

## LA FOTOMODELLAZIONE PER IL RILIEVO ARCHEOLOGICO

### 1. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Il valore del patrimonio archeologico, la stessa essenza di bene e il significato culturale implicito nella sua sopravvivenza al tempo chiariscono inequivocabilmente le finalità del rilievo, «insostituibile strumento di ricerca e conoscenza» (DOCCI, MAESTRI 2006). Al di là di finalità pittoresche, i beni archeologici sono rilevati per essere studiati, perché attraverso l'apparente semplicità del disegno sono analizzati e documentati (FIORINI 2013a), in un'anamnesi che ne estrapola le caratteristiche denotative e connotative e le interrelazioni fra le parti. Il rilievo si attesta allora come un percorso culturale per la comprensione della carica testimoniale insita nel bene, nell'accezione cartesiana della conoscenza quale scoperta del significato profondo di ciò che si sta studiando, dinamicamente capace di produrre ulteriore ricerca (DOCCI 1996; 2001). Oltre agli aspetti documentali così importanti soprattutto nell'attività "distruttiva" degli scavi (CAIROLI GIULIANI 2018), attraverso il disegno si interroga l'oggetto analizzato, lo si comprende oltre l'apparenza, se ne individuano gli elementi strutturali della forma, tessendo l'elogio del frammento per la qualità di essere testimone di un tutto molto più grande e complesso. Leggere l'artefatto archeologico attraverso il disegno significa effettuare un'operazione "autoptica" del bene, oltre alle ragioni della sua esistenza, al contenuto, al rapporto fra l'oggetto e il suo contesto.

Il rilievo archeologico non corrisponde quindi alla semplice azione di misura che, seppur determinante, non ha in sé la fondamentale prerogativa richiesta di apportare «una ricerca attiva e criticamente operante» (DOCCI, MAESTRI 1993, 6). Al di là delle possibili illusioni fornite dalle crescenti potenzialità tecniche degli strumenti digitali di poter inglobare dati e informazioni, rilevare significa partire dall'oggettività della misurazione, ma anche selezionare attraverso il disegno (solo) determinate informazioni. Tale tendenziosità è definita in funzione degli obiettivi stessi dello studio, condizione sempre più essenziale, tanto da essere richiesta oggi all'intelligenza artificiale degli stessi calcolatori a ragione della proliferazione di dati da essi prodotti (IAFRATE 2018). La necessaria euristica del rilievo non compromette la sua essenza di sistema aperto di conoscenza (CUNDARI 2012) e la possibile ermeneusi interpretativa come fulcro dell'attivazione di ulteriori ricerche, ma la richiesta di massima oggettività del processo scientifico e di massima significanza delle osservazioni critiche determina inevitabilmente un conflitto, perché l'arricchimento di informazioni contrasta con la congruità del risultato alle specifiche esigenze dell'indagine (DE RUBERTIS 1992).



Fig. 1 – Modello numerico ottenuto attraverso la fotomodellazione della statua del Germanico conservata presso il Museo Comunale di Amelia.

Il rilievo, nel suo valore propositivo, è con il suo linguaggio un'interpretazione selettiva volta a individuare, registrare e comunicare le qualità del bene. Non interessa l'immagine, ingannevole e mutevole, ma attraverso la produzione di immagini (CUNDARI 1992) esso studia la realtà che si manifesta nella "forma", in una "forma" può essere interpretata e quindi ancora nella "forma" può essere rappresentata. Così come il ritratto non è una copia (UGO 1981, 9-23), la corrispondenza con la realtà è quindi il risultato e il processo che porta a fondersi nella *téchne*, nel suo essere arte e scienza.

Se i beni archeologici sono riconducibili a una condizione estrema dell'architettura (PURINI 2008, 37) dato che, rispetto all'interpretazione vitruviana, la dimensione della funzionalità (*utilitas*) è annullata e la

condizione di stabilità (*firmitas*) profondamente compromessa, il bene si carica di bellezza (*venustas*), perseguendo una centralità estetica che il modello deve cogliere e il rilievo deve fare emergere. La loro bellezza è insita nella loro stessa realtà, nel loro essere anche “rovine”, condizione che, anche nella stessa immagine del reale e non solo nel disegno, porta all’evocazione, finalità essenziale della rappresentazione. Il rilievo appare pertanto come ricostruzione dell’ideale, rappresentazione del reale che guarda alla ricostruzione del progetto (e non della forma) originale fondata su un’albertiana visione funzionale dei “modelli in scala” (ALBERTI 1443). In tale relazione fra virtualità e modello, la rivoluzione digitale in atto sta apportando importanti trasformazioni che travolgono lo studio e la valorizzazione dei beni archeologici, analisi che può svelarsi come un’anima digitale dell’immagine sottesa (Fig. 1).

La richiesta di realismo, che si contrappone alle difficoltà rappresentative, è sempre più facilmente ottenibile attraverso gli strumenti digitali, nella loro capacità di immagazzinare un alto quantitativo di informazioni e nel comunicarle con chiare ed efficaci immagini. Una condizione che porta ad una sostanziale evoluzione delle applicazioni digitali per i beni culturali (BRYAN *et al.* 2009; DELLEPIANE, NICCOLUCCI 2011; GIANOLIO 2012; ADEMBRI *et al.* 2016; STROLLO, D’AURIA, DE SILLA 2017; BRUSAPORCI *et al.* 2018; INCERTI *et al.* 2018; BIANCONI *et al.* 2019). L’efficienza e l’accuratezza degli strumenti odierni, l’interattività, la manipolabilità e la multimedialità del modello sono elementi oggi essenziali della sostenibilità del rilievo (BIANCONI 2002, 2005). L’implicita fiducia nella tecnologia però può portare ad avere semplici cloni della realtà, misteriosi come il bene stesso, appena trasfigurati in digitale, che lasciano il bene non compreso e non interpretato. «Il rilievo ideale è quindi un elaborato immediatamente percepibile e direttamente comunicabile, esprimibile perciò con codici universali; ma che richiede anche un grande spessore comunicativo e un’ampia duttilità a registrare la grande quantità di dati necessari per una soddisfacente documentazione; la sintesi grafica è perciò estremamente complessa e facilmente si soccombe alla tentazione di dar luogo a tecniche generiche di raccolta e registrazione delle informazioni, adattate di volta in volta a risolvere situazioni specifiche, a scapito della confrontabilità dei risultati e della complessiva scientificità del metodo» (DE RUBERTIS 1991, 18).

F.B.

## 2. I PRINCIPI DELLA FOTOMODELLAZIONE

Nel contesto contemporaneo, sempre più sta assumendo un ruolo centrale l’utilizzo della fotomodellazione, intesa come «il processo di operazioni effettuate in ambito digitale con il quale, a partire da immagini

raster, si giunge alla creazione di un modello tridimensionale» (FILIPPUCCI 2010, 50-63). Anche nel campo della conservazione e valorizzazione del patrimonio archeologico, dopo le prime esperienze (GRUEN *et al.* 2004; DE LUCA 2006, 2011; VERGAUWEN, VAN GOOL 2006; REMONDINO *et al.* 2008), tali tecniche stanno riscuotendo un grande successo applicativo (FIORINI 2008, 2013b; FIORINI, ARCHETTI 2011; PANELLA *et al.* 2011; ARRIGHETTI 2012; GARCIA-LÁZARO *et al.* 2012; BUSCEMI *et al.* 2014; PATTEE, VOLKMANN, UNTERMANN 2017; CURCI, FIORINI 2012, 2013; PUMA 2018; STRASSER *et al.* 2018; BERTOCCI, ARRIGHETTI, BIGONGIARI 2019; CALISI, MOLINARI 2019; RAHAMAN, CHAMPION, BEKELE 2019; BIANCONI, FILIPPUCCI, MAGI MECONI 2019), in virtù della semplicità e del basso costo degli strumenti di rilevamento, requisiti essenziali per l'attività di scavo o studio (D'AGATA, ALAURA 2008), ma soprattutto in virtù delle loro capacità nella documentazione e della grande efficienza comunicativa, insita nel valore stesso delle immagini che generano il modello e parimenti lo descrivono nella mappatura finale.

Alla fine del 2010 il carattere innovativo della fotomodellazione era manifesto nell'inusualità del suo stesso termine che, oltre a non essere stato ancora acquisito dalla lingua italiana (assente nel vocabolario e nell'enciclopedia online della Treccani), da semplici ricerche sui motori di ricerca (Google) dava allora esiti abbastanza limitati con poco più di 700 link (FILIPPUCCI 2010, 63). Oggi, dopo otto anni, la stessa ricerca porta a circa 50.000 risultati e a riferimenti nelle enciclopedie digitali. L'affermazione della fotomodellazione trova infatti le sue ragioni nell'evoluzione della cultura dell'immagine, da un lato per la sua capacità di utilizzare le informazioni che sono democraticamente prodotte anche a ritmi incredibili (DUARTE, RATTI 2018), dall'altro lato per la rivoluzione digitale che ha investito tutti gli artefatti, dalle immagini agli strumenti di interpretazione e di disegno.

