

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

OCNUS

Quaderni della Scuola di Specializzazione
in Beni Archeologici

26
2018

ESTRATTO

Ante
Quem

Direttore Responsabile

Nicolò Marchetti

Comitato Scientifico

Andrea Augenti (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)
Dominique Briquel (Université Paris-Sorbonne - Paris IV)
Pascal Butterlin (Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne)
Martin Carver (University of York)
Maurizio Cattani (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)
Elisabetta Govi (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)
Anne-Marie Guimier-Sorbets (Université de Paris Ouest-Nanterre)
Nicolò Marchetti (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)
Mark Pearce (University of Nottingham)
Giuseppe Sassatelli (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)

Il logo di Ocnus si ispira a un bronzetto del VI sec. a.C. dalla fonderia lungo la plateia A, Marzabotto (Museo Nazionale Etrusco "P. Aria", disegno di Giacomo Benati).

Editore e abbonamenti

Ante Quem

Via Senzanome 10, 40123 Bologna

tel. e fax + 39 051 4211109

www.antequem.it

Abbonamento

□40,00

Sito web

www.ocnus.unibo.it

Richiesta di scambi

Biblioteca del Dipartimento di Storia Culture Civiltà

Piazza San Giovanni in Monte 2, 40124 Bologna

tel. +39 051 2097700; fax +39 051 2097802; antonella.tonelli@unibo.it

Le sigle utilizzate per i titoli dei periodici sono quelle indicate nella «Archäologische Bibliographie» edita a cura del Deutsches Archäologisches Institut.

Autorizzazione tribunale di Bologna nr. 6803 del 17.4.1988

Senza adeguata autorizzazione scritta, è vietata la riproduzione della presente opera e di ogni sua parte, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la fotocopia, anche ad uso interno o didattico.

ISSN 1122-6315

ISBN 978-88-7849-138-0

© 2018 Ante Quem S.r.l.

INDICE

Nicolò Marchetti <i>Editorial</i>	7
Jacopo Monastero <i>Applicazione della tecnologia 3D per lo studio e la visualizzazione dei contesti archeologici: il caso di Karkemish</i>	9
Riccardo Vanzini <i>Alle origini di Felsina: l'abitato villanoviano della Fiera</i>	19
Angelo D'Angiolillo <i>Il quartiere artigianale di Elea in contrada Vasalia: nuovi dati dalla rilettura dei contesti</i>	41
Massimiliano David, Francesca Romana Stasolla <i>Il progetto Acheloo. Tecnologie per l'archeologia nel territorio di Civitavecchia</i>	49
Arialdo Patrignani <i>Appunti sull'iconografia di Traiano tra Medioevo e Rinascimento</i>	65
DOSSIER: PROGETTO MEDIA VALLE DEL CEDRINO (SARDEGNA)	
Angelo Alberti, Francesca Basso, Lorenzo Bonazzi, Marzia Cavriani, Dario Di Michele, Arianna Gaspari, Alessia Grandi, Smeralda Riggio, Camilla Simonini, Barbara Valdinoci <i>Progetto Media Valle del Cedrino: studio territoriale dell'altopiano del Gollei (Olivena-Dorgali)</i>	75
RECENSIONI	
Mario Liverani, <i>Paradiso e dintorni. Il paesaggio rurale dell'antico Oriente</i> (Giacomo Benati)	153

APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA 3D PER LO STUDIO E LA VISUALIZZAZIONE DEI CONTESTI ARCHEOLOGICI: IL CASO DI KARKEMISH*

Jacopo Monastero

Architecture isn't just about the simple creation of shells used to shelter people and their activities from the environmental conditions, but rather an elaborated form of expression and craft with the aim to manifest identities, status, needs and aesthetic standards. For this reason, a better understanding of each architectural reality requires a general analysis of its components, as well as a chronological and geographical contextualization within its original archaeological landscape. 3D technology can partially fill the gap between the observer and the archaeological context, recreated virtually using a well codified methodology for the 3D representation, which is fundamental for the elaboration of a correct and functional reproduction of artifacts and environments. Neo-Hittite Karkemish during Iron Age II (c. 950-700 BCE) has been used here as a study case to which applying his perspective.

Introduzione

A oltre quarant'anni dall'introduzione della 3D computer grafica e in particolare in seguito ai recenti sviluppi tecnici e tecnologici nel settore, l'utilizzo di questa forma di documentazione nei beni culturali e archeologici in questi decenni ha ricevuto solo parte dell'attenzione che si sarebbe auspicata. Il suo utilizzo si limita nella maggior parte dei casi a progetti *ad hoc* piuttosto che all'inserimento sistematico all'interno del processo di acquisizione ed elaborazione del dato archeologico. Le motivazioni che si celano alle spalle di questo altrimenti apparentemente insensato approccio sono state principalmente due: la prima di carattere economico, ovvero il costo

della strumentazione necessaria, e la seconda di carattere tecnico. Se è vero che gli impedimenti di carattere economico hanno visto una considerevole riduzione nel corso degli ultimi dieci anni, grazie agli importanti passi avanti compiuti nel settore e alle tecnologie di acquisizione di nuvole di punti (fig. 1), in particolare la *Structure From Motion (SFM)*¹, lo stesso non può dirsi per gli impedimenti di carattere tecnico. Dal momento dell'acquisizione dei dati alla produzione di un modello finito e perfettamente fruibile, a disposizione dell'utente, si rendono infatti necessarie alcune operazioni sistematiche, in parte trasversali rispetto alle diverse tipologie di approccio, come ad esempio l'ottimizzazione di *mesh* e *texture*, altre più peculiari e specifiche rispetto a ognuna delle metodologie di lavoro; principalmente il rilievo fotogrammetrico piuttosto che l'utilizzo di laser scanner o la modellazione/ricostruzione.

