degli interventi di unificazione dei fronti avvenuti in fase posteriore. Inoltre, incrociando i dati dei catasti di epoca più tarda e dei documenti precedenti (incisioni, atti notarili, iconografie) è stato possibile identificare gli edifici rimasti quasi interamente invariati per proporzioni e sistema costruttivo, o gli edifici che furono ampiamente rimaneggiati, ad esempio il palazzo della Regione, case Mazzanti e la Domus Bladorum, che ebbe importanti modificazioni sia in relazione alla facciata. con lo spostamento e il rifacimento di quasi tutte le bucatore, sia per quanto riguarda volume e numero di piani.

Il quarto passo è stato quello di definire i dettagli architettonici e le tipologie costruttive riferendosi a una sorta di abaco di elementi architettonici della Verona medievale [18]. Tale raccolta di elementi architettonici è stata costruita a partire da testimonianze architettoniche relative al periodo storico coevo, direttamente raccolte a Verona, o, in mancanza di queste, da esempi analoghi raccolti nel territorio di Verona e nella letteratura. Ciò era necessario perché lo scopo della ricostruzione era quello di ottenere un orizzonte completo della piazza e del suo quartiere, in grado di ricreare l'atmosfera di quel tempo, contestualizzando il più correttamente possibile il mercato medievale di piazza delle Erbe.

Il quinto passo è stato quello relativo alla produzione di un insieme di *texture* dei materiali da applicare ai modelli. Anche in questo caso si è cercato di raccogliere una serie di foto relative a edifici i cui materiali sono paragonabili a quelli presenti all'epoca interessata dalla ricostruzione, in modo da ottenere modelli basati sulla realtà in grado di riprodurre

Fig. 5. Schizzo di ipotesi ricostruttiva.

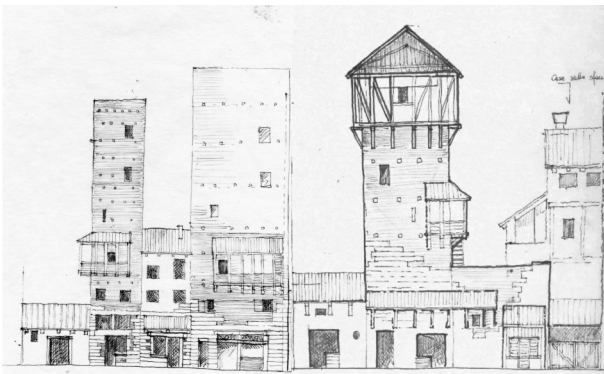


Fig. 6. Ricostruzione virtuale.



la fedeltà del colore, della struttura e delle proprietà della riflettanza superficiale percepita [19].

Il sesto passo ha riguardato la modellazione 3D, utilizzando come dati di partenza quelli del rilievo tramite *scanner laser*, implementati con i dati storici raccolti e riletta criticamente, al fine di ottenere un insieme storico il più attendibile possibile. Si è deciso di adottare sia il metodo della rappresentazione matematica e sia quello numerico per la prima fase di modellazione: ovvero per ricreare i modelli di base della scena finale (Rhinoceros, Autocad e 3D Studio Max). L'uso di entrambi i metodi di rappresentazione ha consentito di avere una maggiore flessibilità nel controllo formale della geometria d'insieme del modello. In questo modo è stato ottenuto il modello dell'intera piazza con gli edifici limitrofi. Una scelta importante in questa fase è stata la scala di rappresentazione o il livello di dettaglio da adottare per i vari modelli. Considerato l'intento espositivo e l'uscita finale, che prevedeva la produzione di un video, si è deciso di adottare come riferimento la scala 1:100 per i modelli geometrici di base. Questa scelta ha permesso, attraverso la fase successiva di *rendering*, di arrivare a una scala di rappresentazione pari a 1:50 circa. In generale si è cercato di semplificare il più possibile la geometria dei modelli per garantire la massima leggerezza della scena totale in previsione di popolarla con merce, banchi e persone con un alto numero di poligoni. La fase di modellazione è stata seguita dalla testurizzazione e illuminazione della scena, cercando di rendere un alto livello di realismo, applicando per esempio effetti di usura temporale. Il *set-up* dell'illuminazione è stato impostato cercando di mantene-

re il rapporto "realismo/tempi di *rendering*" il più possibile elevato. Il parametro su cui si è cercato di avere più attenzione possibile è stato il posizionamento del sole. Una volta orientata correttamente la scena rispetto agli assi cartesiani si è impostata la posizione del sole in base alla data e alle coordinate geografiche specifiche. Questo ha permesso di avere un'illuminazione coerente con gli anni in cui doveva essere ambientata la scena.

