

LE DIGITAL HUMANITIES
PER LO STUDIO E LA COMUNICAZIONE
DI BENI CULTURALI ARCHITETTONICI: IL CASO
DEI MAUSOLEI DI TEODORICO E GALLA PLACIDIA IN RAVENNA

1. METODOLOGIE E FLUSSO DI LAVORO

L'interesse da parte di un gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara per i due monumenti ravennati di Teodorico e di Galla Placidia è nato dal desiderio di indagare sulle ragioni della loro forma, delle misure, delle proporzioni e delle eventuali caratteristiche archeoastronomiche attraverso lo specifico disciplinare del rilievo e del disegno. Entrambi gli edifici nel passato sono stati oggetto di un ampio numero di studi, molti dei quali di grande spessore, che ne hanno analizzato le caratteristiche storiche, formali, artistiche, tecnologiche, anche grazie alle diverse campagne di rilievo e di restauro che si sono succedute nel tempo (RICCI 1914; DE ANGELIS D'OSSAT 1962; HEIDENREICH, HEINZ 1971; IANNUCCI 1995; NOVARA 2013).

L'avvento delle tecnologie digitali permette oggi sia di aggiungere nuove conoscenze (ADEMBRI *et al.* 2016), sia di proporre nuovi modelli comunicativi e divulgativi, mettendo a sistema le competenze di rilevatori, storici ed esperti della comunicazione multimediale. Le potenzialità dei prodotti digitali quali strumenti di insegnamento non formale consentono nel nostro tempo una fruizione dei contenuti, pur se stratificati e complessi, più accattivante, efficace, intuitiva e personalizzabile.

Il flusso di lavoro seguito nel corso della ricerca, funzionale agli obiettivi conoscitivi e divulgativi, è sinteticamente descritto nella Fig. 1, che delinea le relazioni spaziali e temporali delle diverse fasi e le relative connessioni reciproche.

– Acquisizione dei dati: raccolta dei dati della campagna di rilievo integrata (laser scanner, campagna fotografica di tipo generale, riprese fotografiche per fotogrammetria digitale) e ricerca dei dati storici, bibliografici e iconografici.
– Processamento dei dati: trattamento dei dati di rilievo che, com'è noto, avviene a posteriori e non necessariamente ad opera di chi ha eseguito i rilievi sul campo (registrazione delle scansioni, generazione della nuvola di punti, elaborazione delle fotogrammetrie digitali). Segue l'estrazione dei dati finalizzata alle restituzioni 2D e la loro realizzazione (piante, prospetti, sezioni), la costruzione del data-base delle ortofoto e delle texture necessarie per le restituzioni materiche. I dati testuali e iconografici vengono selezionati ed elaborati ai fini dell'analisi critica.

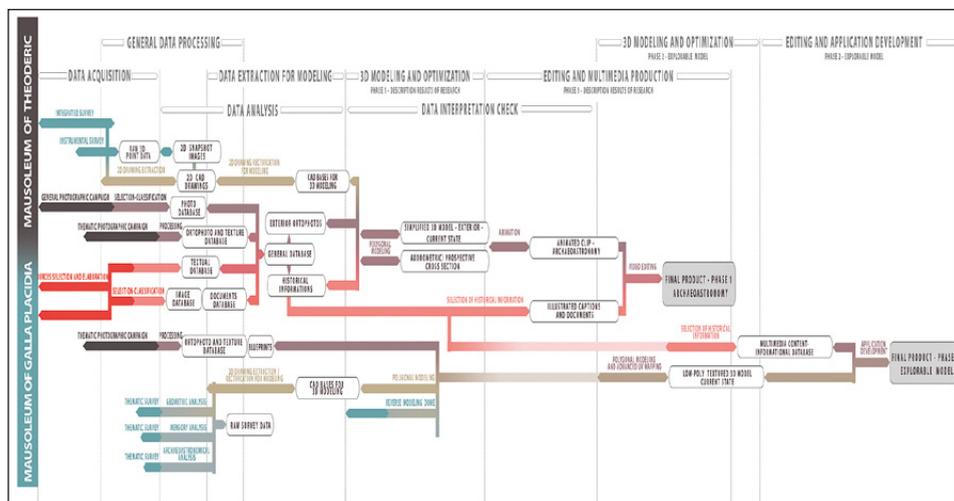


Fig. 1 – Schema del flusso di lavoro (immagine a cura di S. Iurilli, rielaborazione di M. Incerti).

- Analisi dei dati 2D: vengono formulate le prime ipotesi interpretative sulla forma, sulla geometria, sull'unità mensoria e sulle eventuali implicazioni astronomiche (condotte sulla base dei disegni CAD2D).
- Estrazione dei dati per la costruzione del modello: i dati 2D vengono ottimizzati per la realizzazione dei diversi modelli 3D.
- Modellazione 3D e ottimizzazione dei dati: vengono prodotti dei modelli ottimizzati per le diverse finalità della ricerca, dalla lettura critica alle esigenze della divulgazione.
- Analisi e verifica dei dati sui modelli 3D: alcuni aspetti dell'indagine, per esempio lo studio delle ragioni proiettive del cielo stellato presente nella volta di Galla Placidia, o l'esistenza di effetti luminosi con valore archeoastronomico all'interno dei due edifici, si avvalgono anche delle potenzialità dei modellatori e dei motori di render utili alla simulazione del percorso della luce all'epoca di costruzione (INCERTI *et al.* 2018).
- Editing e produzione multimedia: i video di studio vengono resi disponibili al pubblico attraverso una interfaccia appropriata, capace di favorire una fruizione semplificata dei contenuti scientifici.
- Editing e produzione applicazioni: nell'esperienza del gruppo di ricerca c'è infine anche la produzione di applicazioni interattive (non ancora realizzate per questi due casi), come momento più alto della comunicazione, in grado di coinvolgere e di rendere protagonista il visitatore nel suo percorso di conoscenza.

M.I.

2. IL RILEVAMENTO E LA RESTITUZIONE DEI DATI

L'impiego degli attuali strumenti di rilevamento a sensori attivi e passivi consente ormai da anni di documentare in modo meticoloso ed esaustivo manufatti architettonici anche molto complessi. Nell'ambito dei beni culturali, in particolare, l'impiego di tali dispositivi per l'acquisizione di dati metrici, geometrici e cromatici diviene una scelta quasi obbligatoria nel momento in cui si intenda descrivere con la necessaria accuratezza e precisione edifici storici di vaste dimensioni, caratterizzati da impianti decorativi rilevanti, interessati da fenomeni degenerativi importanti o più semplicemente di difficile accesso e fruizione.

Nel caso specifico dei due mausolei ravennati di Teodorico e di Galla Placidia l'impiego di uno scanner Faro Focus3D ha permesso l'acquisizione completa dei dati metrici relativi ai due manufatti mediante un numero sufficientemente ridotto di scansioni (nel primo caso si sono rese necessarie 30 stazioni, nel secondo 23) effettuate in poche giornate di lavoro. Le point cloud così prodotte sono risultate tanto dense e prive di considerevoli zone d'ombra (le uniche occlusioni presenti consistevano nell'oggetto piuttosto contenuto di alcune mensole e cornici) da rendere di fatto non necessaria qualsiasi altra operazione integrativa di rilievo diretto, nemmeno per le modanature più complesse.

