

IL PROGETTO “D12”

PRUOMUOVERE IL RILIEVO 3D PER STIMOLARE LA RICERCA

di Federica Guidi, Marinella Marchesi, Giacomo Vianini, Pier Carlo Ricci, Michele Agnoletti, Andrea Rossi

Sperimentazioni di diagnostica e rilievo digitale tra Fotogrammetria, Structure from Motion e analisi policromatica di alcuni reperti provenienti dal Museo Civico Archeologico di Bologna.



Fig. 1 - La stele Ducati 12 nella sua collocazione presso il Museo Civico Archeologico di Bologna.

Il Museo Civico Archeologico di Bologna negli ultimi cinque anni, nel solco di una tradizione che lo vede molto attento alle innovazioni in campo informatico, ha cominciato a sperimentare l'applicazione di tecnologie di rilievo tridimensionale e digitale su alcuni particolari oggetti della propria collezione. Queste prime esperienze sono state possibili già a partire dal 2010, grazie alla collaborazione del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Bologna, e hanno interessato due stipe etrusche in bronzo decorate a sbalzo e incisione. Per la natura del decoro i due recipienti si ponevano come una complessa sfida per la definizione dei particolari da acquisire (Manferdini, Garagnani 2011a e 2011b). Lo scopo di tali operazioni era, da un lato, raccogliere maggiori informazioni di carattere scientifico, dall'altro creare modelli digitali ad alta definizione, per usi connessi alla ricerca, ma anche finalizzati ad una migliore valorizzazione dei beni archeologici.

Di pari passo, prendevano avvio indagini relative alla permanenza di tracce di policromia su diversi monumenti lapidei, realizzate dal Dott. Andrea Rossi e dal Prof. Pietro Baraldi dell'Università degli studi di Modena e Reggio Emilia. Oggetto delle analisi sono state un gruppo di stele di età orientalizzante (VII secolo a.C.), delle quali fino ad allora era pressoché sconosciuta la consistenza cromatica (Marchesi 2011).

L'occasione dell'incontro tra questi due filoni di indagine, l'acquisizione e la modellazione digitali e gli studi sulla permanenza del colore, si è concretizzata grazie all'analisi del torso loricato in marmo dell'imperatore Nerone, conservato nell'atrio del Museo e sottoposto ad un intervento di pulizia e restauro per il prestito ad una mostra. Alla rilevazione dei pigmenti residui si ritenne opportuno affiancare la realizzazione del modello digitale 3D, con la restituzione virtuale delle parti mancanti della scultura (Gasparoni 2013-14) e con l'intenzione, per il futuro, di applicare al modello un'ipotesi ricostruttiva anche della policromia originale (Manferdini *et alii* 2016).

Questi i prodromi dell'ideazione del progetto denominato “D12”, finalizzato alla realizzazione di uno studio digitale coniugato all'analisi della policromia di alcuni reperti.

Attualmente compongono il gruppo di ricerca Federica Guidi e Marinella Marchesi del Museo Civico Archeologico, Pietro Baraldi dell'Università di Modena e Reggio Emilia, Andrea Rossi, Giacomo Vianini della società 3DFlow, Pier Carlo Ricci e Michele Agnoletti della Ditta Artificio Digitale. Fino a questo momento nel corso del progetto “D12” è stato svolto il rilievo digitale e la ricostruzione 3D, la modellazione poligonale, lo studio e la ricerca della policromia originale di alcuni oggetti archeologici di proprietà del Museo, che sono stati selezionati sulla base dei seguenti criteri:

- l'eterogeneità del materiale costitutivo dei reperti;
- l'appartenenza alla cultura etrusca;
- la certezza della presenza della policromia originale, ormai evanescente o perduta;
- la diversità degli apparati decorativi, talora resi a bassissimo rilievo, pertanto difficilmente rilevabili, in altri casi a rilievo quasi a tutto tondo;
- la diversità delle dimensioni tra gli oggetti considerati.