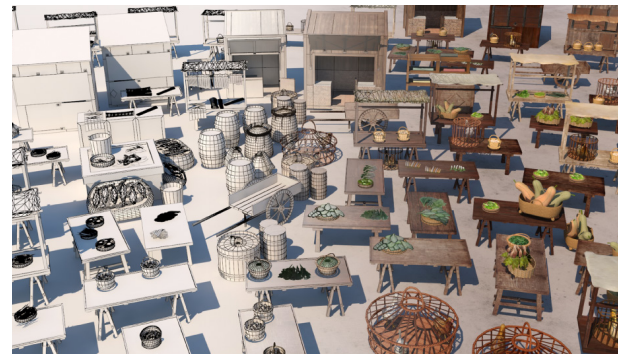
È da tenere presente che le fasi di modellazione sono state portate avanti avendo già ben chiaro quali *texture* sarebbero state applicate e dove; le geometrie alle quali sarebbero stati applicati diversi materiali sono state suddivise in livelli distinti. Le fotografie scattate *in loco* sono state elaborate per estrarre *texture* ripetibili e corrette cromaticamente, da applicare direttamente sui modelli digitali.

Le foto sono state elaborate con *software* di fotoritocco, per ottenere *seamless texture*, e sono stati generati e applicati profili ICC tramite *software* di profilatura colore per correggere le aberrazioni cromatiche dipendenti dalle condizioni ambientali al momento dello scatto. Si è cercato, quanto più possibile, di utilizzare sistemi standard di proiezione delle mappe quali la proiezione planare, cilindrica e triplanare, per velocizzare i tempi di *setting*. In alcuni edifici, aventi superfici molto ampie con un solo materiale, l'effetto ripetizione della *texture* era troppo pronunciato e si è scelto di adottare la tecnica dell'*unwrap* applicando *texture* ad alta risoluzione su tutta la facciata, come nel caso del palazzo della Mercanzia. Per aumentare ulteriormente il realismo sono stati applicati effetti di usura dovuti al passare del tempo quali colature, macchie di umidità,

Fig. 7. Texture layering.