La fotomodellazione si attesta come una delle tecniche con maggiori prospettive applicative per l'archeologia, dato che si basa sulla capacità computazionale degli strumenti digitali (D'ANDREA, NICCOLUCCI 2000), che sempre più tendono ad aumentare le potenze di calcolo. La sostenibilità globale, la semplicità dei processi e l'efficienza dei risultati determinano già un valore che definisce le ragioni di tale crescente attestazione, le cui peculiarità possono garantire risultati efficienti in alternativa o integrazione (DE RUBERTIS *et al.* 2009) a strumentazioni certamente più affidabili che si trovano in difficoltà quando un'eterogeneità di dettagli porta a ricercare soluzioni di maggiore praticità nelle operazioni di rilevamento.

Lo sviluppo della sensoristica (BLAIS 2004) trova come principale attore degli ultimi anni il laser scanner (MIGLIARI 2001; BINI, BATTINI 2007; DOCCI 2007; SGRENZAROLI, VASSENA 2007; BARTOLUCCI 2009; GARCÍA-GÓMEZ *et al.* 2011), una tecnologia basata sulla fisica delle onde, mentre la fotomodellazione ha trovato il suo fondamento nei principi dell'ottica, puntando

piuttosto sulla diffusione, semplicità ed economicità delle strumentazioni necessarie, una semplice camera fotografica digitale, possibilmente reflex, e i software dedicati. Diviene interessante la prospettiva aperta sull'utilizzo della fotomodellazione attraverso gli smartphone (BIANCHINI 2014, 2018) sviluppato fra l'altro nel progetto Tango di Google (SCHÖPS *et al.* 2017) poi convogliato in ARCore (FLORIDO *et al.* 2018), processo ancora in sviluppo ma del quale è possibile già intuire le potenzialità.

Poiché comunque le nuove tecnologie portano le camere digitali ad essere fornite di ottimi CCD, i file raster creati sono ormai sempre definiti da milioni di pixel, e proporzionalmente il risultato della fotomodellazione raggiunge quest'ordine di punti. In particolare quindi risulterà estremamente significativo l'aspetto percettivo del modello tridimensionale, caratterizzato da una mappatura prettamente corrispondente al reale. D'altro canto tale approccio fondato sulla luce trova nelle condizioni di contesto ambientale il vincolo maggiore, per l'intrinseco condizionamento delle immagini generatrici sul modello ottenuto. Essendo il modello strutturato evidentemente con le immagini di partenza, una corretta presa dei fotogrammi non può che influenzare positivamente l'accuratezza del risultato finale. In particolare, l'immagine deve essere genericamente circoscritta alla sola area in esame e i fotogrammi non dovranno essere troppo distanti l'uno dall'altro, anche se non ci sarà bisogno di posizionarsi in modo referenziato all'oggetto. Come avviene nelle scansioni laser, la nuvola stimata sarà segnata da coni d'ombra, consequenziali alla presa, imperfezioni che dovranno essere puntualmente corrette nelle operazioni di finitura e ottimizzate allineando nuvole complementari.

La semplicità del processo rientra nella logica dell'Image Based (REMONDINO, EL-HAKIM 2006) sostanziato dallo Structure from Motion (SZELISKI 2010; CLINI *et al.* 2016), automatismo (REMONDINO, FRASER 2006, 266-272) fondato sui principi della fotogrammetria (THOMPSON, GRUNER 1980, 1-36; CUNDARI 1982; MIKHAIL *et al.* 2001; CARPICECI 2012) che porta a creare modelli caratterizzati da mesh texturizzate. Bisogna però sottolineare che dopo aver creato il modello numerico, è possibile avvalersene secondo due diversi approcci: si può infatti vedere il dato digitale come un complesso e accurato insieme di misure nello spazio dal quale poi si possono estrapolare elementi significativi per un'interpretazione geometrica (mesh to surface/reverse engineering), oppure è possibile interpolare il dato digitale con una mesh, integrandolo nel rilievo geometrico diversamente elaborato. La scelta è strettamente legata all'oggetto analizzato e agli obiettivi del rilievo, considerando che l'interpolazione di mesh crea un clone della realtà ignota come la realtà stessa, una condizione che deve essere chiaramente esplicitata nelle scelte progettuali del programma di rilievo. In determinate circostanze, come ad esempio nel caso di particolari scultorei (Fig. 2), può essere opportuno

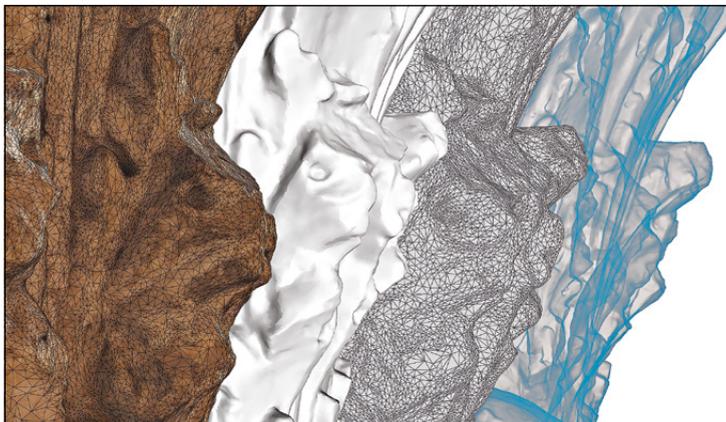


Fig. 2 – Sovrapposizione delle diverse visualizzazioni inerenti al dettaglio di un capitello corinzio conservato presso il chiostro della Cattedrale di Perugia.

concentrarsi sull'apparenza della forma per evitare un'improbabile interpretazione geometrica. In relazione agli obiettivi posti dal rilievo scientifico le operazioni di gestione del modello devono comunque essere principalmente puntuali, atte a garantire la correttezza della misura stimata, a scapito anche di un ingente lavoro di finitura.

M.F.

### 3. IL RILEVAMENTO ARCHEOLOGICO ATTRAVERSO LA FOTOMODELLAZIONE

Al fine di supportare operativamente chi vuole utilizzare le tecniche di fotomodellazione per l'archeologia, è necessaria una disamina, inevitabilmente sintetica e pertanto non esaustiva, dei diversi software, denotati da logiche profondamente dissimili. Pur essendo pienamente favorevoli all'utilizzo di strumentazioni freeware (FILIPPUCCI 2010), partendo dalle nostre pregresse ricerche e dalle valutazioni sugli strumenti stessi (BIANCONI, CATALUCCI, FILIPPUCCI 2017; CATALUCCI *et al.* 2017), sono stati da noi selezionati i programmi maggiormente diffusi, confrontati nella loro diffusione utilizzando l'analisi effettuata da Google Trend (Fig. 3), uno strumento gratuito di Mountain View che offre i dati relativi alle tendenze espresse dal pubblico nei motori di ricerca.

Dai dati emerge come lo sviluppo della fotomodellazione inizi a diffondersi intorno al 2010, dove appare con una certa importanza il web-service di ARC3D, probabilmente sospinto dalla ricerca (REMONDINO *et al.* 2009) e legato a Meshlab, altro software open source (CIGNONI *et al.* 2008). Se questi strumenti non paiono molto utilizzati in ambito archeologico (D'ANDREA,

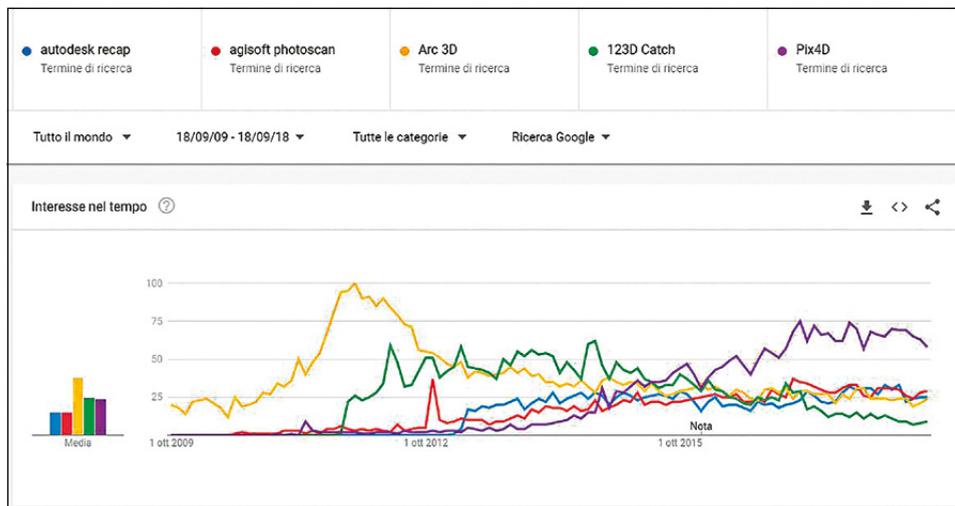


Fig. 3 – Confronto temporale fra i software attraverso Google Trend (immagine settembre 2018).

BARBARINO 2012), diversa è la sorte di Agisoft PhotoScan, attualmente integrato in Agisoft Metashape, tra i software comunque low-cost dotato di ottima efficienza e molto utilizzato anche in ambito archeologico (GABRIELLI *et al.* 2015; BURSICH, PACE 2017; GABRIELLI, PORTARENA 2017; VELLI, VELLI 2017), del quale è da notare l'incremento abbastanza costante nel tempo. Altro software molto apprezzato per la rappresentazione archeologica è stato Autodesk 123D Catch (ARRIGHETTI 2012; FIORINI 2013b) che dal trend risulta di calante attrattività e che forse per questo è stato inglobato in altri progetti, anche in ragione di risultati meno prestanti (CHANDLER, FRYER 2013), lasciando il posto all'affermazione di Autodesk ReCap che si unisce poi in Autodesk ReCap Photo, una cloud app ancora non troppo valorizzata in archeologia (BUSCEMI *et al.* 2014), che risulta invece di grande affidabilità per generare geo-located mesh con texture, nuvole di punti e ortofoto. Un discorso a parte può essere riservato per PIX4D che, in virtù dello sviluppo stesso dei droni (FIORINI, MATERAZZI 2017), sta trovando una crescente affermazione commerciale.