L'oggetto che ha dato il nome al progetto è una la stele felsinea in arenaria, nota come "Ducati 12", dal nome dell'archeologo Pericle Ducati, che per primo intraprese uno studio dettagliato di questa peculiarissima classe di monumenti funerari etruschi, tipici per forma ed apparato decorativo della Bologna etrusca di VI-IV secolo a.C.. La stele proviene dal sepolcreto etrusco dei Giardini Margherita di Bologna ed è datata alla seconda metà del V secolo a.C. (Ducati 1911, cc. 373-374, n. 12; Maggiani 1999). Sue caratteristiche principali sono le grandi dimensioni, l'ampio spessore (h. cm 124; la. max. cm 86; spessore cm 34) e una ricca decorazione figurata, corredata da iscrizioni, che si sviluppa su tutta la superficie del corpo, modellato nella caratteristica forma "a ferro di cavallo". Tracce di una lavorazione precedente, di recente individuate, permettono di asserire che un originario monumento di età orientalizzante (VII secolo a.C.) sia stato oblitterato e riutilizzato per creare la stele, probabilmente in virtù della difficoltà di procurarsi blocchi di arenaria di tali dimensioni. Per tutti questi motivi la stele Ducati 12 rappresenta uno degli esemplari più interessanti e peculiari della scultura funeraria bolognese tra VI e IV sec. a.C., che annovera circa 200 monumenti, sia interi che frammentari (Govi 2014).

Gli altri reperti esaminati sono un'urna cineraria etrusca in alabastro, con coperchio configurato, databile al III sec. a.C., di manifattura volterrana, e una simile urnetta in terracotta di produzione chiusina, del II sec. a.C., entrambe appartenenti alla collezione Etrusco-Italica del Museo. La prima, di dimensioni considerevoli, presenta sul lato lungo della cassa la scena mitologica dell'uccisione del cinghiale calidonio da parte di Meleagro, resa ad altissimo rilievo, mentre sui lati campeggiano due animali mostruosi (inv. n. IT 1275). L'altra è invece realizzata a stampo e reca la diffusissima figurazione del duello tra Eteocle e Polinice, ripetuta serialmente su un enorme numero di urnette coeve (inv. n. IT 1284).

Anche se in fase iniziale, il progetto Ducati 12 è quindi improntato ad un approccio multidisciplinare ai reperti archeologici, coniugando differenti professionalità e competenze: storico-archeologiche, tecnico-informatiche, chimico fisiche. Manca - e questa è una lacuna sicuramente da colmare - la componente economico-manageriale destinata al reperimento di fondi, che permettano all'esperienza di

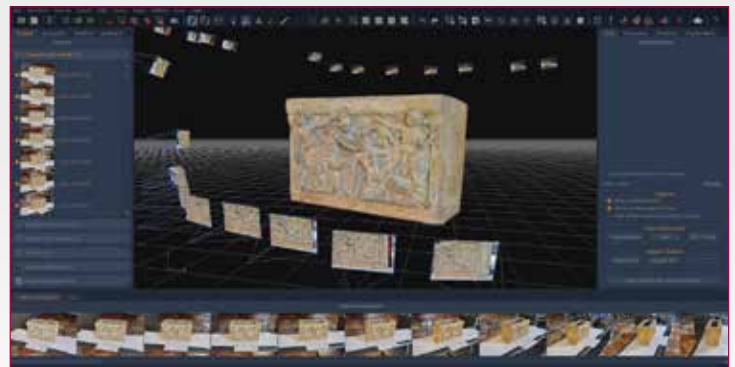


Fig. 2 - L'urna cineraria con coperchio antropomorfo durante l'acquisizione del rilievo.

uscire dal confine del caso di studio per entrare nel reale campo applicativo-sperimentale.

Allo stato attuale, gli obiettivi che appaiono realizzabili sono:

- ▶ studiare la presenza di tracce di policromia rimaste sugli oggetti in esame, al fine di stabilire presenza, qualità e provenienza dei pigmenti;
- ▶ testare il rilievo digitale 3D di oggetti archeologici tramite tecnologie non invasive e di costo contenuto;
- ▶ ottenere dalla combinazione dei dati informatico-modellativi e chimici sia modelli fedeli all'originale, mostrandone lo stato di conservazione attuale, sia modelli "ideali", che riproducano l'oggetto come doveva apparire all'origine, con le forme intatte e i colori, ove possibile, restituiti.
- ▶ valutare se e quali tecniche di stampa 3D e quali materiali - resine plastiche oppure pietra - si possono applicare ai fini espositivi, didattici ed eventualmente commerciali.



Figg. 3 e 4 - Da sinistra a destra, rilievo fotogrammetrico dell'urna Meleagro e dell'urna Eteocle e Polinice con il software 3DF Zephyr 3.7.