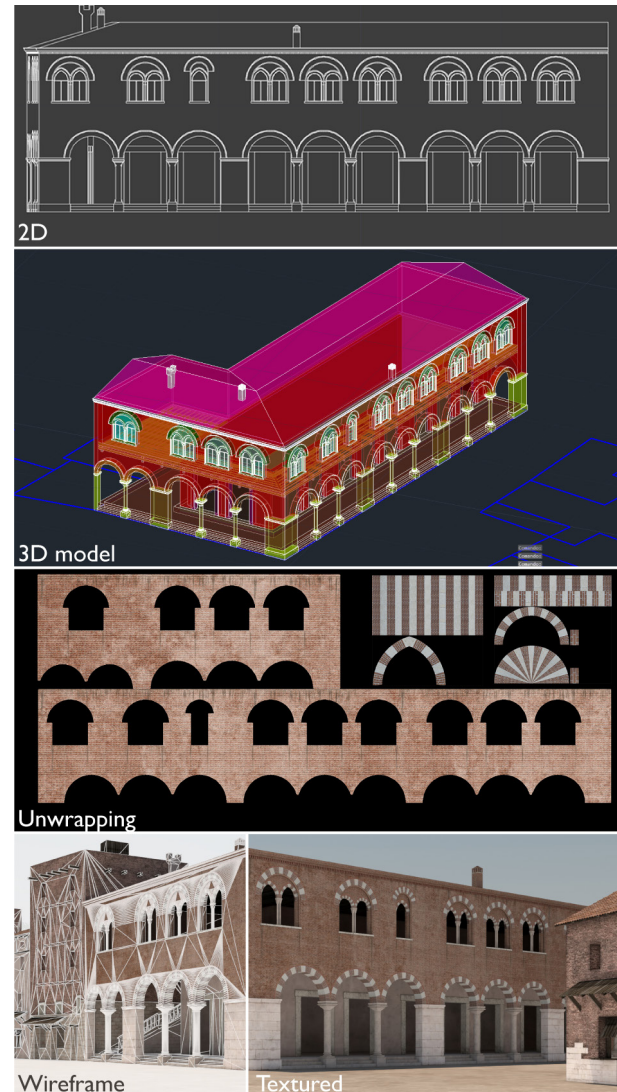


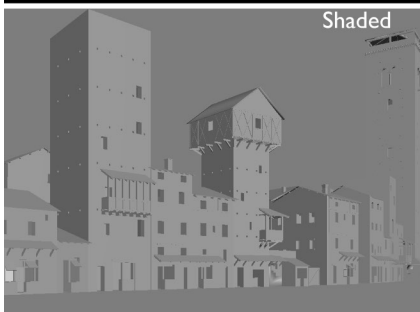
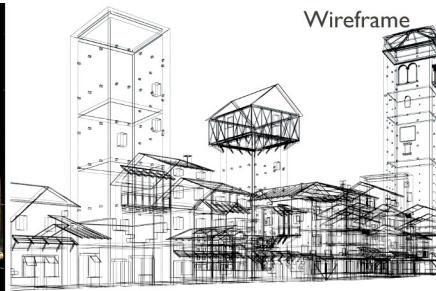
Fig. 8. Oggetti del mercato per la popolazione della scena.



efflorescenze saline. Per gli edifici sui quali si era scelto di utilizzare il sistema dell'*unwrap* delle *texture* si è potuto agire puntualmente aggiungendo colature ai lati dei davanzali, risalite di umidità dal basamento. Laddove invece si è optato per il *boxmapping* o il *planar mapping*, si è scelto di usare *multilayer material*, o *blendmaterial*, applicando come primo livello la *texture* originale, come secondo livello la stessa *texture* schiarita o scurita e occlusa parzialmente con mappe *dirt* in scale di grigi. Per mascherare in qualche misura l'effetto ripetizione dato dalla *texture* la mappa di occlusione è stata applicata con un *tiling* minore rispetto alla *texture*, e come ultimo livello un *layer dirt* che ha permesso di scurire le sporgenze e le rientranze generando un effetto sporco senza dover ricorrere all'*unwrap* di ogni edificio permettendo una velocizzazione consistente delle fasi di *texturing*. Infine per il *texturing* dei tetti, si è scelto di utilizzare un *multilayer material* con l'aggiunta di una mappa di *displacement* che simulasse la geometria delle tegole, in quanto andando a modellare le singole tegole i tempi di modellazione sarebbero aumentati esponenzialmente. Quasi in tutte le *texture* ad eccezione dei tetti si è scelto di integrare le informazioni di ruvidezza superficiale e di rilievo nel canale diffuse senza applicare mappe di *bump* o di *displacement*, per velocizzare i tempi di *rendering*. Lo step finale ha riguardato la produzione del video. I percorsi camera sono stati decisi in seguito alla redazione di uno *storyboard* e alla registrazione della voce narrante da parte delle coordinatrici del progetto. Questo ha reso possibile scandire con precisione il ritmo del video, permettendo di decidere i percorsi delle camere, sincronizzando i movimenti e i tempi con la voce narrante fuori campo. Anche in quest'ultima fase il confronto con gli storici ha permesso di definire insieme le scene e il montaggio finale del video. Una volta decisi e approvati i percorsi camera, si è passati al popolamento della scena con banchetti merci e persone in abiti medievali [20]. Il posizionamento degli oggetti, data la loro grande quantità e dettaglio, è stato fatto facendo attenzione alla posizione delle camere. In questa fase è stata eseguita anche una ripulitura delle geometrie superflue dalla scena e sono stati aggiunti edifici di riempimento per dare profondità agli scorci prospettici dei vicoli che arrivano sulla piazza e che sono inquadrati dalle camere. Sono stati, infine, renderizzati tutti i *frame* separatamente ad alta risoluzione. Ci si è avvalsi di cinquanta macchine in *network* per il *rendering* che ha richiesto trentacinque ore di calcolo totale. Le varie sequenze sono state montate in formato mp4 e passate ai professionisti incaricati della fase di montaggio ed *editing video*.

Fig. 9. Processo di *texturing*: dal modello 3D alla creazione della mappa mediante sistema *unwrap*.





Conclusioni

Il caso di studio è il risultato di un lavoro multidisciplinare in cui gli storici della città e gli architetti hanno lavorato insieme allo scopo di modellare una scena della vita quotidiana nella piazza del mercato di Verona nel Trecento.