L'utilizzo di target sferici debitamente posizionati all'interno della scena ha consentito la successiva registrazione delle scansioni in modo semi-automatico mediante il software di gestione dati Scene, senza l'appoggio di una rete topografica di riferimento, con un evidente snellimento delle procedure e una riduzione dei tempi, ma senza alcuna compromissione dell'esattezza della misurazione.

Per entrambi gli edifici al prelievo del dato metrico sono state associate due campagne fotografiche (una relativa agli interni, l'altra agli esterni) al fine di produrre, attraverso la fotogrammetria digitale, un modello tridimensionale texturizzato dei due manufatti architettonici. Per il Mausoleo di Teodorico è stata impiegata una macchina compatta Lumix DMC-TZ7 per le riprese esterne e una reflex digitale su cavalletto per quelle interne, in ragione delle differenti condizioni di illuminazione. Per il Mausoleo di Galla Placidia i 459 scatti sono stati eseguiti con una camera digitale SLR su cavalletto. All'interno di un processo di rilevamento di questo tipo, l'introduzione del dato cromatico assume una particolare importanza proprio in relazione alle caratteristiche peculiari degli edifici documentati. In particolare per il Mausoleo di Galla Placidia la fotogrammetria digitale e l'estrazione di fotopiani eseguiti *ad hoc* hanno permesso la corretta documentazione dei mosaici che rivestono, senza soluzione di continuità, l'intradosso di tutte le volte di copertura. Tale aspetto, assolutamente non secondario nella definizione dello spazio interno del luogo sacro, ha reso possibili, tra l'altro, anche le successive letture interpretative dell'apparato

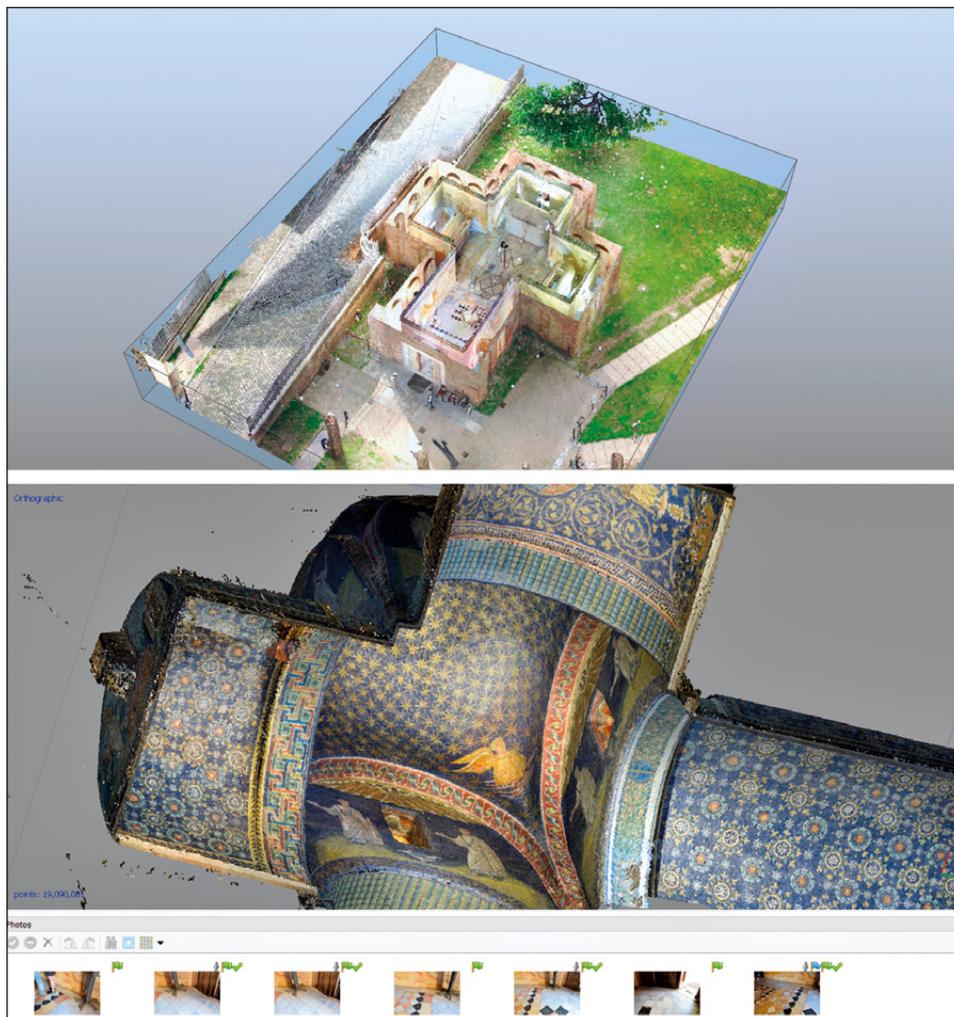


Fig. 2 – Mausoleo di Galla Placidia, sopra: screenshot della nuvola di punti, scanner Faro Focus 330, software Scene 6.2, rilievo (6/03/2017) ed elaborazione dati M. Incerti; sotto: le texture delle volte mosaicate realizzate mediante fotogrammetria digitale (interno: 212 foto, 90 targets; rilievo ed elaborazione dati M. Incerti).

musivo, associando all'alta definizione delle immagini prodotte l'esattezza dimensionale ottenuta mediante le procedure di rilevamento con scanner laser.

Le problematiche inerenti le operazioni di ripresa fotografica sono state legate essenzialmente alle difficili condizioni luminose degli interni (particolarmente bui, ma con lame luminose provenienti dalle aperture in grado di generare

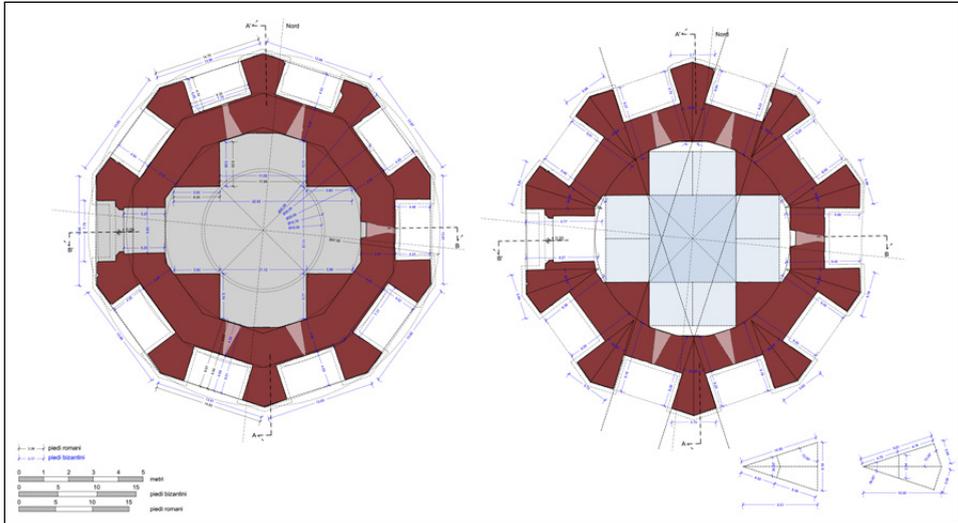


Fig. 3 – Mausoleo di Teodorico, pianta a quota + 1,20 m (a cura di G. Lavoratti). Nel Mausoleo di Teodorico si può ipotizzare che la struttura si basi sull'uso del decagono. Un'interessante qualità geometrica di questa figura è quella di essere scomponibile in 10 triangoli isosceli i cui angoli alla base misurano 72° e quello superiore la loro metà, cioè 36° . Proprio a questi triangoli isosceli possono essere ricondotti i 10 possenti pilastri esterni.