D'altro canto, una volta superate le difficoltà iniziali, i risultati ottenuti con questo tipo di approccio possiedono un grado di leggibilità e un livello di precisione del dato estrapolato intrinse-

* È doveroso esprimere i miei ringraziamenti ai membri della missione archeologica a Karkemish delle Università di Bologna, Istanbul e Gaziantep guidata dal prof. Nicolò Marchetti, il cui lavoro è stato alla base dello sviluppo del progetto, in particolare al reparto topografico composto dal dott. Giampaolo Luglio e dal dott. Marco Valeri. Si ringrazia inoltre l'ing. Enrico Marchi per il fondamentale aiuto per quanto riguarda gli studi effettuati sulla statica degli edifici di cui è stata prodotta la simulazione tridimensionale. Tutte le immagini, se non diversamente specificato, sono copyleft della Missione Archeologica Turco-Italiana a Karkemish. Le elaborazioni digitali sono dell'Autore.

¹ Per un esempio sulla metodologia di lavoro e sulla strumentazione comunemente utilizzata per il rilievo fotogrammetrico in campo archeologico e sull'utilizzo della documentazione così ottenuta, si rimanda a Fiorini 2013.

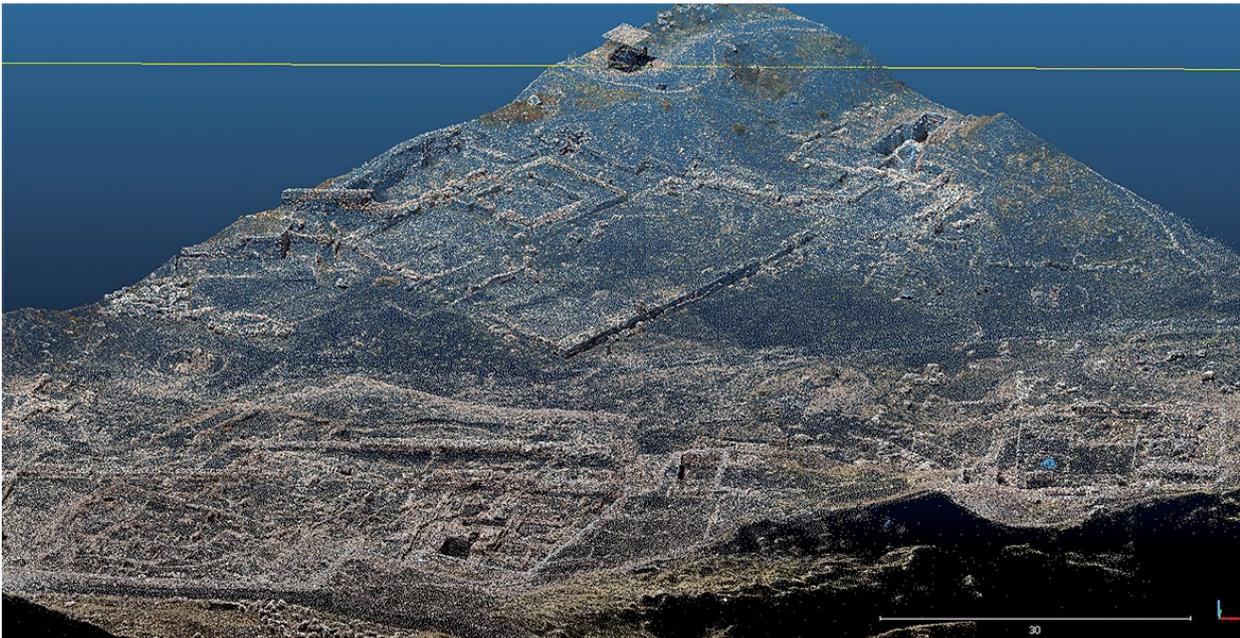


Fig. 1. Nuvola di punti generata dagli oltre 800 fotogrammi catturati attraverso rilevamento UAV della *Lower Palace area* di Karkemish.

camente superiori alla documentazione standard bidimensionale (Gooding 2008: 2-5). L'introduzione della modellazione 3D in campo archeologico rappresenta un fondamentale passo avanti per la possibilità di fruire delle informazioni di carattere spaziale e cromatico nella loro interezza, a beneficio del rigore nella documentazione e della conservazione del patrimonio e della completezza nella fusione delle conoscenze².

Il progetto *Visualizzare Karkemish* ha come obiettivo la produzione di una libreria virtuale di documentazione tridimensionale liberamente consultabile attraverso piattaforme di visualizzazione *open source*.

Il caso di studio

Le criticità intrinseche rivelate dal complesso caso di Karkemish già dalla prima campagna di scavo, avvenuta nel 2011, hanno comportato la necessità di adottare una metodologia lavorativa rigorosa e puntuale ma allo stesso tempo rapida,

al fine di ottimizzare l'investimento di tempo e risorse profuso cercando, al contempo, di preservare l'integrità del dato estrapolato. Il sito presenta infatti un'impressionante continuità abitativa, dal piccolo abitato che sorgeva sulla croce almeno a partire dal periodo neolitico al grande centro urbano in epoca hittita e assira, fino all'insediamento militare turco stanziato attorno agli anni '20 del secolo scorso. Questa complessità stratigrafica, oltre a rendere estremamente difficoltose le operazioni di scavo, ha come effetto quello di produrre un'incredibile quantità di informazioni da processare. Anche per questo motivo le primigenie operazioni archeologiche condotte nei primi due decenni del secolo scorso da parte del *British Museum*, pur avendo il merito di aver portato alla luce uno dei più importanti centri politico-religiosi neo-hittiti, da un lato hanno causato la perdita della memoria storica e archeologica delle fasi abitative più tarde a causa della documentazione di scavo redatta molto approssimativamente e della dispersione di buona parte della documentazione archeologica. Questa venne in parte prelevata dal sito e dalla casa-missione britannica e attualmente conservata parzialmente presso il Museo delle Civiltà Anatoliche di Ankara e al Museo Archeologico di Gaziantep.