La ricerca della documentazione storica e iconografica relativa all'epoca medievale è stata affiancata da un lavoro di interpretazione di queste informazioni, attraverso il quale si è cercato di rispondere alle esigenze della ricerca scientifica e ai metodi della modellazione e della visualizzazione tridimensionale per combinare aspetti divulgativi e accuratezza scientifica. La visualizzazione digitale come rappresentazione di un passato oggi non più esistente è una necessità comunicativa in cui le ricostruzioni virtuali diventano un mezzo per esperire un tempo altrimenti intangibile. Lo studio di piazza delle Erbe è stato presentato come espressione di una metodologia che ha avuto l'obiettivo di fornire una possibile risposta all'approccio multidisciplinare che caratterizza la ricerca sul patrimonio architettonico del passato in cui le ricostruzioni, se scientificamente supportate, diventano documenti trasparenti di contenuti trasmissibili. Il raggiungimento di questo obiettivo finale è ancora lontano, soprattutto quando la transizione dal singolo edificio al settore della scala urbana inserisce ulteriori gradi di incertezza e di complessità. Da un punto di vista disciplinare è tempo di considerare l'ambito delle ricostruzioni virtuali come una disciplina autonoma. Questo ci porterà necessariamente a trasformare la nostra

Fig. 10. Pagina precedente. Processo di modellazione 3D: dalla nuvola di punti alla scena popolata con oggetti e persone.

Fig. 11. Piazza delle Erbe: veduta aerea della ricostruzione virtuale.



attenzione verso lo sviluppo di una metodologia unificata e una documentazione completa nelle ricostruzioni virtuali, nello sviluppo di sistemi informativi basati sul web o di ambienti di ricerca virtuale in grado di garantire una certa qualità scientifica. Diversi gruppi di ricerca, come il *Digital Arbeitsgruppe Rekonstruktion* [21] istituito nel 2014, stanno lavorando sul tema della ricostruzione digitale del patrimonio culturale con l'obiettivo di creare una piattaforma di ricerca comune all'interno delle *Digital Humanities*. Lo scopo è affrontare le questioni della disambiguazione, della metodologia di lavoro, della documentazione e della conservazione dei progetti di ricostruzione digitale. Sforzi e esperienze che contribuiscono quotidianamente al conseguimento di vitali progressi.

Ringraziamenti

Si ringraziano le professoressa Francesca Bocchi e Rosa Smurra, storiche della città e coordinatrici del progetto, che hanno guidato il gruppo interdisciplinare composto anche da Michele Berretta, Silvia Bertacchi, Giacomo Brandolini, Luca Cipriani, Salvatore Corso, Filippo Fantini, Luca Grossi, Lorenzo Manzano, Andrea Notarstefano e Marco Orlandi.

Note

- [1] Reilly 1990.
- [2] ENSAM-IBM. 1992. *Virtual reconstruction of Cluny Abbey*.
- [3] Burns, Beltramini, Gaiani 1997.
- [4] Bocchi 1999; Bocchi 2004.
- [5] Koeller, Frischer, Humphreys 2009.
- [6] Kuroczyński, Hauck, Dworak 2014; Münster 2013.
- [7] Apollonio, Gaiani, Zheng 2013a.
- [8] Bentkowska-Kafel, Denard, Baker 2012.
- [9] *A project from an idea of R. Smurra (planning and general coordination); scientific in charge F. Bocchi, R. Smurra.*
- [10] <www.romereborn.virginia.edu> (consultato il 13 giugno 2017).
- [11] Dylla 2010.
- [12] *Assassin's Creed*, Ubisoft 2007; Hausar 2014.
- [13] Tra gli altri documenti iconografici utilizzati, si vedano: *Iconografia rateriana. Copy of Scipione Maffei*. Biblioteca capitolare, Cod. 106; *Piazza Grande di Verona*. Incisione, 1549; Ligozzi, P., *Verona città celebrima*. Incisione, 1630; *Prima Veduta della piazza detta Delle Erbe in Verona*. Incisione, 1747; Closs F., *Piazza D'Erbe*. Incisione, 1859; Barberis G., *Piazza Erbe*. Incisione, 1877; Catasto Austriaco, 1843-1852; Catasto Napoleonico 1807-1813, Archivio Storico del Comune di Verona.

[14] *Prima Veduta della piazza detta Delle Erbe in Verona*. Incisione, 1747.

[15] Catasto Austriaco, 1843-1852; Catasto Napoleonico 1807-1813; Archivio Storico del Comune di Verona.

[16] Statuti Comunali, redazioni 1276, 1327, 1393.

[17] *Piazza Grande di Verona*. Incisione, 1549.

[18] Arslan 1939.

[19] Apollonio, F.I., Gaiani M., Baldissini, S. 2011. A color processing for displaying reality-based three-dimensional digital models in RTR. In Rossi, M. (a cura di). *Colour and Colorimetry. Multidisciplinary contribution. Optics and Photonics Series Notebooks*, n. 21, vol. VIII, pp. 260-267. Rimini: Maggioli.