Un'altra applicazione della stessa tecnica può essere il suo utilizzo finalizzato ad ottenere una base tridimensionale dell'area usando i dati disponibile in Internet: se in Google Earth è presente il modello tridimensionale, è possibile "registrare il tour" del percorso da cui estrapolare le foto in 4K. Prendendo come caso studio una porzione della parte storica di Perugia, generalizzabile a qualsiasi area, sono state estrapolate in modo automatico 100 immagini, il massimo numero che ReCap supporta per l'elaborazione online con versione



Fig. 4 – Digital Surface Model (DSM) del centro storico di Perugia ottenuto da Google Earth attraverso i processi di fotomodellazione.

accademica; ogni fotogramma è stato realizzato ad una quota altimetrica dalla superficie terrestre compresa tra i 150 e 250 m e con una risoluzione di 4800×2971 pixel. Le immagini create sono state caricate nel cloud Autodesk, così da poter poi utilizzare i potenti server per l’elaborazione e la creazione del modello texturizzato (Fig. 4).

La disamina degli strumenti, caratterizzati comunque da logiche informatiche differenti, non elimina il dubbio atavico su una tecnologia che “stima” attraverso automazioni corrispondenze e attributi per generare modelli tridimensionali. Sempre al fine di fornire coordinate operative, l’esperienza maturata in tale ambito, lungo quasi dieci anni di utilizzo sperimentale e di didattica universitaria su tali applicazioni, ci fa affermare la piena affidabilità degli strumenti, condizionati prevalentemente dalla capacità di chi opera a fotografare i beni, richiesta non del tutto irrisoria che troppo spesso viene sottostimata. Rimane comunque un dubbio strutturale sull’efficacia di tali percorsi a basso costo tecnologico, con un interrogativo sull’efficienza dei citati programmi. In ricerche pregresse (BIANCONI, CATALUCCI, FILIPPUCCI 2017), è stato possibile testare, a partire dallo stesso set di foto, i principali software,

paragonandoli con il dato “più sicuro” derivato dall’utilizzo di scanner 3D a luce strutturata (Creaform GO! Scan50): con software idonei (Geomagic Qualify), sono stati confrontati le mesh di riferimento e i dati relativi alla distribuzione delle deviazioni tra gli elementi che le compongono, valutati nella spazialità e nella superficialità. In virtù di variazioni solo submillimetriche, è emersa la piena affidabilità dei modelli derivati da Autodesk ReMake e di Agisoft PhotoScan, con la piattaforma di Arc3D che ha mostrato parimenti un buon compromesso, con deviazioni del tutto trascurabili rispetto al modello generato dallo scanner a luce strutturata, valutazione sui programmi intuibile anche dai colori delle immagini dei modelli digitali confrontati in figura (Fig. 5).

Diviene interessante comprendere però quali siano gli elementi che determinano la qualità e l’affidabilità del processo. Come primo ordine di grandezza, si può considerare il pixel come l’entità minima che di fatto definisce l’errore di graficismo, condizione che lega nell’immagine la centralità della scala, connessa quindi al rapporto fra presa e oggetto (FILIPPUCCI 2010). Se in modo iperbolicamente esemplificativo si prende un’immagine di 1200×1800 pixel (circa 2 milioni di pixel) che riprende un bene di 1,2×1,8 m, si può facilmente dedurre che l’accuratezza del modello non può essere certo inferiore al millimetro, valore corrispondente appunto al singolo pixel. Bisogna però considerare la natura stocastica del processo, generativamente fondato sulla fotografia e comunque influenzato dal controllo della luce, dall’efficacia degli strumenti e dalle condizioni che vincolano i punti di presa, tutti elementi che portano a definire criteri di tutela con fattori di sicurezza. Da tali dati emerge comunque che in ambito archeologico la fotomodellazione interessa scale congrue e dimensioni contenute, palesando così la piena congruità di tale tecnica per il rilevamento del patrimonio culturale.

Considerando l’incidenza di tali fattori, si capisce il motivo per cui si possano ottenere migliori risultati operando una serie di pre-eleborazioni delle immagini, ad esempio eliminando automaticamente le deformazioni ottiche dalle foto (come l’automatismo presente in Photoshop). Di grande interesse è poi la recente applicazione delle immagini HDR (High Dynamic Range Imaging) nella fotomodellazione (GEORGOPOULOS *et al.* 2013; KONTOGIANNI, GEORGOPOULOS 2014; BATTINI, VECCHIATTINI 2018), un metodo che si propone di aggiungere più “gamma dinamica” alle fotografie, ampliando il rapporto tra luce e buio attraverso la sovrapposizione di (almeno) tre riprese, scattate in sequenza con livelli di esposizione diversi. Tale sintesi, ottenibile attraverso anche solo la trasformazione di immagini raw con processi automatizzabili (ad es. HDR photo editor o altri), può essere funzionale al processo di fotomodellazione, che in tale enfasi supporta la stima delle corrispondenze e quindi porta a ottenere risultati maggiormente performanti nelle forme e nelle texture. Considerando come caso esemplificativo un bene

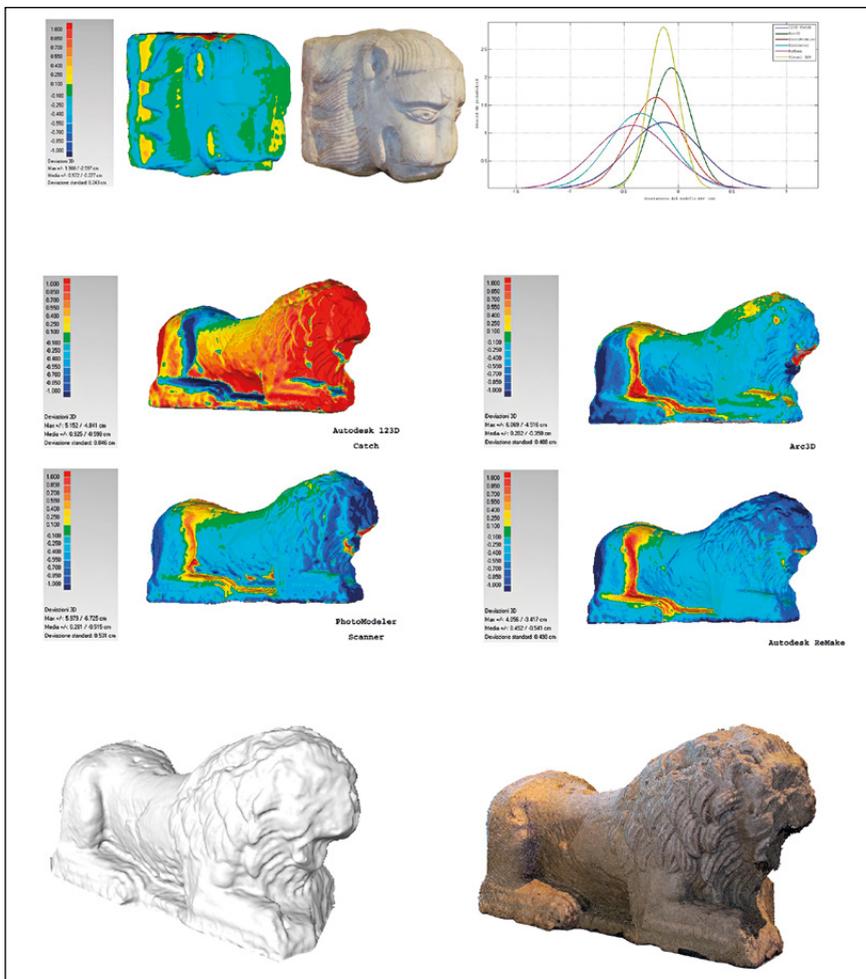


Fig. 5 – Analisi dell’affidabilità dei dati attraverso il confronto con modelli a luce strutturata nel doccione conservato presso la Galleria Nazionale dell’Umbria e dei modelli generati dalle stesse immagini con diversi programmi nella scultura leonina conservata presso il Museo Comunale di Amelia.

pervenuto nell’area della Valnerina, è possibile marcare la variazione della mesh e delle texture nel modello costruito facendo le immagini all’aperto, al chiuso e sempre al chiuso ma con le stesse immagini in HDR, variazione di condizione che mostra l’efficacia di tale tecnica quando non si creano aree né troppo chiare né troppo scure (Fig. 6).

M.F.