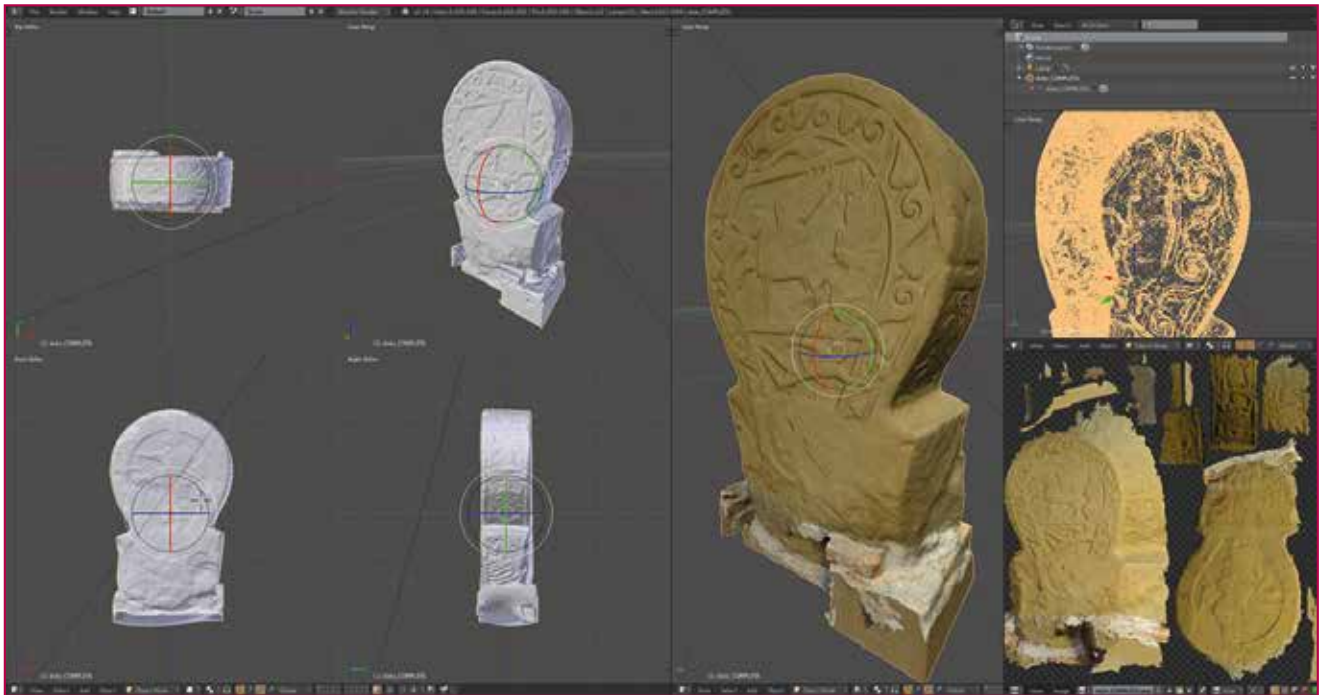


Fig. 5 - Mesh della stele Ducati 12.

LA PROCEDURA DI RILIEVO 3D TRA FOTOGRAMMETRIA E STRUCTURE FROM MOTION

Il metodo di rilievo fotogrammetrico tramite algoritmi di Structure from Motion è stato ampiamente testato in diversi campi di applicazione (Pollefeys *et alii* 2001; De Luca *et alii* 2006; Westoby *et alii* 2012), sia in termini di resa geometrica della restituzione 3D sia in termini di accuratezza metrica e georeferenziazione del dato (De Reu *et alii* 2013). Le principali problematiche nel concretizzare una procedura di rilievo all'interno di un contesto museale, a prescindere dalla tecnologia impiegata, sono individuate nella difficoltà di movimento attorno al soggetto da rilevare e alla presenza di ostacoli che impediscono o riducono la corretta acquisizione del dato.

Queste problematiche hanno interessato due dei tre manufatti su cui è stato impostato l'approccio multidisciplinare svoltosi all'interno delle mura del Museo Civico Archeologico di Bologna. Il primo, la stele funeraria Ducati 12, è stata collocata, lungo l'esposizione museale della collezione etrusca, in una zona vicino al muro perimetrale di una delle sale del museo che ha messo in seria difficoltà la possibilità di osservare la stele lungo il suo profilo sinistro (Fig. 1). Relativamente alla seconda opera, l'urna cineraria con coperchio antropomorfo (IT 1275), la fase più complessa del rilievo è stata l'acquisizione della parte posteriore, nascosta non solo dalla struttura su cui l'urna stessa poggiava ma anche dai manufatti immediatamente alle sue spalle. Tali impedimenti hanno reso impossibile il rilievo fotografi-



Fig. 6 - Rielaborazioni 3D del reperto.

co della parte posteriore dell'urna (Fig. 2). L'unico manufatto che non ha rappresentato problemi legati al movimento e alla visibilità in fase di rilievo è stata l'urna cineraria cosiddetta "di Eteocle e Polinice" (IT 1284), poiché, dati le dimensioni e il peso ridotti, prima di cominciare l'acquisizione fotografica la stessa è stata fisicamente spostata e collocata in un'area che ha concesso un movimento a 360° rispetto l'urna e una ripresa ad assi convergenti con una percentuale di sovrapposizione tra gli scatti ottimale, compresa tra il 70% e l'80%.