Con la consapevolezza di questi precedenti, nel caso di Karkemish l'introduzione della documentazione 3D costituisce un passo avanti fonamen-

² Il caso di studio più emblematico si trova nel fondamentale Forte *et alii* 2012, in cui sono tracciate le linee guida metodologiche fondamentali per la lavorazione, oltre ad interessanti modalità di utilizzo della documentazione prodotta.

tale, permettendo una più rapida acquisizione quantomeno della documentazione topografica, e avvicinando ulteriormente la rcheologia ai crismi del metodo scientifico, che prevede la necessità di riproducibilità dell'esperienza al fine di verifica, mitigando la natura irreversibile e distruttiva dello scavo archeologico (Frischer 2008: V). è in questo modo inoltre possibile sopperire almeno parzialmente, con un sopralluogo virtuale, all'impossibilità di raggiungere l'area di scavo per fini di ricerca come turistici³, se non in determinati periodi e previo consenso non scontato da parte delle autorità politiche e militari turche, a causa della turbolenta situazione politica che interessa l'area.

Conservazione e documentazione

La metodologia di lavoro portata avanti nel corso degli ultimi anni ha visto un utilizzo privilegiato del metodo di rilievo fotogrammetrico (*SFM*) rispetto a quello del laser scanner, pur impiegato in alcuni frangenti⁴, per via della natura estensiva dello scavo, permettendo di limitare drasticamente le tempistiche di acquisizione dati sul campo, notoriamente più lunghe nell'uso del rilievo laser⁵. I modelli tridimensionali della città interna sono stati prodotti nel corso delle varie campagne di scavo mediante fotogrammi catturati con una serie di voli da drone. In fase di elaborazione i fotogrammi sono stati allineati con un sistema di punti noti e mire georeferenziate situate all'interno della rea urbana circondata dai terrapieni⁶ per correggere larga parte dell'errore naturalmente prodotto. Durante la campagna di

scavo del 2017 il modello generale a bassa risoluzione è stato integrato con uno maggiormente risoluto relativo al distretto politico-religioso della città durante il Ferro II, la cosiddetta *Lower Palace area*, ottenuto con volo a quota 10 metri. I rilievi così ottenuti attraverso la applicazione della tecnologia *SFM* sono poi adoperati per ricavare piante topografiche finali delle singole aree di scavo interessate. Più recentemente si è infine giunti a una maggiore consapevolezza sulle potenzialità della documentazione 3D, non solo come eccellente strumento attraverso cui risalire alla più tradizionale documentazione bidimensionale, bensì come mezzo alternativo per una esperienza conoscitiva più ampia. A tal proposito, affinché questa possa essere facilmente adoperata da un utente con competenze basilari in ambito di computer grafica o con strumenti di visualizzazione ordinari, si rende necessaria una serie di rimaneggiamenti finalizzati ad abbassare i requisiti necessari per la visualizzazione dei modelli, altrimenti estremamente onerosi in termini di utilizzo *CPU*, *GPU* e *RAM*⁷. Una volta elaborate le *mesh* all'interno di specifici programmi di fotogrammetria partendo dalle nuvole di punti processate, queste necessitano di alcune ulteriori elaborazioni all'interno di applicazioni di modellazione 3D:

- correzione e pulitura delle *mesh* che presentano sovente lacune ed errori prodotti in fase di allineamento dei fotogrammi ed elaborazione del modello;

- decimazione delle *mesh* secondo algoritmi interni al programma di modellazione. Questo processo rielabora il modello da *high poly* a *low poly*, preservandone la conformazione generale ma riducendone drasticamente il conteggio delle facce che ne compongono la *mesh*; in questo modo viene dunque ridotto anche il peso in termini di byte del file elaborato, abbassando la soglia delle specifiche tecniche necessarie per la visualizzazione;

- *retopology* ovvero la fase di ricostruzione delle *mesh*, effettuata in parte attraverso programmi ed applicazioni dedicate e in parte manualmente, con geometrie interne ottimizzate; più in generale, convertendone le facce da triangolari a quadrate e riducendone ulteriormente il conteggio;

- *unwrapping* delle *texture*, ovvero una rimappatura delle geometrie create in seguito alle opera-

³ A tale scopo risulta fondamentale certamente un processo di acquisizione il più accurato possibile, ma ancor più la trasparenza nella metodologia impiegata nella produzione dei modelli, dando la possibilità all'osservatore di comprendere cosa sta guardando e gli eventuali limiti o falle del modello proposto. Un manifesto a questo riguardo è proposto in Ga bellone 2015.

⁴ In Adamo *et alii* 2014 sono proposti alcuni casi di studio in cui è stata impiegata la tecnologia di rilievo tramite laser scanner, in particolare sulla stele iscritta KH.11.O.400 per cui la maggiore risoluzione garantita da questa metodologia di lavoro è fondamentale.

⁵ La superiore precisione e la relativa semplicità di utilizzo del rilievo laser comportano da l'altro canto tempistiche di acquisizione del dato spaziale molto dilatate, nonché strumentazioni estremamente costose, soprattutto per la mappatura di vaste aree. Comparazione fra le due differenti metodologie di approccio in Dell'Unto, Galeazzi, Di Iorio 2006.