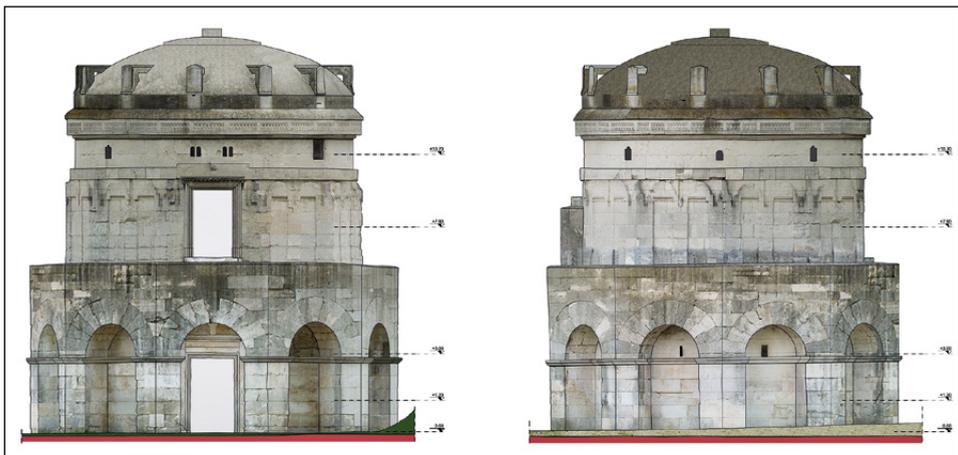


Fig. 4 – Mausoleo di Teodorico, restituzione materica dei prospetti O e N (G. Lavoratti).

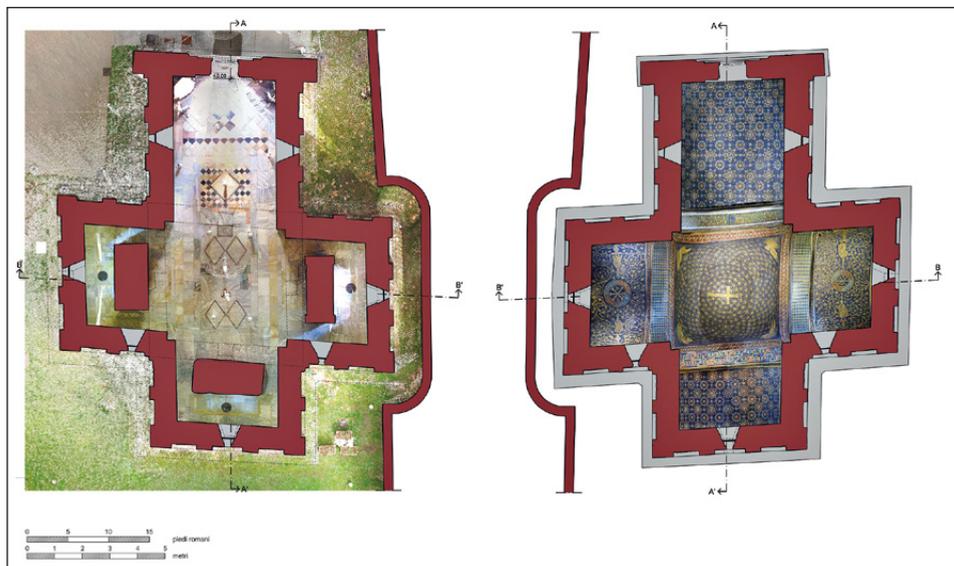


Fig. 5 – Mausoleo di Galla Placidia, a sinistra: pianta a quota + 1,20 m; a destra: pianta delle volte alla medesima quota (G. Lavoratti e M. Incerti).

forti controluce e ombre nette), alla presenza di vegetazione o strutture accessorie in spazi ridotti prossimi all'edificio e alle caratteristiche di riflessione di alcune superfici (come i mosaici dorati del Mausoleo di Galla Placidia).

L'utilizzo di un drone, non disponibile durante le due campagne di rilievo, avrebbe consentito anche la documentazione delle coperture e delle porzioni non visibili dai differenti piani di calpestio. Grazie però alla possibilità di continua implementazione del dato che caratterizza il metodo utilizzato non è escluso che tale informazione possa essere successivamente integrata. Alle operazioni di acquisizione sono seguite le fasi di processamento e restituzione, che hanno consentito di estrapolare, parallelamente ad elaborati "tradizionali" bidimensionali e fotopiani, anche modelli tridimensionali texturizzati (Fig. 2).

Sulla point cloud sono stati pertanto impostati piani orizzontali e verticali al fine di ottenere piante, prospetti e sezioni passanti per punti significativi dei due edifici. Per ciascun piano di taglio sono stati estratti una slice sottile (spessore 10 mm) e un adeguato numero di screenshot della nuvola ad alta definizione. La scelta di utilizzare slice di spessore così ridotto per ottenere sezioni comunque precise e sufficientemente particolareggiate è stata possibile proprio grazie alla particolare densità delle point cloud, che hanno fornito un alto grado di dettaglio anche sulle modanature. Le slice, importate in CAD, hanno consentito la restituzione delle linee di sezione per ribattitura ed

interpolazione dei punti delle nuvole in scala 1:1. Gli screenshot, mosaicati tra loro e importati nel medesimo ambiente vettoriale per la ribattitura degli elementi in proiezione, hanno permesso un ulteriore controllo sulla dimensione e sulle eventuali deformazioni dei fotopiani (riferiti agli stessi piani di taglio utilizzati per estrarre le slice importate in ambiente CAD, in modo da garantire l'esatta sovrapposizione con i dati ribattuti) prodotti mediante software di fotomodellazione digitale.

I file vettoriali così ottenuti sono stati esportati in scala 1:50, importati in un software di gestione della grafica raster e sovrapposti ai fotopiani, ottenendo così gli elaborati finali bidimensionali (Figg. 3-5).

G.L.

3. L'ANALISI GEOMETRICA, METROLOGICA E ARCHEOASTRONOMICA

Nel corso della ricerca sono state oggetto di indagine e approfondimento alcune questioni che concernono gli elementi dell'architettura connessi con la forma, le misure, gli orientamenti e la luce; i dati storici raccolti nella prima fase hanno dunque costituito la premessa necessaria per la verifica dell'autenticità e della datazione degli elementi coinvolti nell'analisi.

La lettura critica delle misure di rilievo, condotta sugli elaborati in ambiente CAD, ha consentito di evidenziare per il Mausoleo di Teodorico la presenza di un progetto geometrico che ha governato il controllo delle misure generali dell'architettura basate sul piede bizantino (INCERTI, LAVORATTI 2016). Iniziando l'analisi dal piano terra, la pianta sembra infatti costruita sulla base di una serie di circonferenze con raggio di misura "tonda" in cui sono inscritti dei decagoni concentrici (Fig. 3): il diametro del cerchio in cui è inscritto il decagono più esterno è pari a 45 piedi bizantini (pb), il filo interno delle nicchie sul lato esterno corrisponde al decagono inscritto nel cerchio di diametro 35 pb e il diametro del cerchio inscritto nello spazio più interno del piano terreno (a sua volta riconducibile alla figura decagonale) misura 25 pb. Anche per il Mausoleo di Galla Placidia è stato possibile mettere in risalto le ragioni geometriche delle anomalie di un impianto che pare invece basarsi su una griglia di 1 piede romano (Fig. 6).