In un ambiente interno quale è la sala di un museo, l'illuminazione non è mai quella più adeguata per un rilievo fotogrammetrico. Pertanto, oltre all'utilizzo di un treppiede, sono state utilizzate due luci ad incandescenza opportunamente collocate. Queste hanno permesso di produrre sulla scena un'illuminazione diffusa, tale da non creare un chiaroscuro troppo marcato nelle zone d'ombra offerte ad esempio dai bassorilievi delle due urne.

Nei tre differenti rilievi fotogrammetrici è stata sempre adottata una ripresa fotografica ad assi convergenti (Figg. 3-4), distribuita su più distanze rispetto al soggetto e su più altezze (ideale per oggetti di piccole e medie dimensioni, questa ripresa permette di all'operatore di ottenere una percentuale elevata di sovrapposizione tra gli scatti). Nelle immediate vicinanze di ciascuno dei tre manufatti sono stati posizionati target differenti allo scopo di riportare in scala il modello tridimensionale. Inoltre sono state prese alcune misure direttamente sulle opere, così da poter verificare l'accuratezza metrica al termine del processo di ricostruzione 3D.

L'attrezzatura per l'acquisizione fotografica ha compreso una fotocamera Nikon D90, montata su treppiede, con sensore CMOS APS-C (23.6 mm x 15.8mm) da 12.3 Megapixel e un'ottica zoom Nikkor AF-S DX 18-105mm f/3.5 - 5.6G ED VR, con lunghezza focale effettiva di 27-157mm. Tutte le immagini sono state scattate in formato raw e successivamente convertite in formato .jpg high quality, mantenendo una risoluzione in pixel di 4288 x 2848 in cui le dimensioni del singolo pixel corrispondono a 5.5 µ.

Il rilievo fotografico della stele Ducati 12 ha prodotto un dataset di 92 immagini, mentre l'urna raffigurante la scena dell'uccisione del cinghiale da parte di Meleagro ha richiesto un totale di 121 immagini. Per il rilievo dell'urna di Eteocle e Polinice sono state realizzate complessivamente 83 immagini.

Nell'ambito delle soluzioni software dedicate alla fotogrammetria e alla Computer Vision esistono applicazioni freeware e open-source che tuttavia soffrono di diverse limitazioni (numero di fotografie utilizzabili limitato, compressione del dato fotografico, poca accessibilità a strumenti di editing e di esportazione, ecc.). Per il progetto D12 la software house italiana 3Dflow ha messo a disposizione la versione 3.7 di 3DF Zephyr, un'applicazione proprietaria (Toldo et alii 2013) già impiegata in ambito archeologico (Finotti et



Fig. 7 -Displacement per ottenere la geometria ricostruita dei disegni scolpiti in tutti i loro dettagli.

alii 2015; Toldo et alii 2015) che consente la ricostruzione tridimensionale di una scena o di un oggetto a partire da fotografie o video, attraverso l'impiego di algoritmi di Structure from Motion e fotogrammetria.

Il processo di ricostruzione 3D all'interno dell'applicativo si articola in quattro fasi principali: orientamento delle fotocamere, generazione della nuvola di punti densa, creazione della mesh poligonale e generazione della texture fotografica.

Per ognuno dei manufatti presi in analisi il processo di ricostruzione è avvenuto utilizzando i settaggi semi-automatici del programma preferendoli alla regolazione manuale dei singoli parametri delle quattro fasi, anche per testare la bontà del procedimento automatico.

Per ciascuna fase della ricostruzione 3D, l'elaborazione è stata avviata selezionando i preset a dettagli elevati, su una workstation dotata di processore Intel Core i7 - 7410MQ a 2.50 Ghz, memoria RAM a 16 Gb e scheda grafica Nvidia Geforce GTX 970M DDR 5 a 6 Gb.

Le tempistiche di elaborazione dei dati vengono riportate nella tabella in basso:

Dataset / Fasi	Orientamento fotocamere	Nuvola densa	Mesh	Texture
Stele D12 92 immagini	29 min.	1h 28 min.	8 min.	6 min.
Urna Eteocle e Polinice 83 immagini	22 min.	1h, 16 min.	7 min.	2 min.
Urna Meleagro 121 immagini	42 min.	1h, 47 min.	10 min.	6 min.