⁶ Per una disamina più approfondita sulle tecniche utilizzate si rimanda a Bittelli *et alii* 2014.

⁷ Una simile metodologia di lavoro viene affrontata in Moro *et alii* 2013, applicando le *texture* ad alta risoluzione acquisite mediante rilievo fotogrammetrico al modello della chiesa della *Compagna de Jesù* ottenute mediante laser scanner.

zioni già elencate, ottimizzando gli spazi occupati dalle proiezioni dalle singole facce dello ggetto su di un piano. Con questa operazione si indicano al programma le informazioni con cui distribuire la *texture* sullo ggetto, producendone di dimensioni inferiori rispetto alle originali ma con le medesime informazioni l'obiettivo;

- *baking* delle *texture* che catturano informazioni sul comportamento della luce a contatto con le superfici dell'oggetto tridimensionale. Quelle maggiormente utilizzate sono l'*ambient occlusion* e le *normal map*, entrambe ottenute dal modello ad alta risoluzione prima del processo di decimazione e successivamente applicate al modello *low poly*. Con questo stratagemma è possibile memorizzare all'interno di una speciale *texture* l'effetto ottico che la luce produce andando a colpire le superfici della *high poly mesh* e trasferendole sul modello a bassa risoluzione, simulandone i raggi;

- *baking* delle *texture* che conferiscono la colorazione alla *mesh*.

Gli oggetti così ottenuti (fig. 2) presentano dimensioni estremamente ridotte rispetto al originale *high poly* ma allo stesso tempo con una qualità difficilmente distinguibile dall'oggetto originario, permettendone così l'utilizzo su ordinari PC e laptop, così come all'interno di piattaforme *open source* per la visualizzazione di modelli 3D quali *Meshlab*, *Blender*⁸ (fig. 3) e *Sketchfab*⁹. Soprattutto, questa metodologia di lavoro si rende indispensabile nella creazione di complesse ambientazioni virtuali, composte da decine di oggetti, all'interno di piattaforme GIS 3D o di semplice visualizzazione/interazione¹⁰. Semplificarne il processo interno con cui il programma acquisisce ed elabora le informazioni che compongono ogni scena dinamica produce un alleggerimento impressionante

⁸ La nuova versione di *Blender 2.8*, liberamente scaricabile nella versione beta test sul sito www.blender.org, fra i numerosi aggiornamenti apportati propone un'interfaccia e in generale una modalità di utilizzo più intuitiva rispetto alla versione precedente, rendendolo ora un valido strumento anche in mano a chi non è esperto.

⁹ In particolare *Sketchfab* impone delle specifiche massime in termini di peso di *mesh* e *texture* oltre le quali non viene consentito l'upload dei modelli. Questa soglia varia dai 50 MB della versione base gratuita sino ai 500 MB di quella premium, che prevede il pagamento di un abbonamento mensile.

¹⁰ Le possibilità di utilizzo della documentazione tridimensionale sono enormi, a partire dall'impiego negli ambiti in cui viene attualmente utilizzata principalmente la documentazione bidimensionale nello studio di contesti archeologici, come dimostrato in Landeschi *et alii* 2015, per giungere sino ad elaborazioni di carattere prevalentemente divulgativo come nell'applicazione della realtà aumentata in contesti di visualizzazione interattiva.

del carico di lavoro di *GPU*, *RAM* e *CPU*, con un miglioramento della fluidità nella visualizzazione di scene complesse e tridimensionali servibili.

Il medesimo flusso di lavoro è stato impiegato anche per la realizzazione dei modelli degli ortostatis collocati in basaltici calcareo. Queste ricoprivano una funzione esclusivamente decorativa, adornando le mura esterne degli edifici che affacciavano sul piazzale della *Lower Palace area*, con scene di cortei di offerenti nella cosiddetta *Processional Entry* che accompagnava l'ingresso al cortile, sfilate militari accanto al *Royal Buttress* che riproduce scene di investitura regale, e sul *Long Wall of Sculpture* a nord-est della scala che conduceva alla copola, e un'alternanza di iconografie mitiche lungo l'*Herald's Wall*. Questi gruppi scultorei, assieme ad altri sporadici ritrovamenti sparsi nelle altre aree interne della città, furono asportati e collocati principalmente al Museo delle Civiltà Anatiche di Ankara. I fotogrammi adoperati per le ricostruzioni di *SFM* sono stati acquisiti nel 2013 con una fotocamera *Sony NEX-7* 24 megapixel precedentemente calibrata. Le condizioni di illuminazione non ottimali dei rilievi dovute all'impianto interno della struttura museale sono state corrette, ove possibile, in fase di *post processing* facendo ricorso a diversi programmi di fotoritocco prima di procedere con il tiling delle *textures*.

I rilievi lapidei sono stati integrati virtualmente all'interno del contesto originario nel modello della *Lower Palace area* e posizionati coerentemente con la documentazione di scavo pubblicata su Karkemish¹¹ (fig. 4). I modelli delle sculture che hanno subito danneggiamenti nel corso degli anni da parte della popolazione locale (Marchetti 2014: 35) oppure durante la costruzione degli avamposti militari, sono stati integrati con fotografie storiche realizzate dagli scavatori. Una volta processati e ottimizzati, i modelli delle lastre sono progressivamente importati all'interno di *Sketchfab*, la più nota piattaforma on-line che permette la condivisione e la visualizzazione di oggetti 3D accompagnati da didascalie.