I due edifici sono inoltre stati oggetto di ricerche archeoastronomiche da parte di Giuliano Romano che ne ha misurato gli orientamenti (ROMANO 1995): a partire dalle premesse contenute nel suo scritto sull'architettura sacra ravennate, sono state formulate, e in seguito vagliate, alcune ipotesi inerenti le conoscenze astronomiche eventualmente possedute dagli antichi costruttori. Il Mausoleo di Teodorico (Azimut 84,5°) è leggermente ruotato di 5,5° rispetto alla direzione equinoziale, quantità certamente non trascurabile nel corso delle operazioni di allineamento. Nonostante questa apparente irregolarità e approssimazione della direzione del suo asse principale, è parso comunque

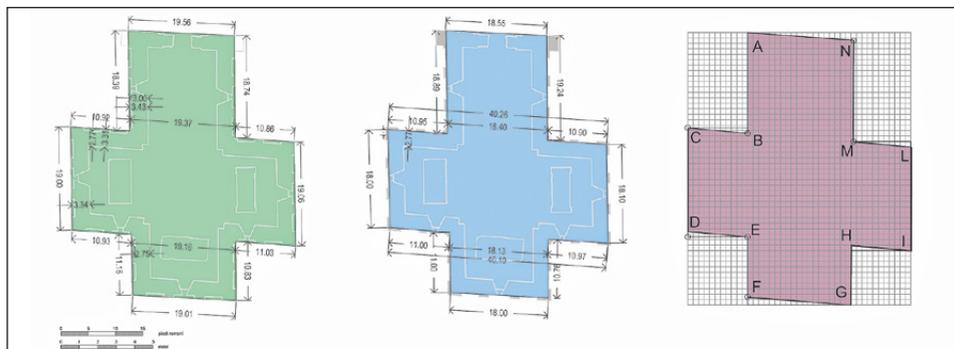


Fig. 6 – Mausoleo di Galla Placidia, lo schema di tracciamento della pianta basato su una griglia di 1 piede romano.

interessante un approfondimento sulle possibili conseguenze di questo dato. Lo studio ha portato in evidenza non solo possibili ragioni dell'orientamento del corpo di fabbrica, ma anche della presenza di effetti di luce in alcune date importanti dell'anno liturgico e astronomico (INCERTI *et al.* 2016, 2017). Anche nel caso del Mausoleo di Galla Placidia è forse possibile ricondurre le anomalie del tracciamento degli assi, non ortogonali tra di loro, ad una precisa volontà compositiva: l'azimut longitudinale ha un orientamento NS ($180,2^\circ$) decisamente singolare rispetto agli altri edifici bizantini di Ravenna; il transetto non è ortogonale alla navata, avendo infatti un orientamento di $94,3^\circ$. La ragione della rotazione tra le due direzioni, rigorosamente controllata grazie alla griglia ortogonale già citata, non può a nostro giudizio essere casuale. Infine, utilizzando ancora una volta i disegni CAD, è stato possibile individuare anche per questo edificio alcuni effetti di luce forse intenzionalmente creati (INCERTI *et al.* 2018).

Sulla base di questi dati inerenti aspetti qualitativi dell'architettura, a seguire sono stati prodotti dei modelli tridimensionali funzionali all'approfondimento delle caratteristiche morfologiche delle superfici più complesse, alla verifica degli aspetti archeoastronomici e alla comunicazione delle conoscenze acquisite.

M.I.

4. I MODELLI DI STUDIO: IL CASO DEL MAUSOLEO DI GALLA PLACIDIA

Lo studio del Mausoleo di Galla Placidia ha rappresentato un'interessante occasione di confronto con le opportunità oggi offerte dalla modellazione digitale.

La disponibilità di un insieme complesso di dati – dimensionali, geometrici e ambientali – provenienti dal rilievo precedentemente realizzato, ha richiesto non solo continue verifiche delle informazioni materiali raccolte, ma ne ha

reso necessaria anche una reinterpretazione formale costantemente aggiornata. Tra le esigenze primarie di una ricerca infatti, soprattutto quando l'oggetto di studio si presenta così ricco di riferimenti, non può non esserci l'estensione dell'indagine stessa ad una visione ampia e totalizzante: tale è stata inizialmente la ragione che ha indotto la costruzione del modello digitale del mausoleo.

Risolta la scelta dei software applicativi più idonei, si è trattato anzitutto di ricostituire virtualmente i connotati geometrici e mensuri in un'immagine discretizzata, per dotarsi di uno strumento d'analisi indubbiamente più agile, senza con ciò inficiarne la capacità descrittiva: la restituzione tridimensionale ottenuta, per quanto alleggerita di tutta una serie di elementi "accessori", è risultata in effetti assolutamente efficace finanche nello studio dei tratti formali più peculiari dell'edificio. L'essenzialità del modello digitale, l'immediatezza e la rapidità della sua consultazione hanno d'altronde supportato alcune tra le fasi sostanziali dello studio condotto sul monumento a Galla Placidia. A titolo d'esempio si richiama qui il disegno planimetrico, in particolare il caratteristico slittamento che, lungo l'asse longitudinale, riportano le due rispettive porzioni del fabbricato, quella orientale e quella occidentale.

Questa apparente irregolarità dello schema distributivo determina una serie di adattamenti nelle geometrie delle coperture interne: se infatti tutte le quattro volte a botte dei bracci della croce latina ripropongono, durante la loro restituzione volumetrica, tale condizionamento formale, la cupola centrale ne diventa l'elemento certamente più rappresentativo. Il suo rilievo ha infatti riprodotto una base d'imposta tendenzialmente rombica, nonché profili verticali piuttosto variabili. L'uso del modellatore ha così permesso di implementare l'azione di controllo proprio di queste difformità: se da un lato si è potuto verificare, in tempi molto brevi, la plausibilità di ogni ipotesi ricostruttiva circa l'organismo cupolare – ipotesi sempre affini ai dati materiali rilevati – non meno cruciale è stata l'opportunità di risolvere tali riscontri in totale sincronia con la restituzione dell'intero manufatto. Si sono pertanto potute agevolmente ipotizzare, per quanto attiene alla cupola, forme geometriche generative che ne attestassero la singolarità, grazie appunto al sistematico raffronto tra le rappresentazioni bidimensionali delle risultanze metriche a disposizione e la loro riproposizione tridimensionale.

Un altro passaggio chiave nella modellazione tridimensionale del Mausoleo di Galla Placidia è coinciso con la conformazione degli innesti tra i due differenti livelli di murature, quelle inferiori dei bracci e quelle superiori del corpo centrale contenente la cupola. Proveniente ancora dalla struttura planimetrica descritta, la rotazione relativa tra questi due livelli parietali, ancorché minima, ingenera soluzioni di raccordo tra i piani di copertura tutt'altro che elementari: la corrispondente definizione digitale, simulativa, ha tentato allora di chiarire i rapporti di planarità che presumibilmente si instaurano tra i tetti a falde dei quattro bracci della croce.