Tabella 1. Tempi di elaborazione del software 3DF Zephyr 3.7-settaggi delle fasi a dettagli elevati



Fig. 8 - Ritorno alla fisicità con i vari tipi di Stampa 3D.

Di seguito vengono riportate le proprietà delle singole nuvole di punti e mesh dei tre diversi manufatti in analisi, e gli errori finali ottenuti:

Dataset / Output	Orientamento fotocamere	Nuvola densa	Mesh
Stele D12	207.000 punti	23.000.000 punti	2.000.000 poligoni
Urna Eteocle e Polinice	242.000 punti	17.000.000 punti	1.578.000 poligoni
Urna Meleagro	369.000 punti	22.000.000 punti	2.090.000 poligoni

Tabella 2. Dettagli delle nuvole di punti e delle mesh generate

Dataset	Final Mean Residual
Stele D12 (target posizionati sull'oggetto)	0,5 mm
Urna Eteocle e Polinice (target posizionati sulla scena)	0,7 mm
Urna Meleagro (target posizionati sulla scena)	0,15 mm

Tabella 3. Errori ottenuti a seguito della scalatura dei modelli 3D tramite misure prese su target posizionati sulla scena.



Fig. 9 - Stampa in pietra di porzione della stele D12.

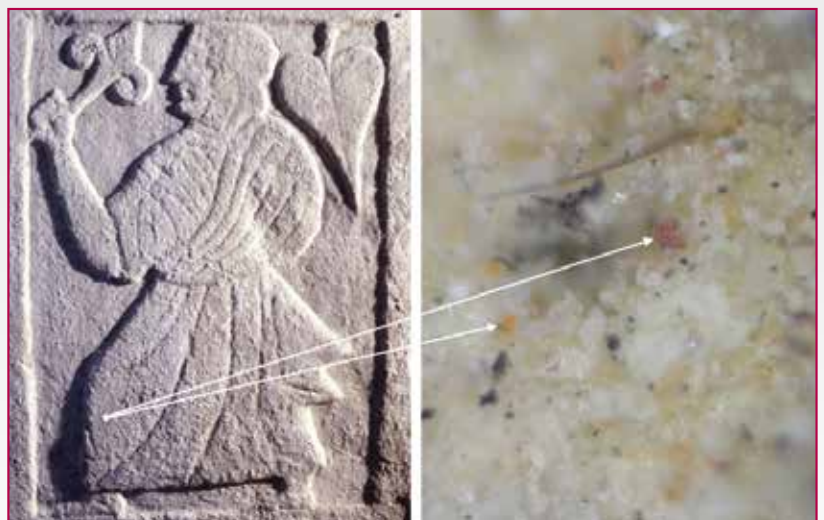
RIELABORAZIONI DIGITALI - LA MESH DEL REPERTO

Tutti i sistemi di rilievo tridimensionale con tecniche di campionamento (SFM, laserscanner, luce strutturata, sensori di profondità, ...) producono un risultato finale composto da una serie di punti colorati posizionati nello spazio 3D (normalmente, e da ora in poi, denominata pointcloud). Purtroppo, una pointcloud non è molto utile alle operazioni comuni di visualizzazione e indagine, perché non rappresenta ancora un oggetto con proprietà fisiche (sebbene digitali) di superficie. L'interpretazione più automatica possibile e che richiede il minor scostamento dalle misure di rilievo dirette è la mesh, ovvero una maglia di triangoli, uniti gli uni agli altri, che segue in modo statistico l'andamento della pointcloud. Una mesh, più o meno fitta e pesante a seconda della qualità geometrica richiesta, rappresenta il modello matematico più semplice e generico col quale si può rappresentare in modo digitale un oggetto fisico; tutti i software dell'ambito della modellazione tridimensionale sono in grado di leggerla e gestirla, ovviamente con strumenti e potenzialità differenti. Nel nostro caso, applicando tecniche di rilievo fotografico, abbiamo anche a disposizione l'informazione del colore dei punti: informazione che la mesh conserva sotto forma di immagine raster associata all'oggetto (texture; Fig. 5).

Per lo sviluppo di questa parte di ricerca è stato adottato Blender quale software 3D di visualizzazione, gestione, manipolazione delle superfici mesh tridimensionali per una serie di motivazioni: gratuito, multiplatforma, non richiede hardware specifico, dispone di un set completo di strumenti in ogni ambito del 3D richiesto (modellazione poligonale, texturing, sculpting, rendering), richiede una curva di apprendimento lineare. Purtroppo, le mesh derivate da procedimenti di campionamento sono spesso difetti che è bene risolvere prima di procedere oltre, così che le fasi successive siano più efficienti e snelle.