Simulazione dell'aspetto della Lower Palace area

Con un approccio metodologico differente, ma partendo dalle acquisizioni 3D prodotte,

¹¹ In particolare Hogarth 1914; 1921; Woolley e Barnett 1952; più recentemente Mazzoni 1997 e Gilbert 2011 con una approfondita disamina del corredo statuario karkemishita.

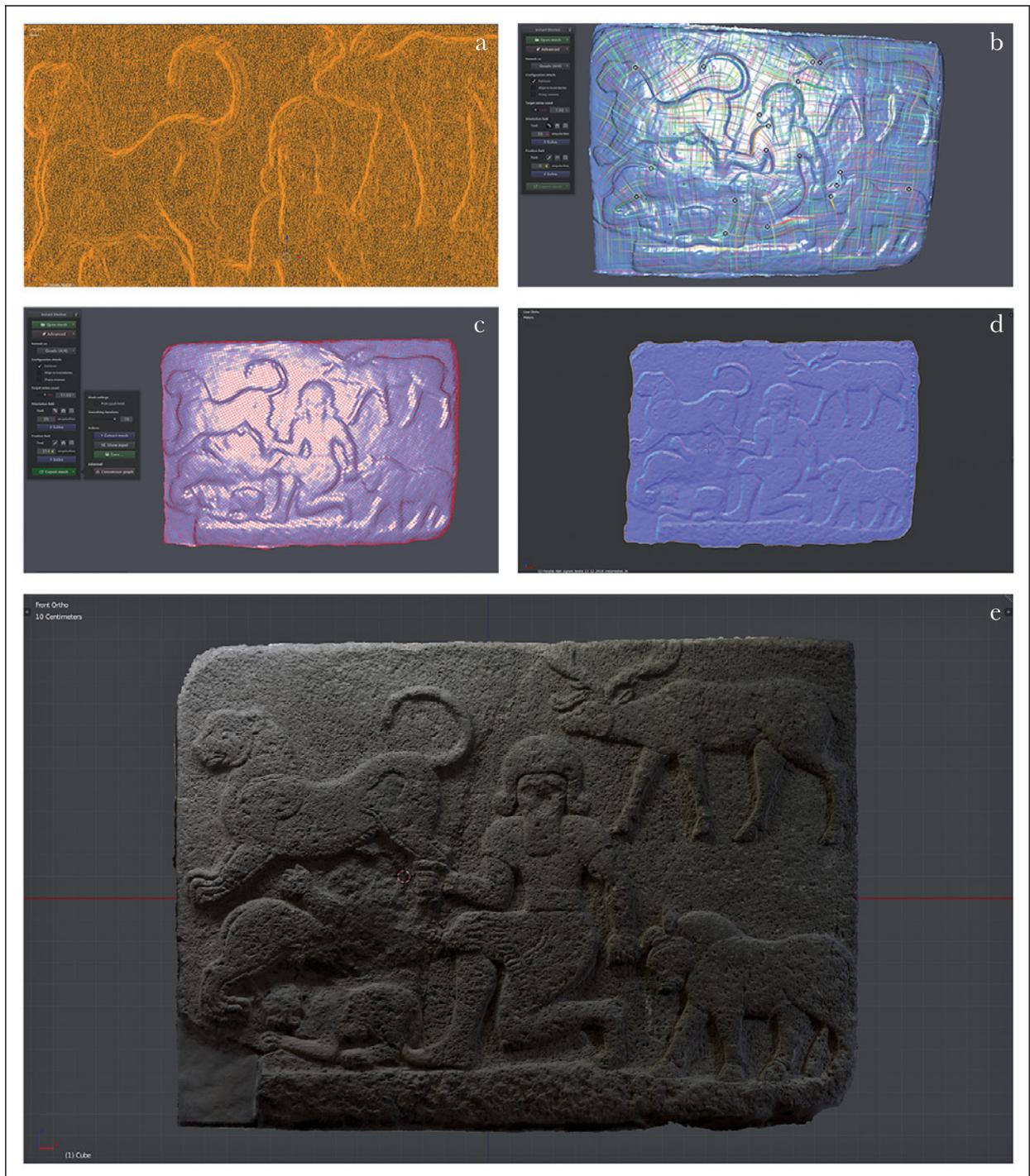


Fig. 2. Flusso di lavoro generalmente utilizzato per l'ottimizzazione di modelli 3D all'interno di applicativi open source gratuiti. Il modello *high poly* (a) ottenuto dalla nuvola di punti generata dai programmi di fotogrammetria o dalle scansioni laser viene successivamente importato su *Instant Meshes*, rielaborando la *mesh*, riducendone il conteggio delle facce e arrangiandone la disposizione, ma mantenendone la struttura e le dimensioni originali (b-c). Una volta importate le *mesh* in *Blender*, vengono elaborate *ambient occlusion*, *normal map* (d) e *texture* (e) del modello *low poly* attraverso i processi di *baking*.



Fig. 3. Con l'utilizzo del *modifier boolean* di *Blender* è possibile ottenere automaticamente sezioni e profili di strutture e U.S.