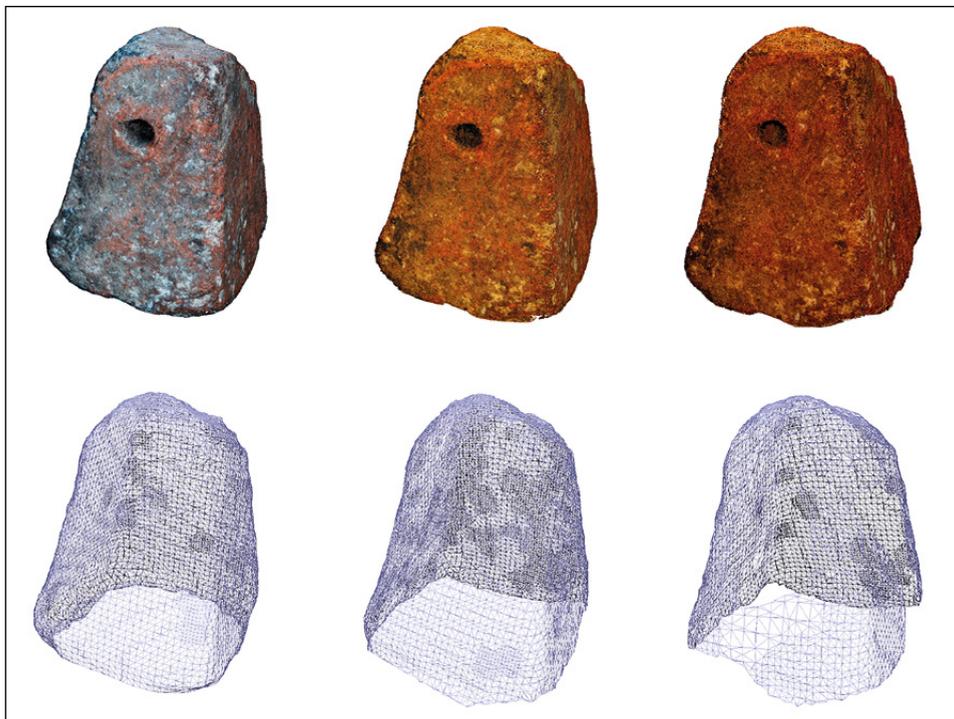


Fig. 6 – Variazione della mesh e delle texture di un peso da telaio ripreso rispettivamente all’aperto, al chiuso e sempre al chiuso ma con le stesse immagini in HDR.

#### 4. IL RILIEVO ARCHEOLOGICO ATTRAVERSO LA FOTOMODELLAZIONE

Il percorso finora illustrato si è incentrato sulle tecniche inerenti al rilevamento attraverso la fotomodellazione. Il rilievo, inteso quindi come sinonimo di disegno e non di misurazione, richiede ulteriori riflessioni. Dalle pagine di questa rivista, J.M. PUCHE (2015) analizza con grande attenzione il tema, domandandosi, con riferimento implicito all’opera di D.R. SCHEER (2014), se nell’era della simulazione e dei big data il disegno, anche in ambito archeologico, sia destinato alla morte. La sua riflessione si contestualizza pienamente nell’attuale superamento del sistema consolidato di rappresentazione, condizione che implica un cambiamento sostanziale nel modo di rappresentare. Senza sottolineare le pleonastiche trasformazioni formali, rimangono da capire le conseguenze del fatto che «il cambiamento è stato attuato sulla forma del disegnare, non sul soggetto del disegno» (PUCHE 2015). Le ricerche svolte soprattutto in Italia sul rilievo archeologico da chi si occupa di disegno e non di archeologia hanno di certo molto da suggerire agli archeologi, per

la visione complementare e nell'ottica delle esigenze di interdisciplinarietà che il tema comunque apre.

Certi che il disegno subisca le leggi operazioniste sintetizzabili nel motto "chi fa, impara" (BRIDGMAN 1959), le nostre ricerche sviluppate in Umbria sulla fotomodellazione dell'ultimo decennio trovano una continuità con gli insegnamenti di R. de Rubertis, che dopo trent'anni di attività di rilevamento di beni archeologici in Umbria ha condiviso i suoi disegni pubblicando oltre 330 tavole al tratto (FILIPPUCCI 2011). Come annota lo stesso autore, «la peculiarità di questo lavoro è di aver fatto uso di procedimenti di rilevamento esclusivamente diretto con rappresentazioni eseguite a mano mediante disegni a tratto, nella convinzione che i documenti archeologici abbiano lo specifico obiettivo di registrare, non ciò che appare, ma ciò che si è personalmente capito dei monumenti studiati. Per descriverli con completezza e utilità è infatti necessario che ogni singola annotazione, ogni singolo segno siano il risultato di un atto mirato di comprensione e di cosciente volontà chiarificatrice» (DE RUBERTIS 2011, 11).

Data l'applicazione di tecniche di rilevamento tradizionale a basso contenuto tecnologico, tale insieme di disegni inversamente alle tecniche digitali enfatizza la centralità interpretativa delle primitive grafiche della linea e dei punti (BIANCONI, FILIPPUCCI, CATALUCCI 2017). Il modello, presente nella mente di chi disegna, si declina in attente rappresentazioni, determinate dalle necessità comunicative e documentali proprie del rilievo archeologico, dove chi rileva si prende la piena responsabilità di quanto annota, non lasciando agli automatismi del digitale il ruolo primario nella definizione della forma. L'affermazione dei nuovi strumenti digitali infatti non implica «né che la figura dell'archeologo venga snaturata dal punto di vista culturale né la obbliga ad orientarsi verso una specializzazione estremamente verticale. La formazione dell'archeologo deve invece rimanere estremamente orizzontale, flessibile e capace di comprendere ogni singola problematica all'interno del processo che porta alla completa conoscenza ed interpretazione di un manufatto» (Russo *et al.* 2011, 169-198). Da tale ricco insieme di disegni, è possibile estrapolare lezioni che operativamente possono sostanziare il rilievo archeologico oggi, tema certamente complesso che per le sue caratteristiche pone delle difficoltà rappresentative anche per chi possiede capacità tecniche: prendendo come esempio il disegno in figura redatto da studenti (Fig. 7), si può notare da un lato la capacità di generare un modello digitale accurato, ma dall'altro lato emerge l'incapacità a sintetizzare, a individuare gli elementi essenziali, a dare valore al singolo segno, con un disegno al tratto che risulta così incapace di essere foriero di conoscenza.

Il disegno, inteso nella sua accezione anche tradizionale (GIANDEBIAGGI 2005), che ci ha insegnato invece a valutare con attenzione ogni singolo segno, filtrato dalla mente e dalla mano, induce a definire una riflessione profonda

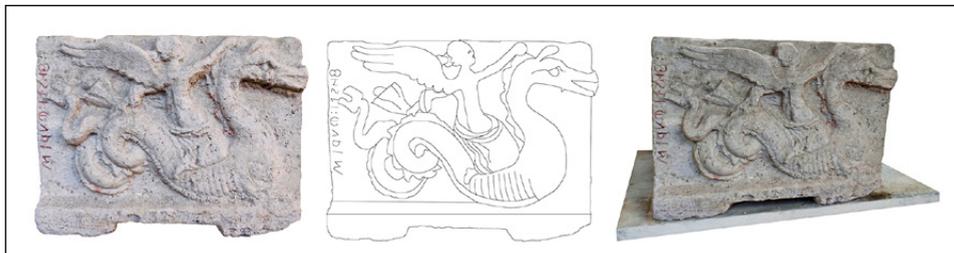


Fig. 7 – Le difficoltà rappresentative nell’elaborato didattico manuale e la prestantza della fotomodellazione di un’urna funeraria rilevata presso il Museo Archeologico Nazionale dell’Umbria.

che può portare a sostanziare e arricchire anche le rappresentazioni digitali. Anche il rilievo archeologico tradizionale trova in tale attenzione al tratto (DE RUBERTIS 1992, 179-226; 1994, 31-33) il principale tema della ricerca. C’è un’attenzione segnica a ciò che vuol essere marcato, a ciò che vuole essere definito e a ciò che vuole essere solo evocato e che arriva a smaterializzarsi in punti. Il segno diviene così lo strumento operativo della descrizione critica della morfologia del bene, presentata implicitamente nella sintesi rappresentativa. La materia e quegli aspetti superficiali che ne definiscono la densità, i cromatismi, il rapporto con la luce e in generale le mutue relazioni riescono ad emergere quando il segno si diversifica nella sapiente variazione del tratto per descrivere anche i più piccoli dettagli e le variazioni che connotano la forma architettonica. Si tratta comunque di un processo di astrazione, di un codice linguistico che è posto a icona del reale.

Diverso è invece l’approccio della fotomodellazione, che riesce con grande efficienza a descrivere e ad analizzare le proprietà percettive correlate a materia e superfici. Il realismo ricavato rappresenta certamente uno dei punti di forza di tale tecnica, anche se sottende la possibilità di coprire e far perdere la centralità della forma, celandone l’accuratezza. Il ridisegno delle superfici, sotto e al di là della texture, deve attuarsi come il principale tema dell’elaborazione digitale che comunque deve essere prevista nella postproduzione del modello numerico, un’operazione meticolosa legata alla gestione anche di milioni di punti che porta colui che rappresenta ad essere sempre più un “artigiano digitale”.