Le operazioni si possono raggruppare tipicamente in:

- ▶ filtri statistici automatici; calcoli complessivi da applicare sulla base di parametri (rimozione dei punti isolati, levigatura di punte di rumore, interpretazione mesh, decimazione, etc ...)
- ▶ interventi con strumenti assistiti; interventi puntuali su zone specifiche del modello in cui valutare e correggere problematiche dei risultati o mancanza di informazioni (chiusura di piccoli fori, rimozione di triangoli intersecati, etc ...)
- ▶ modellazione di completamento; creazione di parti mancanti o non risolte sufficientemente bene dagli algoritmi di rilievo (incavi troppo pronunciati, superfici inaccessibili, incoerenza dei dati fotografici, etc...)



Figg. 10, 11 - Residui pigmentari sulla stele individuati attraverso microscopia.



Figg. 12, 13 - Evidenti tracce di colore sull'urna IT1275 con identificazione dei pigmenti attraverso le indagini

Se il lavoro di rilievo fotografico e di restituzione è stato fatto con una buona attenzione, in realtà queste operazioni sono piuttosto di routine e non necessitano di competenze avanzate ma solo di un buon protocollo di applicazione.

Il prodotto di questa fase intermedia di trattamento dati è una mesh, della più alta qualità ottenibile dal rilievo, con relativa texture a colori, possibilmente chiusa in uno o più solidi. L'esperienza insegna che in questa fase è molto utile produrre, oltre la mesh di alta qualità che resta sorgente delle indagini, una o più versioni a diversa definizione (LOD contrazione di Level Of Details), così da poter soddisfare le diverse esigenze di livello di approfondimento successivo: una mesh per la pubblicazione on line richiede un numero massimo di triangoli piuttosto limitato con una buona texture di colore, così come un modello per la stampa 3D può accettare un dettaglio più accurato della forma, ma non sempre necessita del colore. Inoltre, la mesh di alta qualità può essere talmente dettagliata da richiedere hardware di buon livello - spesso eccessivo rispetto all'indagine in corso - per essere interrogata nella sua forma completa (Fig. 6).

Rielaborazioni 3D del reperto

La mesh di alta qualità permette una serie di rielaborazioni particolarmente interessanti in svariate aree di indagine e speculazione scientifica.

La prima applicazione pratica sperimentata è la ricostruzione del manufatto riportato all'integrità della sua forma ipotetica appena realizzato.

La stele D12 si presta molto bene a questo tipo di intervento perché si può distinguere la sua forma principale (sostanzialmente un semplice solido di estrusione) dai dettagli scolpiti su di essa in bassorilievo. La tecnica utilizzata è stata pertanto quella del displacement: dopo aver creato il modello del solido principale, è stata creata un'apposita texture map con descrizione dei livelli di grigio associata alla profondità del rilievo della superficie, così da ottenere la geometria ricostruita dei disegni scolpiti in tutti i loro dettagli. (Fig. 7)

Il vantaggio di questa tecnica, applicabile solo in determinati contesti, è la possibilità di intervenire rapidamente sulla texture (una semplice immagine bitmap) per controllare i

disegni e il loro rilievo, così da poter esplorare diverse ipotesi di completamento dei dettagli, fino a trovare il giusto equilibrio fra disegno e profondità.

Il modello dell'urnetta cineraria di Eteocle e Polinice purtroppo risultava incompleto per la parte interna (inaccessibile alla tecnica fotografica) e la superficie sottostante: pertanto è stato necessario modellare una sorta di piedistallo e le superfici interne, dando però loro un carattere estremamente lineare così che fosse evidente la loro estraneità dal reperto originale.

Ritorno alla fisicità

Sull'urnetta cineraria di Eteocle e Polinice IT 1284 si è indagato il ruolo delle potenzialità di prototipazione rapida (stampa 3D e calchi) per creare riproduzioni in scala dell'oggetto rilevato così da valutare due tecniche di pittura con finalità completamente distinte:

- ▶ una verniciatura con shading diluito, per esaltare gli incavi della geometria e leggere meglio i dettagli di forma;
- ▶ la ripittura di un calco in gesso bianco e in gesso colorato per verificare varie ipotesi di pigmentazione originale.