Da quanto appena rammentato, se pur succintamente, possiamo constatare che tutt'oggi la modellazione tridimensionale assistita ricopre un ruolo non semplicemente strumentale ma nondimeno investigativo. Questa ricerca sul Mausoleo di Galla Placidia ne ha dato conferma, palesando tutte le utilità proprie della rappresentazione digitale, a partire dalla possibilità di affrontare le sequenze analitiche di un'indagine, al contempo gestendone le complessità in una visione globale.

S.D'A.

5. IL REVERSE MODELING IN ARCHITETTURA: IL CASO DELLA CUPOLA DI GALLA PLACIDIA

L'insieme delle operazioni necessarie a comprendere e ricostruire un modello virtuale architettonico a partire dal modello reale vanno sotto il nome di reverse modeling. In questa ricerca, attraverso il caso studio della cupola del Mausoleo di Galla Placidia, si vuole disquisire sulla definizione del metodo di reverse modeling applicato all'architettura (MIGLIARI 2004).

Dall'analisi del rilievo laser scanner, attraverso la costruzione di un modello mesh ottenuto triangolando la nuvola di punti, è possibile realizzare un primo modello tridimensionale (modello quantitativo), basilare per condurre analisi di maggior dettaglio della geometria con la quale il manufatto è stato costruito. In base alla finalità del lavoro, il modello mesh iniziale può essere più o meno coerente con il modello finale. La coerenza, tuttavia, può essere di tipo formale (la forma finale è aderente a quella iniziale) o di tipo sostanziale (la geometria individuata e il processo costruttivo sono coerenti con quelli utilizzati per costruire l'architettura reale). Da questa seconda osservazione si evince che per la definizione di reverse modeling la descrizione del processo è importante quanto il risultato finale.

Da quanto sin qui descritto si possono evincere alcuni postulati:

- ogni elemento architettonico è il risultato di una serie di operazioni geometriche (algoritmo generativo) che, da un insieme limitato di dati di input, produce una serie di dati di output (forma finale);
- la qualità di un algoritmo generativo può essere descritta dal rapporto tra la quantità di dati di input e quelli di output. Un processo che ha pochi dati di input, ma produce ampie raccolte di dati di output (riducendo quindi i “costi”), può essere definito come un processo ottimizzato;
- nello studio dell'architettura storica, a partire dall'osservazione della “forma finita”, la selezione dei dati di input e l'ottimizzazione dell'algoritmo generativo descrivono il processo di reverse modeling.

Questi postulati delineano tre tipi di verifica del processo:

- verifica geometrica: si conduce sovrapponendo il modello ottenuto attraverso l'algoritmo generativo al modello quantitativo ottenuto dalla campagna di rilievo;

- verifica procedurale: si procede alla valutazione qualitativa dell’algoritmo verificandone la continuità logica;
- verifica di contesto: valutazione della coerenza tra il processo descritto e le tecniche costruttive del manufatto.

Da ciò si deduce che processi che rispondono in modo equilibrato alle tre verifiche hanno una maggiore qualità e possono essere definiti di reverse modeling.

La cupola centrale del Mausoleo di Galla Placidia è costituita da una geometria complessa di difficile interpretazione. L’assenza di membrature architettoniche e la caratteristica smussatura degli spigoli rendono ardua l’individuazione delle generatrici e delle direttrici delle superfici che la caratterizzano. Analizzando il modello mesh ottenuto dai dati laser scanner, si osserva che le sezioni orizzontali della cupola (intersezioni con piani perpendicolari all’asse) presentano un andamento incerto. Quelle realizzate alla quota dell’imposta appaiono come quadrilateri (parallelogrammi) con i vertici arrotondati; quelle in prossimità del colmo sono perfettamente circolari.

Diversamente dalle classiche cupole emisferiche poggianti su quattro pennacchi, questa sembrerebbe costituita da un’unica superficie continua, ottenuta mediando tra il parallelogramma del tamburo e la sezione circolare della sommità cupola.

Date queste osservazioni, l’ipotesi di processo formulata è stata la seguente:

- le generatrici della cupola variano lungo la superficie, ma trovano la loro origine nelle direzioni imposte dal tamburo. Perciò, realizzando 4 segmenti paralleli ai lati del tamburo della cupola, questi sono stati raccordati con un arco di cerchio;
- queste generatrici sono state fatte scorrere lungo le direttrici rappresentate dalle sezioni ottenute da piani paralleli a due a due alle generatrici stesse e passanti per l’asse della cupola;
- nello scorrere, le generatrici sono state fatte variare sia aumentando i raggi di curvatura dei raccordi sia arcuando i segmenti fino al colmo in prossimità del quale i segmenti e i raccordi degenerassero in una circonferenza.

Verificando il processo appena descritto si evince che:

- verifica geometrica: l’aderenza della superficie ottenuta mediante l’algoritmo con quella del rilievo è buona, le discrepanze sono minime;
- verifica procedurale: il processo generativo non è ottimizzato. Infatti i dati di input sono molti (ad esempio la variazione dei raggi di raccordo non è lineare);
- verifica di contesto: non si hanno informazioni dal punto di vista costruttivo (la cupola è rivestita di mosaici e non si vede l’apparato). Sicuramente, le continue variazioni delle sezioni complicano il tracciamento della calotta nello spazio. Inoltre, date le analisi condotte sulle tecniche proiettive utilizzate