L’astrazione del rilievo tradizionale è funzionale a promuovere un confronto fra il bene analizzato e i casi noti, dal cui raffronto è possibile estrapolare informazioni essenziali per la sua comprensione. Si palesa pertanto un’esigenza della rappresentazione di essere sempre un paradigma e non un *unicum*, inversamente dalla fotomodellazione, che, simulando la realtà, si ancora alla singolarità del caso-studio. La serialità delle rappresentazioni, nell’uniformità grafica, garantisce l’individuazione delle differenze e dei tratti

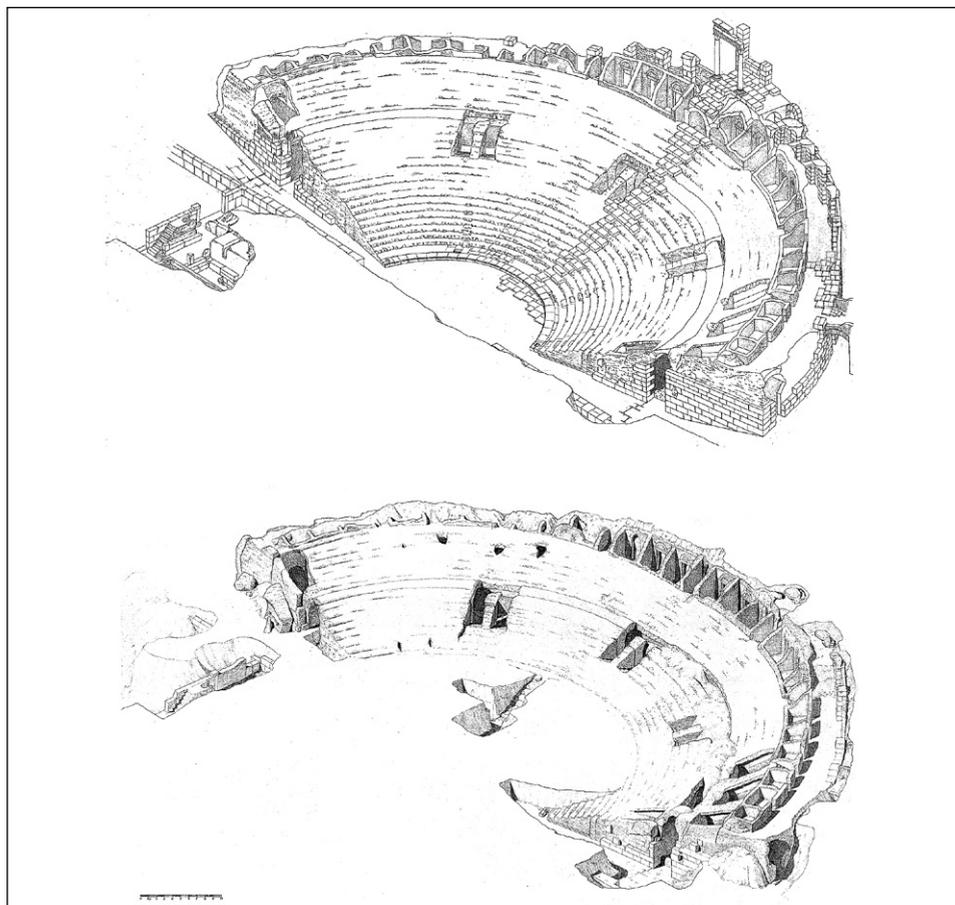


Fig. 8 – Assonometria ortogonale dello scavo del 1964 ed ipotesi ricostruttiva in età augustea del teatro di Otricoli rilevato da R. de Rubertis.

connotativi dei beni che, nell'astrazione della forma, possono essere letti simultaneamente; tale condizione dovrebbe comunque essere verificata anche nella fotomodellazione spogliandola della texture per analizzarne le forme.

Nel rilievo archeologico, la perdita di una dimensione, implicita nel passaggio rappresentativo dalla realtà tridimensionale alla bidimensionalità del disegno, è risolta dal raffronto fra gli elaborati rappresentativi. Lo spazio si costruisce nella mente, conquistandolo poco a poco con una lettura comparata dei disegni corrispondenti, passando dinamicamente e ricorsivamente da piante a prospetti e sezioni. Il disegno implica un'azione di scomposizione della forma, derivante dalla ricomposizione dei pezzi stessi delle misure rilevate, dei livelli

sovrapposti di dati, come le stesse stratigrafie presenti negli scavi, ricostruzioni che possono portare a confronti ed evoluzioni, come nell'immagine che porta a derivare dal dato rilevato il progetto originario del teatro di Otricoli (Fig. 8). La lettura del disegno è un percorso di scoperta proposto dal rilevatore, che differisce dall'immediatezza garantita dalla fotomodellazione, che riesce a descrivere nel digitale con minuzia tutto ciò che si vede in una sintesi rappresentativa che è spinta ad essere tendenzialmente simile alla realtà. La lettura dinamica e interattiva (BIANCONI 2005), potenzialmente ricca di molteplici finalità, avviene attraverso una navigazione da infiniti punti di vista per permettere una piena comprensione della spazialità di tali ricostruzioni. La rappresentazione tridimensionale semplifica pertanto quel processo di verifica dell'affidabilità dei risultati ricavati, confrontabili simultaneamente in tutte le parti e meno astratti dalla selezione del disegno, vincolata a ciò che si vede. Emerge pertanto il problema della depauperazione della simulazione digitale nell'imminenza di diventare immagine e, in tale caso, i risultati rappresentativi appaiono come semplici istantanee giustapposte e non rappresentano un discorso compiuto finalizzato alla sua piena lettura.

Le finalità documentali del rilievo archeologico si palesano sempre più nella loro esigenza di afferrare la complessità del racconto insito nel valore testimoniale del bene. Il rilievo archeologico, analizzando realtà evocate, si pone implicitamente il fine di descrivere i "perché" insiti nel rapporto fra resistenza e stratificazione che connota la qualità dei manufatti archeologici. La temporalità progressiva dei rilievi, l'episodicità dei ritrovamenti sporadici, la grande differenza di scala non si mostrano come un ostacolo alla rappresentazione, implicitamente foriera di una sintesi progettuale, come si può notare in una qualsiasi delle tavole di rilievo sempre tematizzate alla comprensione profonda di un singolo bene, caratterizzate da una finalità progettuale, di tutela e valorizzazione (Fig. 9). È la stessa essenza di bene archeologico che induce all'evocazione e alla figurazione. In tal senso la fotomodellazione, ripresentando la realtà come appare, non perde il suo carattere evocativo, ma quel percorso di smontaggio e montaggio facile nell'astrazione del disegno è solo idealmente proprio del dato digitale, per la complessità di gestione delle mesh della modellazione numerica stessa, che richiede uno sforzo superiore.

Nel disegno tradizionale a priori veniva necessariamente scelto il più congruo metodo rappresentativo utile a garantire la visione unitaria delle caratteristiche trascritte «con il massimo numero delle informazioni e il più basso grado di disturbo del fenomeno» (DE RUBERTIS 1992, 196). Nel digitale invece, in generale, prima si rappresenta il modello e poi si sceglie il modo di comunicarlo per immagini. Tale approccio cambia profondamente le riflessioni sul risultato, portando ad interrogare il rilevatore su come si rappresenta, perché ad esempio la stessa forma in assonometria o in prospettiva porta rispettivamente ad astrarre il bene o a simularlo nei suoi aspetti percettivi.

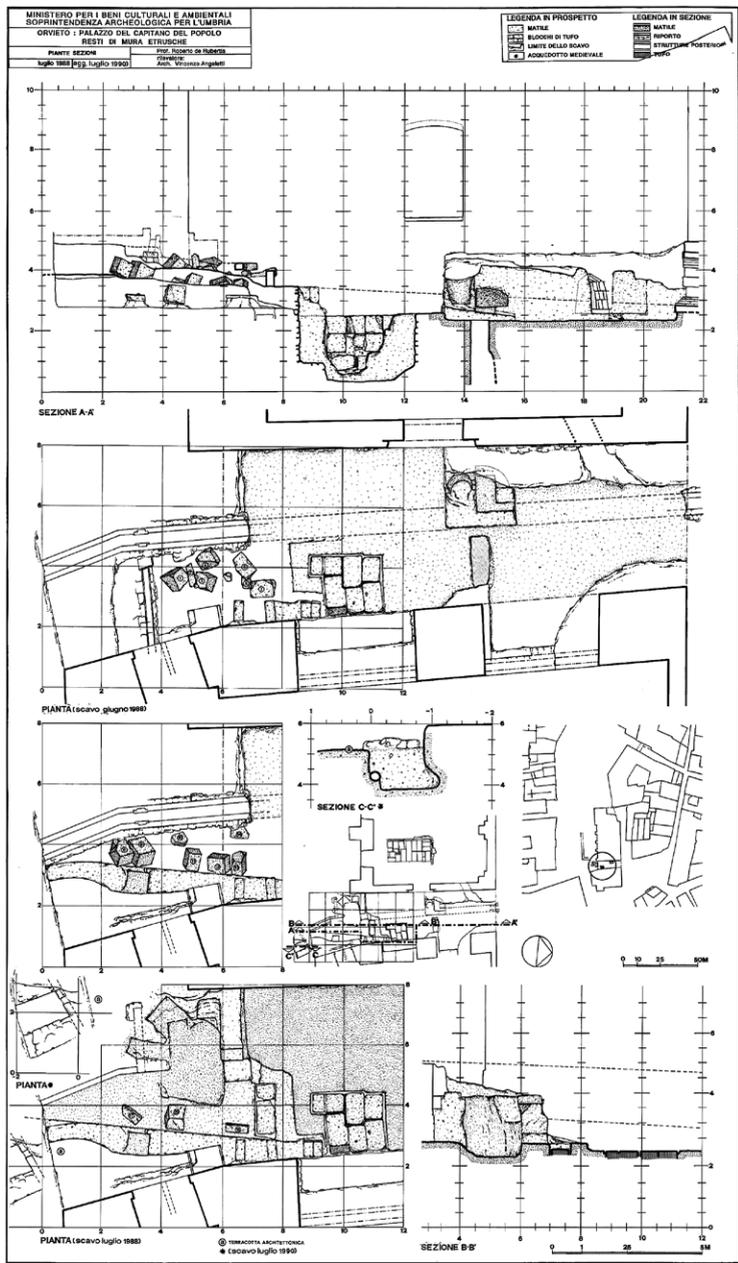


Fig. 9 – Impaginazione di un lucido contenente i rilievi dei resti delle mura etrusche site nel Palazzo del Capitano del Popolo di Orvieto rilevato nel 1988 da R. de Rubertis.