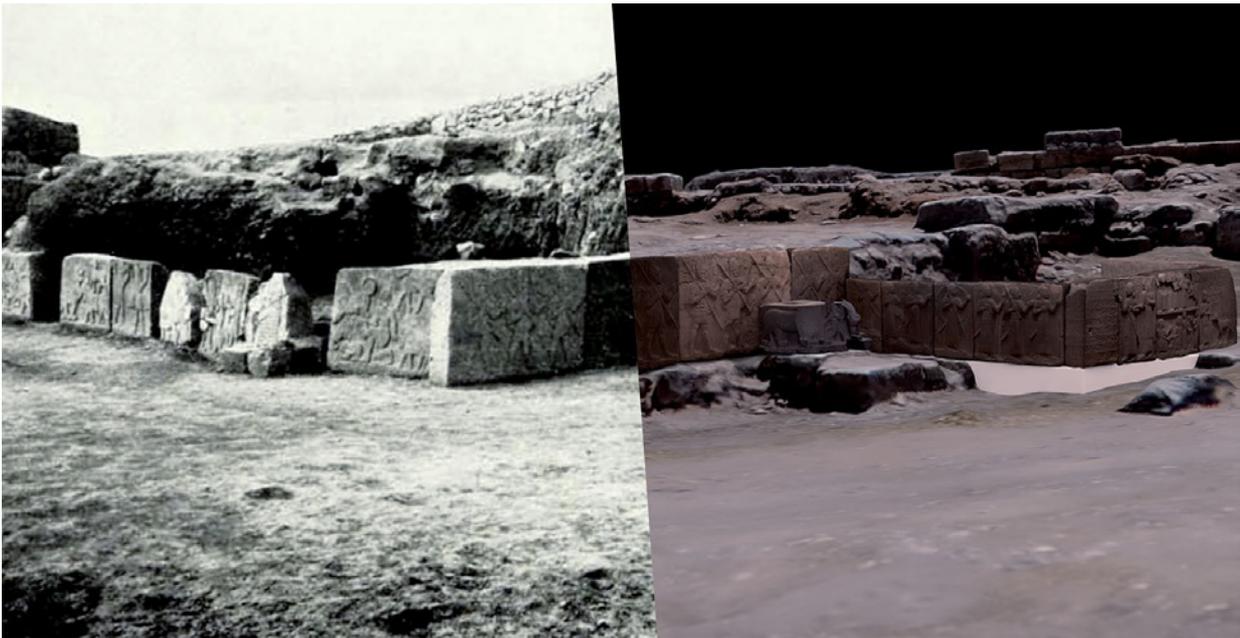


Fig. 4. L'immagine sulla sinistra ritrae l'aspetto della giunzione fra l'*Herald's Wall* e il *Royal Buttress* così come appariva alla sua scoperta; sulla destra è rappresentata l'area allo stato attuale delle operazioni di scavo, integrata con i modelli in rilievo conservati ad Ankara.

stato riprodotto l'aspetto che doveva presentare il centro politico e culturale di Karkemish subito prima della sua totale dismissione in seguito alla conquista della città da parte di Sargon II e all'annessione al regno di Assiria. L'apparen-

temente incolmabile divario fra la mancanza di strutture con un alzato sufficientemente preservato e l'aspetto originario delle strutture è stato parzialmente compensato dall'utilizzo congiunto delle evidenze archeologiche desunte nel corso



Fig. 5. Stele funeraria inscritta in caratteri luvi, rappresentante una porzione della facciata di un edificio templare.



Fig. 6. Placca bronzea della porta di Balawat raffigurante il pagamento di un tributo da parte del sovrano di Karkemish (registro alto) al regno di Assiria (Wikimedia Commons).

delle operazioni di scavo assieme ad indagini di tipo geotecnico per gli studi sulla realizzabilità delle ipotesi avanzate¹².

L'intero complesso si articola attorno ad un piazzale pubblico al quale l'ingresso, regolamentato da due porte monumentali, la *King's Gate* e la *Water Gate*, era probabilmente consentito solamente in particolari momenti dell'anno, in concomitanza con festività ed eventi pubblici, come suggerisce la presenza di complessi statuari rivolti esclusivamente lungo le porte e sulla piazza stessa¹³.

Gli edifici che delincono il perimetro di questo grande cortile appartengono a vari momenti del Ferro II (950-700 a.C.), la cui costruzione rimpiazzava strutture simili più antiche (Marchetti 2016: 374, 378-383), confermando fondamentalmente la continuità funzionale dell'area e la continuità politica fra la dinastia hittita e quella successiva dei signori locali¹⁴. La metodologia costruttiva la medesima all'interno di tutto il complesso, con oc-



Fig. 7. Attestazione dell'impiego di impalcature ignee all'interno della muratura esterna dell'edificio palaziale (W.6 640).

casionali variazioni probabilmente dettate da necessità legate alla funzionalità e alla conformazione dell'edificio. Le fondazioni sono scavate ad una profondità di circa 1 metro, con uno spessore che di poco supera quello delle murature soprastanti e interamente riempite con pietrame di risulta dalla lavorazione di blocchi più grandi usati per gli alzati (Woolley 1921: 147-150). Fra uno strato di pietre e l'altro veniva versata argilla a riempimento degli interstizi. Con la medesima tecnica del muro a sacco era composto anche lo zoccolo in pietra del muro soprastante, arginato verso l'esterno dell'edificio da grandi blocchi in calcare e a salto¹⁵ finemente levigati o scolpiti.

¹² Questo tipo di considerazioni sono state possibili grazie alla cooperazione con l'ingegnere strutturale Enrico Marchi.

¹³ Dalla conformazione della area si evince la natura comunitaria che le celebrazioni dovevano avere, con la presenza di grandi folle di cittadini che confluivano all'interno della *Lower Palace area* in precisi momenti della anno; la visibilità era dunque un aspetto fondamentale nella teatralità dell'atto in sé, incrementata con l'utilizzo di scalinate, terrazze rialzate e imponenti strutture murarie: Gilibert 2011:119-124.

¹⁴ Questa continuità è suggerita anche dall'utilizzo della titolatura regale adottata dai regnanti del tardo Ferro I, la stessa dei predecessori hittiti. Con l'ascesa al potere della casata di Suhi I e la affermarsi di aspetti culturali più regionali, questa continuità sembra venire meno: Hawkins 2000; Hawkins, Parker 2014.