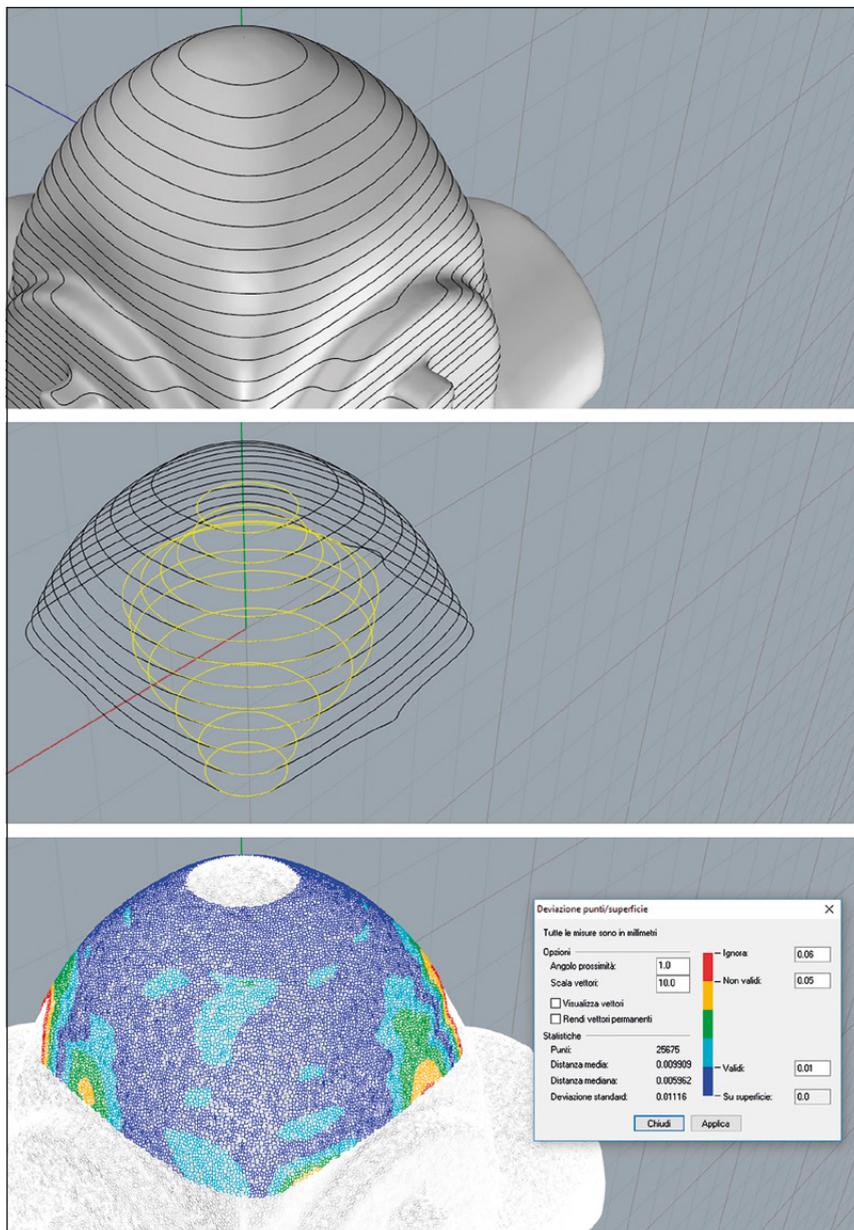


Fig. 7 – Mausoleo di Galla Placidia, dall'alto in basso: modello mesh della cupola con sovrapposte le sezioni orizzontali; sezioni con sovrapposte circonferenze in corrispondenza dei raccordi; sovrapposizione tra il modello mesh e il modello ottenuto attraverso il reverse modeling (S. Giannetti).

per decorare la cupola, si evince che le conoscenze geometriche del tempo permettevano un'ottimizzazione maggiore dei processi.

Date le analisi condotte e le verifiche si può dire che il processo generativo individuato, per quanto apparentemente ci consegna una forma molto coerente con quella costruita, non riesce ad essere sufficientemente ottimizzato, caratterizzandosi più come processo di best-fitting che di reverse modeling vero e proprio (Fig. 7).

S.G.

6. IL MODELLO PER LA COMUNICAZIONE DIGITALE

I rilievi avanzati e gli studi condotti sui due edifici ravennati hanno generato letture ed esiti di varia natura editi in alcuni contributi di tipo scientifico citati nei riferimenti bibliografici. Insieme ai canali istituzionali tradizionalmente utilizzati in ambito accademico (convegni, riviste, libri), il nostro gruppo di ricerca da qualche tempo si pone il problema della comunicazione e della divulgazione dei contenuti scientifici attraverso la produzione di modelli digitali – esplorabili e interrogabili – quali contenitori di informazioni complementari ed eterogenee (INCERTI, IURILLI 2014, 2015, 2016).

Negli ultimi anni gli studi sulle nuove modalità di comunicazione multimediale, basate sulla fruizione immersiva e interattiva di spazi virtuali, e la diffusione degli schermi touch hanno aperto la strada all'adozione di nuovi sistemi di supporto alle visite dei siti di interesse culturale e degli spazi museali. I più grandi e importanti poli museali del mondo stanno sostituendo le tradizionali audioguide e le postazioni video fisse con filmati multimediali e innovative guide audio-video interattive, che permettono una fruizione dei contenuti più efficace e personalizzabile. L'uso attento e consapevole sia della grafica sia delle immagini proposte (statiche o dinamiche) è un tema centrale nella definizione di questi prodotti comunicativi (CARACENI 2012; GAIANI 2012; ADDISON *et al.* 2013; TORRES *et al.* 2015).

I modelli 3D digitali realizzati per i due mausolei ravennati, già di per sé supporti utili ad indagare aspetti morfologici, materiali, iconografici e conservativi, potenzialmente esplorabili attraverso uno schermo, costituiscono inoltre delle sorte di “database visuali”, adatti a rendere facilmente fruibili dati complessi a causa della loro natura astratta quali: geometrie, sistemi sensoriali, relazioni fra gli elementi dell'architettura, caratteristiche archeoastronomiche, rapporti iconografici (si pensi solo ai possibili confronti tra i cieli stellati mosaicati coevi: RANALDI 2011).

In particolare, i videoclip di tipo narrativo costituiscono senza dubbio uno strumento decisamente immediato e incisivo grazie alla sinergia di immagini, suoni e testi, capaci di favorire la trasmissione di contenuti ricchi e variegati. A questo proposito, per agevolare la comprensione dei fenomeni



Fig. 8 – Mausoleo di Teodorico: modello e render dell'edificio con la simulazione della luce all'interno della cella superiore (S. Iurilli).

luminosi che avvenivano all'interno dei due piccoli spazi sacri, sono stati realizzati due modelli completi (interno ed esterno) in modo da poter simulare il percorso della luce in alcune date significative dell'anno astronomico e liturgico.



Fig. 9 – Mausoleo di Galla Placidia: simulazione della luce sull'antico pavimento posto alla quota di -1.40 m rispetto al livello attuale (S. Giannetti).

Il modello del Mausoleo di Teodorico, specificatamente, è costituito da una mesh quadrangolata (quad modeling), texturizzata con metodo UV mapping a partire dagli ortofotopiani estratti dal rilievo SFM. Il modello, ottimizzato anche in previsione di un suo uso in applicazioni real time, è stato rigorosamente orientato secondo i dati forniti dal rilievo e, in seguito, illuminato da una luce di tipo direzionale, utile a simulare la sorgente solare (raggi paralleli). A partire dalle coordinate dell'astro precedentemente individuate in ambiente CAD (azimut e altezza) e dalle effemeridi astronomiche (data e orario), è stato costruito un percorso animato che riproduce il movimento del sole all'interno dello spazio sacro durante i solstizi e gli equinozi (Figg. 8 e 9). Questa fase di lavoro (rendering e animazione) è utile non solo per la realizzazione di materiale multimediale divulgativo, ma anche come momento di verifica dei calcoli astronomici effettuati, nonché della coerenza di tutti gli elaborati tra loro (2D e 3D).

M.I.

7. L'ARCHITETTURA E LA SUA COMUNICAZIONE DIGITALE

La città di Ravenna si presenta al visitatore con un sito web strutturato in maniera classica (<http://www.turismo.ra.it/ita/Homepage>) il cui ultimo aggiornamento risale al 2014. L'aspetto culturale – che qui interessa – s'intreccia con altre attrazioni del territorio, quali le spiagge e la natura. La possibile fruizione degli importanti monumenti della città è indicata nelle pagine dedicate a ciascun edificio e l'informazione viene completata con le viste panoramiche degli stessi con foto a 360° (realizzate nel 2001).