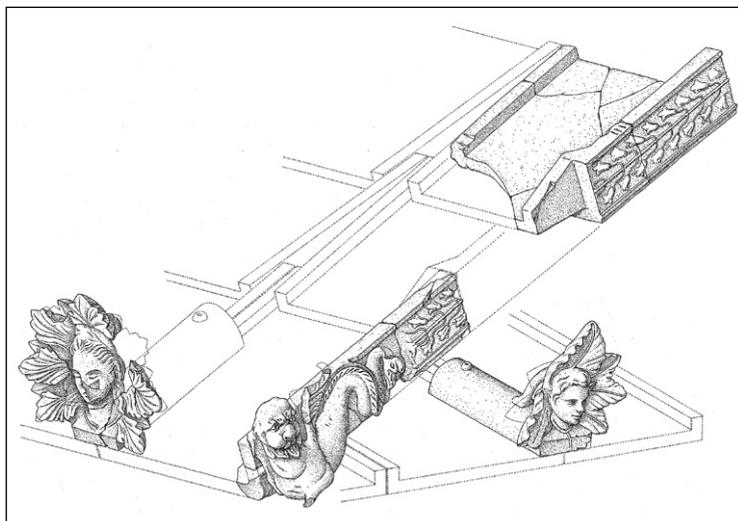


Fig. 10 – Raffronto fra l'ipotesi ricostruttiva del tetto del tempio di San Faustino a Perugia a partire dal rilievo di R. de Rubertis degli elementi conservati presso il Museo Archeologico Nazionale dell'Umbria.

La possibilità del digitale di poter non scegliere una rappresentazione definitiva induce comunque, anche quando è necessario selezionare le condizioni della rappresentazione, a cercare empiricamente le migliori condizioni rappresentative, mentre esistono delle condizioni grafiche già testate come prestanti, sottolineando poi come sia sempre conveniente concentrare gli sforzi su un'unica o al massimo due immagini di sintesi.

Bisogna sempre ricordarsi come il rilievo archeologico, in quanto prodotto rappresentativo, oltre ad assumere un ruolo documentale (GIORGI 2009), sia sempre uno strumento di narrazione del bene culturale. Nella sua stessa definizione, in quanto tassello della nostra cultura e della nostra identità, è intrinseca la necessità di raccontare, di svelare il suo significato che deriva dal suo rapporto con il tempo che diviene storia, esigenza poi sempre più contemporanea, alla quale risponde la rappresentazione. Con il disegno si possono realizzare “immagini per il racconto” ma, soprattutto, si costruisce un “racconto per immagini”, perché la produzione grafica non si arresta a statiche raffigurazioni, ma nella sistematicità delle immagini prodotte si palesano correlazioni e nessi. In tal senso la fotomodellazione per la sua anima digitale riesce a fare leva sugli aspetti multimediali e sulla “crossmedialità” temporale. Tale tecnica in maniera emblematica fornisce allora, in modo diverso, “immagini per il racconto” e un “racconto per immagini”, in una sequenzialità di informazione che tende ad allinearsi con la percezione del reale.

Il carattere simultaneo visivo clona lo spazio nella dimensione dell'immagine, allontanando così la realtà fisica, come mostra ad esempio la ricostruzione del particolare architettonico, che, contestualizzato nella possibile configurazione originaria, riesce a narrarne la sua storia e il suo significato come singolarmente il singolo pezzo non sarebbe riuscito a fare (Fig. 10).

F.B.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli strumenti digitali sempre più tendono a rispondere alla nostra impazienza che impone efficientamenti e semplificazioni. Il rilievo archeologico rimane però, come è sempre stato, costantemente segnato da quel rapporto fra selezione e tendenziosità definite in relazione agli obiettivi e alla singolarità contestuale dell'oggetto. Si crea così un'implicita tensione con la peculiarità del digitale, inteso sin dalle origini come strumento di raccolta indifferenziata di informazioni, necessariamente acritico. L'intrinseca differenza che emerge nel profondo cambiamento delle modalità rappresentative e quindi dei contenuti stessi, senza anacronistici rimpianti e quindi senza antagonismi fra storia e scienza, spinge verso un uso consapevole, integrato e attento degli strumenti. La rappresentazione del patrimonio archeologico è probabilmente uno degli ambiti in cui la fotomodellazione trova le condizioni al contorno ottimali. Seppur sempre condizionata dai vincoli connessi alla luce e all'accessibilità, ma in maniera simile a come gli stessi o altri impongono limiti a differenti tecnologie, l'utilizzo attento degli strumenti, a partire dalla presa fino ad arrivare alla gestione dei dati ma soprattutto nelle sintesi finali, si palesa ancora come quella condizione che porta ad un corretto bilanciamento fra tempo, fatica e qualità dei risultati.

La pratica e l'esperienza chiaramente giocano a favore del risultato finale. Rimane comunque la consapevolezza che un buon rilievo, come qualsiasi disegno, non si ottiene senza sforzi, non senza curare con attenzione dapprima quegli inevitabili errori sostanziali e successivamente le rappresentazioni finali. Il modello numerico non si ottiene con minore fatica rispetto al disegno geometrico. Alla base c'è sempre un percorso di interpretazione dei dati, scelte che, seppur interessano parzialmente la presa, diventano decisive nella creazione della nuvola di dati e durante le successive operazioni di finitura, dove è stato sottolineato il rischio di alterazione della misura, proprio però di qualsiasi rilievo. La comunicazione necessita comunque di una sintesi, che si esprime da un lato nella rifinitura della forma digitale, ma parimenti nelle scelte necessarie a sintesi espressive e comunicative capaci di porre in relazione contestualmente informazioni estratte e ricomposte per una narrazione di ciò che si comprende. Il vero tema dell'evoluzione futura di tale tecnologia sarà allora sempre più orientato a indirizzare tale veemenza

tecnica. Il consequenziale aumento dei dati comporta infatti sempre più una complessità nella loro gestione. Riuscire a classificarli e a porre in relazione le classi fra loro, con logiche che si possono ipotizzare similari alle strategie di rappresentazione generativa, può apparire oggi una prospettiva concreta della ricerca in tale ottica.

La fotomodellazione può trovare allora un paradigmatico raffronto nel mito di Dioniso, in quella paradossale *hybris* del calcolo combinatorio che trasforma le diverse immagini che riesce a prendere in forme tridimensionali attraverso un percorso che pare addirittura irrazionale. Dioniso esprime la *zoé*, il rapporto fra ordine e disordine che sempre più pare inglobare la sfera del digitale invasa da una proliferazione di dati. Il dio è rappresentato nei suoi riti da una maschera, un'immagine che evoca determinando un rapporto dialettico fra assenza e presenza, che dà riferimento all'alterità, che nasconde il vero volto, paradigma pieno dell'essenza virtuale del disegno. La narrazione mitologica racconta come, ancora bambino, venne attratto da specchi e giochi e fatto a pezzi dai Titani, che "affondarono la lama nel corpo del dio mentre contemplava una falsa immagine di sé riflessa nello specchio". L'immagine che vuole contenere il mondo si svela invece come fugace e temporanea, tradisce il giovane che viene fagocitato dalla sua connotazione ludica. La comprensione e la conoscenza, percorsi correlati alla contemplazione e al soggetto, non possono essere ricercate in tale simulacro, che seduce con il valore pervasivo dell'immagine. La scomposizione del problema, che di fatto è un'esigenza per affrontare la complessità, non arriva però a togliere il cuore del processo, che è la centralità del modello. Dioniso rinasce dal suo cuore, posto sopra l'altare di Apollo, una superficie piana, bianca, che può essere intesa come simbolo del foglio di disegno. Il dio della misura, dall'arte che cerca armonia ed equilibrio, dà vita a Dioniso, che così diviene immortale. La rappresentazione, intesa sia come scienza che come arte, nella complessità insita nella sua disciplina, andando al cuore del modello, ricomponendone le forme, svela la ricchezza dei suoi insegnamenti e il suo valore per il percorso di conoscenza che deve aprire anche per i beni archeologici.

F.B., M.F.

FABIO BIANCONI, MARCO FILIPPUCCI  
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
Università degli Studi di Perugia  
fabio.bianconi@unipg.it, marco.filippucci@unipg.it

### *Crediti elaborati grafici*

Le immagini redatte rappresentano ricerche ed esperienze didattiche svolte dagli autori e dal loro gruppo di lavoro. In particolare gli autori ringraziano il prof. Roberto de Rubertis (Figg. 8-10), Sofia Catalucci (Fig. 1 e Fig. 4), Marta Cardinali (Fig. 2), Marco Seccaroni (Fig. 5), Marco Bifulco (Fig. 6).