[20] Le figure umane, i negozi, i banchi, le verdure e i prodotti animali sono stati modellati da Michele Beretta.

[21] <<http://www.digitale-rekonstruktion.info/uber-uns/>> (consultato il 13 giugno 2017).

Autori

Fabrizio I. Apollonio, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, fabrizio.apollonio@unibo.it

Marco Gaiani, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, marco.gaiani@unibo.it

Federico Fallavollita, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, federico.fallavollita@unibo.it

Elisabetta C. Giovannini, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, elisabettacaterina.giovannini@unibo.it

Riccardo Foschi, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, riccardo.foschi2@unibo.it

References

Apollonio, F.I., Gaiani M., Zheng S. (2013a). Characterization of Uncertainty and Approximation in Digital Reconstruction of CH Artifacts. In *Le vie dei Mercanti. Heritage, Architecture, Landesign. Focus on Conservation, Regeneration, Innovation*, pp. 860-869. XI Forum Internazionale di Studi, Aversa-Capri, 13-15 giugno 2013. Napoli: La scuola di Pitagora editrice.

Apollonio, F.I., Gaiani M., Zheng S. (2013b). 3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of Architectural Heritage. In *XXIV International CIPA Symposium*, pp. 43-48. Strasbourg, 2-6 settembre 2013. Strasbourg: ISPRS.

Arslan, W. (1939). *L'architettura romanica veronese*. Verona: La Tipografia Veronese.

Bakker, G., Meulenbergh F., De Rode, J. (2003). Truth and credibility as a double ambition: reconstruction of the built past, experiences and dilemmas. In *The Journal of Visualization and Computer Animation*, vol. 14, n. 3, pp. 159-167.

Bentkowska-Kafel A., Denard, H., Baker D. (2012). *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. London: Ashgate Publishing.

Bocchi, F. (1999). Nuove metodologie per la storia delle città: la città in quattro dimensioni. In Bocchi F. (a cura di), *Medieval Metropolises, Proceedings of the Congress of Atlas Working Group*, pp. 11-28. Bologna, 8-10 maggio 1997. Bologna: Grafis.

Bocchi, F. (2004). The city in four dimensions: the Nu.M.E. Project. In *Journal of Digital Information Management*, vol. 2, n. 4, pp. 161-163.

Burns, H., Beltrami G., Gaiani M. (a cura di). (1997). *Andrea Palladio. Le ville*. CD Rom. Vicenza.

Dal Forno, F. (1973). *Casa e palazzi di Verona*. Verona: Banca Mutua Popolare di Verona.

Dylla, K., et al. (2010). Rome Reborn 2.0: A case study of virtual city recon-

struction using procedural modeling techniques. In Frischer, B., Crawford, J.W., Koller, D. (a cura di). *Making History Interactive. Proceedings of the 37th international Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, pp. 62-66. Williamsburg, Virginia, 22-26 marzo 2009. Oxford: Archeopress.

Hausar, G. (2014). Players in the Digital City: Immersion, History and City Architecture in the Assassin's Creed Series. In Winnerling T., Florian K. (a cura di). *Early Modernity and Video Games*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.

Hermon, S., Sugimoto, G., Mara, H. (2007). The London Charter and its Applicability. In *Future Technologies to Empower Heritage Professionals: VAST 2007*, pp. 11-14. Geneva: Eurographics Association.

Koller, D., Frischer, B., Humphreys, G. (2009). Research Challenges for Digital Archives of 3D Cultural Heritage Models. In *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 2, n. 3, pp. 1-17.

Kuroczyński, P., Hauck, O.B., Dworak, D. (2016). 3D models on triple paths – New pathways for documenting and visualising virtual reconstructions. In Münster S. et al. (a cura di). *3D Research Challenges in Cultural Heritage II – How to manage data and knowledge related to interpretative digital 3D reconstructions of Cultural Heritage*. Springer International Publishing LNCS Series, pp. 149-172.

Lenotti, T. (1954). *Piazza Erbe*. Verona: Edizioni di Vita Veronese.

Münster, S. (2013). Workflows and the role of images for virtual 3D reconstruction of no longer extant historic objects. In *24th International CIPA Symposium 2013*, pp. 197-202. Strasbourg, 2-6 settembre 2013. Strasbourg: ISPRS II-5/W.

Reilly, P. (1990). Towards a virtual archaeology. In *Computer Applications. In Lockyear, K., Rahtz, S. (a cura di). Archaeology*. Oxford: BAR International Series 565, pp. 133-139.