Arrivando sul sito dei due monumenti di cui si tratta in questo scritto (il Mausoleo di Teodorico e il Mausoleo di Galla Placidia), si trova ben poco che racconti, descriva e spieghi in maniera esaustiva le caratteristiche delle

architetture a cui ci avviciniamo. I dati raccolti con le campagne di rilievo e gli studi redatti sulla base di questi rilievi hanno prodotto una serie di elementi interessanti non solo in ambito strettamente scientifico, ma anche da riproporre ai visitatori. Il processo di trasmissione di tali saperi s'inserisce all'interno di diversi aspetti del "vivere" le città e i monumenti in esse contenuti e da esse tutelati.

Nell'era delle Digital Humanities sembra essere fondamentale porsi il problema di una comunicazione del bene attraverso tecniche informatiche di qualità, utili per fruitori di diversa estrazione, cultura, età, interessi, etc. L'Informatica Umanistica, ovvero il racconto di oggetti di studio di discipline umanistiche attraverso metodi e strumenti propri dell'informatica, è ormai in piena diffusione. L'impatto culturale ed economico per il territorio non è trascurabile, tanto che si prospettano nuove figure professionali atte ad organizzare questo aspetto dei beni culturali. La "novità" riguarda l'Italia; all'estero – ad esempio in Inghilterra dove il concetto di Digital Humanities è nato – gli studi specifici riguardanti la ricerca in materie delle scienze umane con applicazioni tecnologiche hanno una certa tradizione. L'architettura rientra nelle scienze umane, anche se l'argomento dei beni culturali architettonici ha preso piede più recentemente e in situazioni temporanee (mostre); la questione si è posta poi a livello museale, dovendo quindi affrontare altri tipi di interrogativi sulla fruibilità e la deperibilità/durabilità nel tempo del materiale digitale prodotto. Ad esempio l'Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale (AIUCD) costituita nel 2011 tratta temi interessanti, ma l'aspetto strettamente architettonico non ha (ancora) uno spazio definito. Dalla crescente esigenza di linee guida per la realizzazione degli apparati digitali di comunicazione è nata la Carta di Londra (<http://www.londoncharter.org/>) per la visualizzazione digitale dei beni culturali (2008) a cui, nel 2011, si è affiancata la Carta di Siviglia (<http://smarthheritage.com/seville-principles/seville-principles>) come riferimento per il Patrimonio Archeologico, mentre un lavoro simile per l'architettura ancora non è stato redatto (BRUSAPORCI, TRIZIO 2013).

Il gruppo di ricerca ha realizzato per il Mausoleo di Teodorico una prima versione di modello del bene inserito in un sistema che attiva video descrittivi delle sue caratteristiche arqueoastroonomiche (INCERTI *et al.* 2016). I dati raccolti su questo monumento permetterebbero di creare un apparato interattivo, interrogabile, scientificamente rilevante e competitivo sul piano comunicativo (e dunque anche economicamente vantaggioso per il territorio e la manutenzione del bene).

Cerchiamo di capire ora se il materiale già a disposizione sia conforme ai 6 principi della Carta di Londra così da garantire integrità intellettuale, affidabilità, chiarezza nella documentazione, sostenibilità e accessibilità.

– Implementazione: l'implementazione della Carta di Londra per la fruizione completa di un'architettura antica deve ancora essere redatta; maggiore sarà

il numero di esperienze intraprese in questa direzione e maggiori saranno gli elementi riconosciuti necessari per una sistematizzazione della disciplina. La collaborazione con gli enti responsabili del bene è un passo necessario, la sinergia dovrà portare anche a creare una rete che si possa applicare non solo al monumento in questione, ma alla gestione globale dei beni della città, seguendo le idee sostenibili e “moderne” di smart city e digital city. In questo senso il gruppo di ricerca ha iniziato a pensare ai contenuti di un prodotto digitale anche per il Mausoleo di Galla Placidia, già oggetto di rilievo avanzato e di ricerca.

– Scopi e metodi: far comprendere al fruitore la volumetria del monumento, complessa pur nelle sue dimensioni ridotte, è certamente più immediato e semplice con una visualizzazione tridimensionale degli spazi, sia per gli esterni sia per gli interni, aiutata da una passeggiata virtuale. Per questo scopo può essere sufficiente anche il solo uso della nuvola di punti ricavata dall’elaborazione dei dati di rilievo con scanner laser. L’analisi archeoastronomica può invece essere goduta esclusivamente tramite una simulazione la cui realizzazione fotorealistica è veicolo per la comprensione dello studio stesso.

– Fonti della ricerca: la ricerca si è basata su fonti storiche documentate e sulla raccolta di dati di rilievo secondo metodi validati e condivisi dalla comunità scientifica.

– Documentazione: la valutazione dei dati di partenza e i metodi sono rigorosi e chiaramente descrivibili, così come le problematiche riscontrate per la realizzazione del modello. Il capitolo interdisciplinare che mette insieme architettura e astronomia dovrà trovare una visualizzazione propria consultabile su richiesta dell’utente. I formati utilizzati potrebbero essere: grafica, testo, video. L’impiego dell’audio è da valutare considerando altri aspetti legati più strettamente all’allestimento di tali apparati comunicativi in relazione al bene (interno e/o esterno, singolo e/o condiviso, etc.).

– Sostenibilità: l’implementazione per ora è garantita, poiché si fa ricorso a tecnologie digitali d’uso. La conservazione e l’archiviazione di tali apparati sono un problema ancora aperto e assai importante da affrontare, data la velocità di upgrade di hardware e software. Se il modello virtuale ha questa serie di problematiche, il prodotto digitale (non multimediale) potrà essere archiviato in un formato video che ha un buon margine di uso nel tempo. L’interattività ha la limitazione data dall’uso di un software che presto diventerà “vecchio”.

– Accessibilità: la divulgazione di contenuti digitali spiegati, presentati in maniera scientificamente rigorosa e aggiornata, interrogabili, etc. ha il vantaggio di creare una istantanea dello *status quo* del monumento. Il Mausoleo di Teodorico tra l’altro non è raggiungibile nel suo piano superiore da persone con handicap fisici, precludendo ad una parte di utenti la fruibilità fisica di metà del suo spazio. Se adeguatamente posizionato, un apparato multimediale può diventare un momento di “inclusione” e di partecipazione.

Il documento digitale deve ancora essere redatto, ragione per cui scritte e grafica potranno essere progettate e realizzate secondo i principi della Carta. Possiamo affermare che il passaggio a una comunicazione aggiornata nei modi e nello stato dell'arte della ricerca è di per sé un motivo più che sufficiente per intraprendere il percorso di “messa a regime tecnologico” del monumento.

U.V.

8. CONCLUSIONI

I casi studio sopra sinteticamente descritti attestano che gli strumenti digitali possono realmente innovare le modalità di rappresentazione, analisi, comunicazione e divulgazione di contenuti stratificati, complessi, secondo delle modalità che necessariamente richiedono la messa a sistema di competenze di tipo interdisciplinare. È inoltre possibile sottolineare che una corretta e lungimirante progettazione dei prodotti multimediali, attraverso opportuni rimandi, può creare interessanti connessioni e suggestioni con altri monumenti tali da invitare il turista a visitare altri luoghi, cittadini e non. A questo proposito diviene realmente necessaria, non solo per ogni singolo Ente – università, centri di ricerca, amministrazioni locali e nazionali, musei – ma per tutti i comparti turistici cittadini e non, l'individuazione di sinergie capaci di riattivare circuiti economici virtuosi: lo sviluppo di innovativi sistemi di fruizione museale in una città (e una regione) a forte connotazione turistica allargherà così le possibilità attrattive delle singole strutture e dell'intero sistema museale.