BIBLIOGRAFIA

- ADEMBRI B., ALONSO-DURÁ 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 (<http://eprints.bice.rm.cnr.it/16010/>).
- ALBERTI L.B. 1443, *De re aedificatoria*, Firenze.
- ARRIGHETTI A. 2012, *Tecnologie fotogrammetriche e registrazione 3D della struttura materiale: dal rilievo alla gestione dei dati*, in CURCI, FIORINI 2012, 283-298.
- BARTOLUCCI D. 2009, *Principi di laser scanning 3D. Hardware, metodologie applicative*, Palermo, Flaccovio.
- BATTINI C., VECCHIATTINI R. 2018, *Immagini hdr per la documentazione tridimensionale dei manufatti storici*, in R. SALERNO (ed.), *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. 40° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione (Milano 2018)*, Roma, Gangemi, 311-318.
- BERTOCCI S., ARRIGHETTI A., BIGONGIARI M. 2019, *Digital survey for the archaeological analysis and the enhancement of Gropina archaeological site*, «Heritage», 2, 1, 848-857 (<https://doi.org/10.3390/heritage2010056>).
- BIANCHINI C. 2014, *Survey 2.0: New technologies, new equipment, new surveyors?*, in P. GIANDEBIAGGI, C. VERNIZZI (eds.), *Italian Survey & International Experience. Proceedings of the 36<sup>th</sup> International Conference of Teachers of the Representation (Parma 2014)*, Roma, Gangemi, 763-768.
- BIANCHINI C. 2018, *Rilievo 2.0. Dalla teoria alla pratica*, in R. SALERNO (ed.), *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. 40° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione (Milano 2018)*, Roma, Gangemi Editore, 329-336.
- BIANCONI F. 2002, *Tetraktis. Strumenti, luoghi, materia, rilievo*, Perugia, Digital Point.
- BIANCONI F. 2005, *Segni digitali*, Perugia, Morlacchi.
- BIANCONI F., CATALUCCI S., FILIPPUCCI M. 2017, *Comparison between two non-contact techniques for art digitalization*, «Journal of Physics: Conference Series», 882, 1, 012005.
- BIANCONI F., FILIPPUCCI M., AMORUSO G., BERTINELLI M. 2019, *From the integrated survey of historic settlements to the pattern book within the BIM*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 135-142 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxlii-2-w9-135-2019>).
- BIANCONI F., FILIPPUCCI M., CATALUCCI S. 2017, *LINE, POINTS. Critical analysis of evolution of archaeological survey in forty years of experiences in Umbria*, «DISEGNARECON», 10, 19, E4.1-E4.20.
- BIANCONI F., FILIPPUCCI M., MAGI MECONI F. 2019, *Parametrical Vitruvius. Generative modeling of the architectural orders*, «SCIRES-IT», 8, 29-48 (<http://dx.doi.org/10.2423/122394303v8n2p29>).
- BINI M., BATTINI C. 2007, *Nuove immagini di monumenti fiorentini. Rilievi con tecnologia scanner laser 3D*, Città di Castello, Alinea.
- BLAIS F. 2004, *Review of 20 years of range sensor development*, «Journal of Electronic Imaging», 13, 1, 231-240.
- BRIDGMAN W. 1959, *The Way Things Are*, Cambridge, Harvard University Press.
- BRUSAPORCI S., TRIZIO I., RUGGERI G., MAIEZZA P., TATA A., GIANNANGELI A. 2018, *AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica*, «Restauro Archeologico», 27, 1, 112-132 (<http://dx.doi.org/10.13128/RA-23463>).
- BRYAN P., BEDFORD J., BLAKE B. 2009, *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage*, Swindon, English Heritage.
- BURSICH D., PACE A. 2017, *Ripensando il "metodo Beazley". Ceramica attica e fotomodellazione 3D: il caso del Painter of Syracuse 19861*, «Archeologia e Calcolatori», 28, 73-91.

- BUSCEMI F., MILITELLO P., D'AGOSTINO G., SAMMITO A.M. 2014, *Tecniche di fotomodellazione per la documentazione e la comunicazione in archeologia: il sito di Calicantone (RG)*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 131-156.
- CAIROLI GIULIANI F. 2018, *L'edilizia nell'antichità*, Roma, Carocci.
- CALISI D., MOLINARI M. 2019, *Towards a digital archaeological archive: The case study of the artefacts of the area of Fori Imperiali*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 189-196 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-189-2019>).
- CARPICECI M. 2012, *Fotografica digitale e architettura. Storia, strumenti ed elaborazioni con le odierne attrezzature fotografiche ed informatiche*, Roma, Aracne.
- CATALUCCI S., BIANCONI F., FILIPPUCCI M. 2017, *Photomodelling technique, dedicated software. Innovative representation of cultural heritage*, in G. PELLEGRINI (ed.), *De-Sign Environment Landscape*, Serrungarina (PU), David and Matthaus, 19-22.
- CHANDLER J., FRYER J. 2013, *AutoDesk 123D Catch: How accurate is it?*, «Geomatics World», 1 January, 28-30.
- CIGNONI P., CORSINI M., DELLEPIANE M., RANZUGLIA G., VERGAUWEN M., VAN GOOL L. 2008, *Meshlab and Arc3D: Photo-reconstruction and processing 3D meshes*, in D. ARNOLD, L. VAN GOOL, F. NICCOLUCCI, D. PLETINCKX (eds.) 2008, *Open Digital Cultural Heritage Systems Conference (Rome 2008)*, Budapest, Archaeolingua, 61-66.
- CLINI P., FRAPICCINI N., MENGONI M., NESPECA R., RUGGERI L. 2016, *SFM technique and focus stacking for digital documentation of archaeological artifacts*, ISPRS Archives, 41-B5, 229-236.
- CUNDARI C. 1982, *Fotogrammetria architettonica*, Roma, Edizioni Kappa.
- CUNDARI C. 1992, *L'immagine nel rilievo. Atti del Seminario di Studio (Lerici 1988, Roma 1989)*, Roma, Gangemi.
- CUNDARI C. 2012, *Il rilievo architettonico. Ragioni. Fondamenti. Applicazioni*, Roma, Aracne Editrice.
- CURCI A., FIORINI A. (eds.) 2012, *Documentare l'archeologia 2.0. Atti del Workshop (Bologna, 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 209-325.
- CURCI A., FIORINI A. (eds.) 2013, *Documentare l'archeologia 3.0. Atti del Workshop (Bologna 2013)*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 325-394.
- D'AGATA A.L., ALAURA S. 2008, *Quale futuro per l'Archeologia? Atti del Workshop Internazionale (Roma 2008)*, Roma, Gangemi Editore.
- D'ANDREA A., BARBARINO M. 2012, *Modellare lo scavo archeologico: esperienze e tecniche a confronto*, in CURCI, FIORINI 2012, 229-245.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. (eds.) 2000, *Atti del Workshop nazionale di archeologia computazionale (Napoli-Firenze 1999)*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 259-272.
- DELLEPIANE M., NICCOLUCCI F. 2011, *VAST 2011. The 12<sup>th</sup> International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, Cultural Heritage (Prato 2011)*, Goslar, Eurographics Association.
- DOCCI M. 1996, *Il rilievo dall'architettura concreta al suo modello immateriale. Atti del Convegno (Perugia 1995)*, Perugia, Università degli Studi di Perugia, 27-32.
- DOCCI M. 2001, *Una nuova cultura per il rilevamento*, «Disegnare idee ed immagini», 23, 34-76.
- DOCCI M. 2007, *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*, Roma, Gangemi.
- DOCCI M., MAESTRI D. 1993, *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, Roma, Laterza.
- DOCCI M., MAESTRI D. 2006, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma, Laterza.
- DUARTE F., RATTI C. 2018, *What Big Data tell us about trees and the sky in the cities*, in K. YCKE, C. GENGNAGEL, O. BAVEREL, J. BURRY, C. MUELLER, M.M. NGUYEN, P. RAHM, M.R. THOMSEN (eds.), *Humanizing Digital Reality*, Singapore, Springer Singapore, 59-62.