¹⁵ Luso del basalto, in qualche caso reimpiegato tra un sovrano e l'altro come nel caso delle iscrizioni A9 e A10 reimpiegate come soglia della *King's Gate* o le evidenti

Lim piego di mattoni di argilla cruda dalle dimensioni standardizzate rappresenta la tecnica costruttiva più ampiamente utilizzata all'interno della *Lower Palace area*, soprattutto per via della mancanza di cave di pietra nelle vicinanze e la so-

vrabbondanza di argilla che garantiva anche un ottimo isolamento termico fra interno ed esterno dell'edificio. Solamente in tre punti del muro perimetrale conservatosi sino ad oggi del cosiddetto Palazzo di Katuwa si riscontra l'utilizzo di una



Fig. 8. Simulazione dell'aspetto del cosiddetto *Hilani* partendo dall'interpretazione proposta da Busink 1967: 524-533, rivista sulla base di ipotesi recentissime invenzioni archeologiche degli ultimi due decenni.



Fig. 9. Simulazione dell'aspetto del centro politico-culturale di Karkemish all'alba della distruzione portata da Sargon II. Sulla destra si intravede parte della *King's Gate* da cui si accedeva al piazzale; l'ingresso era accompagnato dalla sfilata di offerenti del ciclo scultoreo della *Processional Entry*. Sulla sinistra si accedeva al cortile dello *Storm God Temple*, mentre sulla destra continua il piazzale decorato dai rilievi dell'*Herald's Wall* da cui si accedeva all'*Hilani*, il maggiore dei templi della *Lower Palace*.

tracce di riutilizzo sulle lastre B7b e B8 del *Royal Buttness*, conferma il pregio del materiale, probabilmente importato dalla Siria.

tecnica muraria che vede il piego congiunto di mattoni da tegola incastolati all'interno di una robusta armatura lignea¹⁶. L'utilizzo di travetti in legno (fig. 7), messo in risalto anche dalle iscrizioni riportate sui monumentali battenti in basalto reimpiegati nella pavimentazione della *King's Gate*¹⁷, può trovare giustificazione nel fatto che la struttura interna composta dalle travi doveva rendere le mura più resistenti a fenomeni di torsione e flessione, soffrendo minori danni durante fenomeni sismici a cui l'intera regione è molto soggetta, trovandosi al di sopra di una zona di faglia. Il peso specifico inferiore del legno rispetto alla tegola produceva un alleggerimento della struttura che, oltre a ridurre l'energia cinetica del muro se sottoposto ad accelerazioni tangenziali, permetteva di raggiungere elevazioni maggiori a parità di sezione muraria. L'aspetto esteriore degli edifici è stato desunto dalla conformazione delle planimetrie, comparate con le medesime di altri edifici simili che presentassero un grado migliore di conservazione. In particolare, per desumere l'aspetto che dovevano presentare le facciate si è fatto riferimento in larga parte alla documentazione iconografica relativa alla città, riportata principalmente sulle stele funerarie in calcare recanti motivi architettonici.

Non possedendo riferimenti precisi sulla altezza degli edifici, si è optato per verificare le condizioni estreme oltre le quali l'edificio avrebbe senz'altro presentato problemi di stabilità. Nel caso dell'*Hilani* (fig. 8), il maggiore degli edifici templari rinvenuti a Karkemish, è possibile ipotizzare la calpestabilità del solaio per via della presenza di un vano scala individuabile nella pianta sul retro del edificio, il quale appare essere stato ancora funzionante al momento della dismissione della realtà¹⁸. Considerate sia le tecniche edilizie impiegate per la realizzazione sia la planimetria dell'edificio è stata simulata la realizzabilità della copertura cal-

pestable del vano principale dell'*Hilani*¹⁹, nonché del solaio sulle singole murature, e in particolare su quelle più sollecitate²⁰. Concludendo, l'unico limite nella costruzione non consistette nella messa in opera o nella scelta dei materiali da costruzione dell'edificio, bensì nella natura argillosa del suolo su cui il tempio fu eretto. Da quanto è emerso l'*Hilani* non avrebbe potuto sopportare una altezza di oltre 15 metri, andando incontro a cedimenti del suolo argilloso sotto il peso dei muri sovrastanti a causa della relativamente bassa resistenza a compressione di questi²¹.

Conclusioni

Appare ormai evidente che la computer grafica negli anni a venire diventerà progressivamente uno degli strumenti principali per la documentazione e la conservazione del patrimonio culturale ed archeologico grazie alla rapidità delle operazioni di rilevamento e alla precisione del dato restituito. In prospettiva futura, con il crescente impiego di strumenti di computazione ed intelligenze artificiali anche nel campo dei beni culturali sarà possibile sfruttare al massimo l'ingente quantità di dati presenti in modelli ad alta risoluzione, ma sino a quel momento è fondamentale che i modelli possano essere utilizzati e consultati senza l'ausilio di strumentazioni specialistiche. La conversione verso una documentazione tridimensionale può in questo modo portare, come nel caso di Karkemish, alle emergere di nuove questioni e nuovi approcci metodologici attualmente inesplorati, facendo progredire ulteriormente la ricerca. Inoltre la natura stessa del modello tridimensionale ne fa un fondamentale strumento di diffusione, rendendo i dati più facilmente leggibili ed interpretabili rispetto a singoli fotogrammi o disegni, soprattutto nei confronti di un pubblico composto principalmente da non archeologi.