Crediti e Ringraziamenti

Il rilievo laser scanner del Mausoleo di Teodorico è stato eseguito da M. Incerti e P. Lu-suardi, le fasi di processamento dei dati sono state realizzate da M. Incerti. Si ringraziano la Compagnia delle Misure per l'uso dello strumento e la Soprintendenza per i permessi accordati. Il rilievo laser scanner e le fasi di processamento dei dati del Mausoleo di Galla Placidia sono stati eseguiti da M. Incerti. Si ringrazia la Curia Arcivescovile per i permessi accordati. Il rilievo fotografico per la fotogrammetria digitale dei due monumenti, l'elaborazione dati, l'estrazione delle ortofoto e delle texture sono state eseguite da M. Incerti. Le restituzioni grafiche sono state realizzate da G. Lavoratti. Il modello e le animazioni 3D del Mausoleo di Teodorico sono state eseguite da S. Iurilli. I due diversi modelli 3D del Mausoleo di Galla Placidia sono stati eseguiti da S. D'Amico e S. Giannetti, così come specificato nel testo. Le analisi geometriche, metrologiche e archeoastronomiche sono state eseguite da M. Incerti. Responsabile e coordinatrice scientifica della ricerca: M. Incerti.

MANUELA INCERTI, SARA D'AMICO, STEFANO GIANNETTI,
GAIA LAHORATTI, ULIVA VELO

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Ferrara

icm@unife.it, sara.damico@unife.it, stefano.giannetti@unife.it,
gaia.lavoratti@unife.it, uliva.velo@unife.it

BIBLIOGRAFIA

- ADDISON A.C., DE LUCA L., GUIDI G., PESCARIN, S. (eds.) 2013, *Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress (Digital Heritage) (Marseille 2013)*, IEEE Conference Publications (<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=6743693>; ultimo accesso 15/2/2018).
- ADEMBRI B., ALONSO-DURÀ A., JUAN-VIDAL F., BERTACCHI G., BERTACCHI S., CIPRIANI L., FANTINI F., SORIANO-ESTEVALIS B. 2016, *Modelli digitali 3D per documentare, conoscere ed analizzare l'architettura e la costruzione nel mondo antico: l'esempio della sala ottagonale delle piccole terme di Villa Adriana*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 291-316.
- BRUSAPORCI S., TRIZIO I. 2013, *La "Carta di Londra" e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, «SCIRES-IT», 3, 2, 55-68.
- CARACENI S. 2012, *Musei virtuali / augmented heritage. Evoluzione e classificazione delle tipologie di virtualità in alcuni case histories*, Rimini, Guaraldi.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. 1962, *Studi ravennati: problemi di architettura paleocristiana*, Ravenna, Edizioni Dante.
- GAIANI M. 2012, *Creare Sistemi informativi per studiare, conservare, gestire e comunicare sistemi architettonici e archeologici complessi*, «DisegnareCon», 5, 10, 9-20.
- HEIDENREICH R., HEINZ J. 1971, *Das Grabmal Theoderichs zu Ravenna*, Wiesbaden, F. Steiner.
- IANNUCCI A.M. 1995, *Per una storiografia dei restauri ravennati: il mausoleo di Galla Placidia*, Corso di cultura sull'arte ravennate e bizantina, 41, Ravenna, 63-76.
- INCERTI M., IURILLI S. 2014, *From survey data to virtual environment. Two case studies*, «SCIRES-IT», 4, 2, 87-108.
- INCERTI M., IURILLI S. 2015, *Schifanoia Palace in Ferrara. A virtual storytelling for its knowledge and dissemination*, in TORRES et al. 2015, 41-48.
- INCERTI M., IURILLI S. 2016, *Virtuality and multimedia for digital heritage: Schifanoia Palace and its Hall of Months*, in A. IPPOLITO, M. CIGOLA (eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*, Hershey, PA, IGI Global, 288-315.
- INCERTI M., LAVORATTI G. 2016, *All'origine della forma: misura e numero nel Mausoleo di Teodorico / The origins of form: Measurement and numbers in Theodoric's Mausoleum*, in M. BINI, S. BERTOCCI (eds.), *Le ragioni del disegno. Pensiero, forma e modello nella gestione della complessità / The Reasons of Drawing. Thought, Shape and Model in the Complexity Management*, Roma, Gangemi Editore, 389-394.
- INCERTI M., LAVORATTI G., IURILLI S. 2016, *Survey, archaeoastronomy and communication: The Mausoleum of Theodoric in Ravenna (Italy)*, «Mediterranean Archaeology and Archaeometry», 4, 437-446.
- INCERTI M., LAVORATTI G., IURILLI S. 2017, *Il mausoleo di Teodorico: rilievo, analisi e comunicazione*, in O. NIGLIO, C. VISENTI (eds.), *Conoscere, conservare, valorizzare il patrimonio culturale religioso*, 3, *Archivi, musei, biblioteche*, Roma, Aracne, 70-78.
- INCERTI M., LAVORATTI G., D'AMICO S., GIANNETTI S. 2018, *The Mausoleum of Galla Placidia in Ravenna: Archaeoastronomy, numbers, geometry and communication*, in SEAC 2018 (in corso di stampa).
- MIGLIARI R. (ed.) 2004, *Disegno come modello, riflessioni sul disegno nell'era informatica*, Roma, Aracne.
- NOVARA P. 2013, *Mausoleo di Teodorico*, in A. RANALDI, P. NOVARA (eds.), *Restauri dei monumenti paleocristiani e bizantini di Ravenna patrimonio dell'umanità, Parte I, Architetture*, Ravenna, Comune di Ravenna, Archidiocesi di Ravenna-Cervia, MiBAC, 114-116.
- RANALDI A. 2011, *Dalla realtà sensibile all'astrazione. La volta stellata del mausoleo di Galla Placidia*, in L. KNIFFITZ (ed.), *Architettura e mosaico. Atti della Giornata di studi (Ravenna 2010)*, Ravenna, MAR - Museo d'Arte Ravenna, 20-42.

RICCI C. 1914, *Il mausoleo di Galla Placidia in Ravenna*, Roma, Calzone.

ROMANO G. 1995, *Orientamenti ad sidera. Astronomia, riti e calendari per la fondazione di templi e città. Un esempio a Ravenna*, Ravenna, Edizioni Essegi.

TORRES J.C., GRAF H., REMONDINO F., BARCELÓ J., BRUNET P., SUSAN H., DURANTI L. (eds.) 2015, *2nd International Congress on Digital Heritage 2015 (Granada 2015)*, Granada, IEEE Conference Publications.

ABSTRACT

The paper presents a series of methodological reflections on the following themes: survey, restitution, analysis and communication. The objective of the research was the critical reading of two of the most famous monuments in Ravenna and UNESCO heritage sites: the Mausoleum of Theodoric (ca. 520 AD) and the Mausoleum of Galla Placidia (before 450 AD). From advanced and integrated survey data, 2D graphs and 3D models were elaborated for hypothesis testing and for the multimedia communication of the scientific contents identified during the work. This second topic of the paper is part of the experiments conducted by the research group on new modes of multimedia communication, interactive and not, based on virtual models as an edutainment tool for enjoying monuments and masterpieces of cultural importance.