- FILIPPUCCI M. 2010, *Nuvole di pixel. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo d'architettura*, «DISEGNARECON», 3, 6, 50-63.
- FILIPPUCCI M. 2011, *Nota sulla versione digitale dell'opera*, in *Rilievi archeologici in Umbria – Perugia – Assisi – Orvieto – Otricoli – Spoleto*, Napoli, ESA Edizioni Scientifiche e Artistiche.
- FIORINI A. 2008, *Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica*, in G. DE FELICE, M.G. SIBILANO, G. VOLPE (eds.) 2008, *L'informatica e il metodo della stratigrafia. Atti del workshop (Foggia 2008)*, Bari, Edipuglia, 175-186.
- FIORINI A. 2013a, *Introduzione*, in CURCI, FIORINI 2013, 327-328.
- FIORINI A. 2013b, *Nuove possibilità della fotogrammetria. La documentazione archeologica del nuraghe di Tanca Manna (Nuoro)*, in CURCI, FIORINI 2013, 341-354.
- FIORINI A., ARCHETTI V. 2011, *Fotomodellazione e stereofotogrammetria per la creazione di modelli stratigrafici in archeologia dell'architettura*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 199-216.
- FIORINI L., MATERAZZI F. 2017, *Un Iseion a Gravisca? Fotogrammetria, telerilevamento multispettrale da APR e dati archeologici per una possibile identificazione*, «FOLD&R FastiOnLine documents & research», 396, 1-23.
- FLORIDO A.M., MONTERO F.R., PLAZA J.M.C. 2018, *Robust 3D visual localization based on RTABmaps*, in J. GARCIA-RODRIGUEZ (ed.), *Advancements in Computer Vision, Image Processing*, Hershey (Pennsylvania, USA), IGI Global, 1-17.
- GABRIELLI R., ANGELINI A., PORTARENA D. 2015, *Strategie innovative di elaborazione e restituzione dati del castello crociato di Wu'Ayra*, «Archeologia e Calcolatori», 26, 209-227.
- GABRIELLI R., PORTARENA D. 2017, *Tecniche di documentazione dei tappeti musivi del sito archeologico di Umm Al-Rasas – Kastron Mefaa (Giordania)*, «Archeologia e Calcolatori», 28, 201-218.
- GARCÍA-GÓMEZ I., FERNÁNDEZ M., MESANZA MORAZA A. 2011, *Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios*, «Arqueología de la Arquitectura», 8, 25-44.
- GARCÍA-LÁZARO F.J., SALA-BALLESTER P., FARJAS-ABADÍA M. 2012, *Morphometric analysis of engravings from photogrammetric point cloud data*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 135-149.
- GEORGOPOULOS A., NTRAGKA A., QUINTERO M. 2013, *Photogrammetric exploitation of HDR images for cultural heritage documentation*, in *XXIV International CIPA Symposium (Strasbourg 2013)*, ISPRS Annals, 2-5/W1, 209-214.
- GIANDEBIAGGI 2005, *Rilievo e conoscenza dell'architettura: ricerca delle innovazioni nella tradizione costruita*, in P. BERTOZZI, A. GHINI, L. GUARDIGLI (eds.), *Le forme della tradizione in architettura. Esperienze a confronto*, Milano, FrancoAngeli.
- GIANOLIO S. 2012, *Archeologia virtuale: comunicare in digitale*, Roma, Espera.
- GIORGI E. 2009, *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia. Atti della tavola rotonda (Bologna 2008)*, Bologna, BraDypUS.
- GRUEN A., REMONDINO F., ZHANG L. 2004, *Photogrammetric reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan*, «The Photogrammetric Record», 19, 107, 177-199.
- IAFRATE F. 2018, *Artificial Intelligence, Big Data: The Birth of a New Intelligence*, London, John Wiley & Sons.
- INCERTI M., LAVORATTI G., D'AMICO S., GIANNETTI S. 2018, *Il Mausoleo di Galla Placidia e le Digital Humanities per lo studio e la comunicazione di beni culturali architettonici*, in C.L. MARCOS ALBA, P.J. JUAN GUTIÉRREZ, J. DOMINGO GRESA, J. OLIVA MEYER, *De trazos, huellas e improntas: Arquitectura, ideación, representación y difusión. Actas del XVII Congreso internacional de expresión gráfica arquitectónica (Alicante 2018)*, Alicante, Universidad de Alicante, 465-474.

- KONTOGIANNI G., GEORGOPOULOS A. 2014, *Investigating the effect of HDR images for the 3D documentation of Cultural Heritage*, in *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference EuroMed 2014 (Limassol 2014)*.
- DE LUCA L. 2006, *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural: définition d'une approche de reconstruction 3D d'édifices*, Thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Centre d'Aix-en-provence, 31 March 2006.
- DE LUCA L. 2011, *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Palermo, Flaccovio Dario.
- MIGLIARI R. 2001, *Frontiere del rilievo, dalla matita alle scansioni 3D*, Roma, Gangemi.
- MIKHAIL E.M., BETHEL J.S., MCGLONE J.C. 2001, *Introduction to Modern Photogrammetry*, New York, Wiley.
- PANELLA C., GABRIELLI R., GIORGI C. 2011, *Le "Terme di Elagabalo" sul Palatino: sperimentazione di un metodo fotogrammetrico 3D applicato allo scavo archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 243-260.
- PATTEE A., VOLKMANN A., UNTERMANN M. 2017, *Integrative GIS-based investigation of the medieval fortress architecture of Pfalz, incorporating photogrammetry, geoinformatics, landscape analysis*, in S. GARAGNANI, A. GAUCCI (eds.), *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas. Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2, 521-530.
- PUCHE J. 2015, *Al di là della morte del disegno archeologico. I Massive Data Acquisition Systems (MDAS) in archeologia*, «Archeologia e Calcolatori», 26, 189-208.
- PUMA P. 2018, *Multidisciplinary experiences of virtual heritage for the documentation of architecture and archaeology within the DigitCH Group – Digital cultural heritage group*, «Lecture Notes in Computer Science », 11197, 242-252 ([https://doi.org/10.1007/978-3-030-01765-1\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01765-1_27)).
- PURINI F. 2008, *Attualità di Giovanni Battista Piranesi*, Melfi, Libria.
- RAHAMAN H., CHAMPION E., BEKELE M. 2019, *From photo to 3D to mixed reality: A complete workflow for cultural heritage visualisation and experience*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 13, e00102 (<https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00102>).
- REMONDINO F., FRASER C. 2006, *Digital camera calibration methods: Considerations and comparisons*, ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology', 36, 266-272.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S., GRUEN A., ZHANG L. 2008, *Turning images in 3-D models. Development and performance analysis of image matching for detailed surface reconstruction of heritage objects*, «IEEE Signal Processing Magazine», 25, 4.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S., GIRARDI S., RIZZI A., BENEDETTI S., GONZO L. 2009, *3D Virtual reconstruction and visualization of complex architectures. The 3D-ARCH project*, in *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 3D-ARCH 2009 (Trento 2009)*, ISPRS Archives, 38-5/W1, 1-9.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S. 2006, *Image-based 3D Modelling: A review*, «The Photogrammetric Record», 21, 15, 269-291.
- DE RUBERTIS R. 1991, *La relazione introduttiva. Dimensioni del disegno. Il rilievo fra Storia e Scienza*, «XY», 11-12.
- DE RUBERTIS R. 1992, *Ermeneusi*, in R. DE RUBERTIS, V. UGO, A. SOLETTI (eds.), *Temi e codici del disegno di architettura*, Roma, Officina Edizioni, 375.
- DE RUBERTIS R. 1994, *Il disegno dell'architettura*, Roma, NIS.
- DE RUBERTIS R., BIANCONI F., CAPONI T. 2009, *Le preesistenze archeologiche. Il rilievo delle mura nascoste*, in P. BELARDI (ed.), *Camminare nella storia. Nuovi spazi pedonali per la Perugia del terzo millennio*, Perugia, Fabrizio Fabbri Editore, 41-57.

- DE RUBERTIS R. 2011, *Rilievi archeologici in Umbria: Perugia, Assisi, Orvieto, Otricoli, Spoleto, Napoli*, Edizioni Scientifiche e Artistiche.
- RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 169-198.
- SCHEER D.R. 2014, *The Death of Drawing Architecture in the Age of Simulation*, New York, Routledge.
- SCHÖPS T., SATTLER T., HÄNE C., IMAGE M. 2017, *Large-scale outdoor 3D reconstruction on a mobile device*, «Computer Vision, Image Understanding», 157, 151-166.
- SGRENZAROLI M., VASSENA G. 2007, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*, Brescia, Starrylink.
- STRASSER T.F., MURRAY S.C., VAN DER GEER A., KOLB C., RUPRECHT L.A. JR. 2018, *Palaeolithic cave art from Crete, Greece*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 18, 100-108 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.12.041>).
- STROLLO R.M., D'AURIA S., DE SILLA F. 2017, *A multidisciplinary approach to digital archaeology*, «DISEGNARECON», 10, 19, 9.1-9.12 (<http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/298>).
- SZELISKI R. 2010, *Computer Vision: Algorithms, Applications*, Springer Science & Business Media.
- THOMPSON M., GRUNER H. 1980, *Foundations of Photogrammetry, Manual of Photogrammetry*, Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry.
- UGO V. 1981, *I luoghi di Dedalo. Elementi teorici dell'architettura*, Bari, Dedalo.
- VELLI A., VELLI E. 2017, *Documentazione e ricostruzione 3D di un menhir inedito rinvenuto in località "Sa Perda Fitta", Sant'Anna Arresi (Sardegna sud-occidentale)*, «Archeologia e Calcolatori», 28, 165-177.
- VERGAUWEN M., VAN GOOL L. 2006, *Web-based 3D Reconstruction Service*, «Machine Vision and Applications», 17, 6, 411-426.

## ABSTRACT

The paper addresses the theme of photomodelling techniques supporting archaeological survey and of the role played by the contemporary archaeologist dealing with computing and information technology. In particular, photomodelling, being a simple and economical technique, for years has gained ground in the archaeological survey as an efficient instrument to respond to the needs for documentation, study, and communication, which are inherent to digitization. Likewise, in the enhancement of perceptive aspects and in computation automatism, which are at the basis of the models' genesis, some pitfalls can be hidden that may lead to underestimate the centrality of interpretation. The critical analysis proposed aims at underlying the contribution of digital techniques, by analysing their reliability and their possible application to the traditional design. The paper compares some examples of archaeological data survey conducted in the Umbria region, in the last fifty years, from the point of view of experts involved in representation studies, and tries to capture the peculiarities that are still valid in the current transformation of graphic representation tools.