Di tutti gli oggetti rilevati in modo completo sono state riprodotte copie in scale diverse tramite stampante 3d in ABS così da avere ausili fisici di confronto in ogni sessione di gruppo di lavoro per valutare possibilità di ulteriori indagini, idee di comunicazione, dettagli da approfondire (Fig. 8 a, b, c).

Attualmente è in fase verifica la stampa di una copia in pietra alleggerita in scala 1:1 della stele. Per il momento sono state fatte prove di stampa a campione di alcune porzioni significative. L'aspetto più delicato di questa fase è la valutazione delle finalità che un oggetto di questo tipo possa permettere al di là di una semplice riproduzione dell'originale. La disponibilità di materiali di stampa e di rivestimento superficiale con caratteristiche del tutto peculiari (ad esempio la fotoluminescenza...) aprono la strada a tecniche di comunicazione visiva tutte da esplorare in campo museale (Fig. 9).

Risultati dopo la prima fase di avviamento:

- ▶ promuovere una semplice campagna di rilievo tridimensionale a costo minimo “costringe” ad una catalogazione digitale di altre informazioni del singolo oggetto;
- ▶ il modello tridimensionale permette un confronto collaborativo scientifico snello e multidisciplinare;
- ▶ la replica prototipale in scala dell’oggetto stimola e agevola il confronto scientifico multidisciplinare;
- ▶ le informazioni digitali complete permettono una adeguata programmazione delle indagini di approfondimento;
- ▶ il modello 3d a colori leggero permette una pubblicazione on line su diverse piattaforme web di divulgazione.

LA POLICROMIA RIEMERGE

Il progetto “D12”, dal punto di vista scientifico, intende dare nuova luce agli studi riguardanti la policromia sui manufatti di epoca etrusca.

Se tali studi sono ben sviluppati sulla statuaria classica e in generale sulla produzione artistica anche del mondo etrusco (Barbieri 2015, Brøns *et alii* 2016), manca una ricerca approfondita e puntuale sulle stele felsinee: il Museo Civico Archeologico di Bologna, grazie alla sua preziosa collezione, è sicuramente il punto di riferimento per questo tipo di analisi.

Già negli anni passati si è sviluppato un progetto di studio su un corpus di stele di età orientalizzante della collezione del Museo: i risultati ottenuti hanno permesso di sviluppare con entusiasmo nuove prospettive di ricerca anche sulle altre stele di epoca successiva (Marchesi 2011).

Oltre alle stele nella ricerca sono state incluse due urne etrusche sempre conservate nelle collezioni del Museo Archeologico: la comparazione dei dati provenienti dai due diversi manufatti, per quanto riguarda la policromia, può aiutare a ricostruire una storia dell’uso del colore in ambito etrusco.

Per la mappatura del colore ci si è avvalsi dell’uso della fluorescenza ultravioletta (UV), al fine di identificare i residui di materiale sopravvissuto: va ancora una volta specificato che l’uso della tecnica UV, anche in presenza di fluorescenze caratteristiche, non è definitivo per discriminare il pigmento, ma fornisce un supporto utile ad identificarne la presenza. Grazie ai risultati derivanti dalle indagini svolte negli anni passati, l’UV è stata utilizzata anche per provare a riportare alla luce quelle parti di iconografia perduta a causa del degrado della pietra.

Definire uno standard di applicazione delle metodologie scientifiche basate sull’uso delle radiazioni provenienti dal campo elettromagnetico più prossimo al nostro campo visivo, appare di non facile attuazione per quanto riguarda lo studio delle stele: è infatti la natura del manufatto a giocare un ruolo fondamentale. L’arenaria può presentare caratteristiche molto differenti anche in blocchi di pietra che derivano da una stessa cava e per questo il supporto può rispondere in maniera differente alle sollecitazioni derivanti dall’irraggiamento UV o da altre luci solitamente usate per le indagini diagnostiche. Per questa ragione le immagini UV sulla stele Ducati 12 sono state catturate utilizzando filtri diversi rispetto a quelli utilizzati per altre stele, dopo aver provato differenti combinazioni di filtri per l’assorbimento delle radiazioni UV.

Oltre al parziale recupero dell’iconografia, l’altro obiettivo delle indagini è l’identificazione del colore sui manufatti in arenaria; è oramai indubbio che le stele fossero policrome, ma in qual misura è ancora tutto da definire: vi sono esempi di stele monocrome, ma nella collezione del museo non vi sono evidenti esempi di policromia sopravvissuta.