¹⁶ La presenza di travi che attraversavano orizzontalmente i muri che sovrastavano la *Processional Entry* era già stata individuata da Woolley e Barnett (1952: 196-199), e confermata dalle più recenti operazioni condotte sul campo. La datazione dei frammenti di legno carbonizzato confermano sostanzialmente la datazione già avanzata per l'edificio sulla base delle analisi stilistiche sulle decorazioni in pie trac hen ede coravanol efa cciate.

¹⁷ Il testo viene tradotto da Hawkins (2000: 104-107) come segue: «because wood came after me for these upper floor».

¹⁸ Differentemente da quanto riportato da Woolley e Barnett (1952: 170), riguardo il vano scala nella porzione posteriore dello *Storm God's Temple*, probabilmente sigillato nelle fasi finali di utilizzo dell'edificio.

¹⁹ Nonostante le dimensioni della cella dell'edificio, di circa 12x6 m, lo spessore dei muri risulta più che sufficiente per il sostegno di solaio anche senza un colonnato interno di supporto.

²⁰ Le murature che risultano più sollecitate sono quelle che presentano uno spessore minore, in quanto la superficie di scarico del peso della struttura sovrastante risulta inferiore.

²¹ I suoli composti prevalentemente di argille sono in assoluto quelli che presentano una resistenza a compressione minore, stimata a circa 0.2 kg/cm².

Bibliografia

Adamo, A., Bassetto, S., Bitelli, G., Girardi, F., Girelli, V., 2014. 3D Scanning of Sculptures and Inscriptions at Karkemish, in N. Marchetti (ed.), *Karkemish*:149- 153.

Bitelli, G., Mandanici, E., Bernardoni, S., Trojanis, R., 2014. Georeferencing Karkemish, in N.M archetti(ed.), *Karkemish*:154- 161.

Busink, T.A., 1967. *Der Tempel von Jerusalem von Salomob isHerodes* (SFSMD,3), Leyden: Brill.

DellUnto, N., Galeazzi, F., Di Ioia, M., 2006. Via Flaminia project: relief and post processing data techniques, in S. Campana, M. Forte (eds.), *From space to place* (2nd International Conference on Remote sensing in Archaeology. Proceeding of the 2nd International Workshop), Roma: CNR: 523-528.

Fiorini, A., 2013. Nuove possibilità della fotogrammetria. La documentazione archeologica del nuraghe di Tanca Manna (Nuoro), *ACalc* 24: 341-354.

Forte, M., DellUnto, N., Issavia, J., Onsureza, L., Lercaria, N., 2012. 3D Archaeology at Çatalhöyük, *IJHDE*1/3:351- 378.

Frischer, B., 2008. From digital illustration to digital heuristic, in B. Frischer, A. Dakouri-Hild (eds.), *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, Oxford: BAR:V-XXII.

Gabellone, F., 2015. The scientific transparency in virtual archaeology: new guidelines proposed by the Seville Charter, in F. Chen, F. Gabellone, R. Lasaponara, G. Leucci, E. Rizzo (eds.), *Remote sensing and ICT for Cultural Heritage: from European and Chinese perspectives*, Potenza: CNR-CAS:77- 112.

Gilbert, A., 2011. *Siro-hittite monumental art and the archaeology of performance. The stone reliefs at Carchemish and Zincirli in the earlier first millennium BCE*, Berlin: De Gruyter.

Gooding, D.C., 2008. Envisioning explanation: the art in science, in B. Frischer, A. Dakouri-Hild (eds.), *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital*

Technologies as Tools for Discovery in Archaeology, Oxford:BAR:1- 19.

Hawkins, J.D., 2000. *Corpus of Hieroglyphic Luwian Inscriptions: Inscriptions of the Iron Age*, Berlin: De Gruyter.

Hawkins, J.D., Peker, H., 2014. *Karkemish in the IronAge*, in N.M archetti(ed.), *Karkemish*:107- 110.

Hogarth, D.G., 1914. *Carchemish. Report on the Excavations at Djerabis on Behalf of the British Museum. Part I, Introductory*, London: The Trustees of the BritishM useum.

Landeschi, G., DellUnto, N., Ferdani, D., Lindgren, S., Leander Touati, A.M., 2015. Enhanced 3D-GIS: Documenting Insula V 1 in Pompeii, in F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscatiand, S. Robert (eds.), *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Oxford: Archaeopress: 349-360.

Marchetti, N. (ed.), 2014. *Karkemish. An Ancient Capitalo nt heE uphrates*, Bologna:AnteQ uem.

Marchetti, N., 2016. The cultic district of Karkemish in the Lower Town, in P. Matthiae (a cura di), *L'archeologia del sacro e l'archeologia del culto. Sabratha, Ebla, Ardea, Lanuvio. Ebla e la Siria dall et del Bronzo all et del Ferro* (Atti dei Convegni Lincei, 304), Roma: BardiEdizioni:373- 414.

Mazzoni, S., 1997. L'arte siro-ittita nel suo contesto archeologico, *Contributi e Materiali di ArcheologiaO rientale* 7:2 87-327.

Moro, A., Fantini, F., Lavoratti, G., Aliperta, A., Lopez Hernandez, J.L., 2013. Texturing e ottimizzazione dei modelli digitali reality based: la chiesa della Compagnia de Jesu, *Disegnarecon* 6/12: 1-14.

Woolley, C.L., 1921. *Carchemish II. Report on the Excavations at Jerablus on Behalf of the British Museum. Part II, The Town Defences*, London: The Trustees of theB ritishM useum.

Woolley, C.L., Barnett, R.D., 1952. *Carchemish III. Report on the Excavations at Jerablus on Behalf of the British Museum. Part III, The Excavations in the Inner Town; The Hittite Inscriptions*, London: The Trustees of theB ritishM useum.