L’UV non ha mostrato quelle tipiche fluorescenze che fanno ricondurre all’uso del colore e si è quindi passati ad un’ispezione del manufatto attraverso l’utilizzo di un microscopio

con ingrandimenti fino a 900x. L’analisi della stele attraverso microscopia ha reso possibile riconoscere minime parti di residui pigmentari, che non consentono un riconoscimento esatto del tipo di colore utilizzato ma che confermano l’esistenza di policromia sulla stele (Figg. 10 e 11).

Un diverso tipo di approccio è stato riservato alle urne etrusche, in cui sussistono evidenti tracce di colore (Fig. 12): l’identificazione dei pigmenti attraverso le indagini multispettrali (Fig. 13) e quelle chimiche potrà consentire uno studio approfondito non solo sulla tecnica utilizzata, ma anche una prima definizione sull’uso simbolico delle cromie.

CONCLUSIONI

La ricerca sul campo ha dimostrato che le possibilità tecnologiche, anche a basso costo e impatto, sono ormai disponibili e mature, semmai la difficoltà sta proprio nel valutare quali di esse e con quali modalità inserire nell’operato abituale e quotidiano di un’istituzione museale, senza che divenga un impegno gravoso di apprendimento e di risorse. Il più grande ostacolo è superare quell’inerzia culturale-mentale ancorata ai sistemi analogici tradizionali, a fronte di un mondo digitale che ha già più di una volta deluso le aspettative concrete, vendendo sogni futuribili poco consistenti. Persiste dietro ogni progetto di sviluppo virtuale il rischio di scivolare in realizzazioni troppo viziate da un effetto gadget, a discapito dei contenuti estremamente concreti ottenibili con qualche piccolo supporto professionale in sede di programmazione.

Le tecnologie digitali possono affiancare le tradizionali esperienze museali senza nulla togliere, anzi, aggiungendo enormi potenzialità esperienziali per un pubblico che -sempre di più- desidera capire, oltre che essere affascinato.

Gli strumenti digitali stanno comunque diffondendosi e, prima o poi, sarà necessario adeguarsi all’offerta comunicativa: muovendosi in anticipo sarà più facile controllare il risultato finale, garantendo una buona qualità con il tempo necessario per predisporla. Bastano poco lavoro e poco denaro per ottenere vantaggi enormi.

Questa ricerca, così come deve essere nell’ambito sperimentale, è un “work in progress” e continuerà ad esserlo, nell’idea di un laboratorio multidisciplinare aperto; questi risultati sono solo la prima parte di un programma più ampio.

Attualmente in programmazione sono stati già individuate sperimentazioni di altre tecnologie di rilievo (es. scanner a luce strutturata), lo sviluppo della piattaforma di condivisione e dell’interfaccia di gestione dati, l’esplorazione delle potenzialità comunicative delle stampe 3d, l’ampliamento dei reperti di casi studio.

ABSTRACT

The Archaeological Museum of Bologna has tested the application of digital technologies on some objects within the project “D12”, aimed to connect 3D documentation with polychromy data. An Etruscan stela from Bologna, called “Ducati 12”, gives its name to the project.

3D scanning tests made on some Etruscan artifacts within the project prove that nowadays archaeological and artistic material can be investigated through a low-cost, time-saving and reliable approach.

Several 3D virtual data digital technologies were tested and after the post-processing treatment some real applications on 3D data were realized.

Multispectral and chemical investigations were carried out on the objects. The results achieved allow to undertake an effective research project for the reconstruction of the polychromy in Etruscan age.

BIBLIOGRAFIA

Barbieri G. (2015), *Il colore nelle architetture funerarie di Sovana: la tomba dei Demoni Alati e altri monumenti policromi*, FOLD&R FastiOnline documents & research 343, 1-16. <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2015-341.pdf>

Brans C., Hedegaard S.S. & Sargent M.L. (2016), Painted faces: investigations of polychromy on Etruscan antefixes in the Ny Carlsberg Glyptotek, *Etruscan Studies* 19, 1, 23-67.

De Luca L., Veron P. & Florenzano M. (2006), Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach, *Computer Graphics*. 30, 2, 160-176.

De Reu J., Plets G., Verhoeven G., De Smedt P., Bats M., Cherretté B., De Maeyer W., Deconynck J., Herremans D., Laloo P., Van Meirvenne M. & De Clercq W. (2013), Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage, *Journal of Archaeological Science* 40, 2, 1108-1121.

Ducati P. (1911), Le pietre funerarie felsinee, *Monumenti Antichi dei Lincei* XX, 357-728.

Finotti F., Tonelli A.M., Vianini G., Toldo R. & Zandonai F. (2015), Indagini propeudeutiche allo scavo archeometrico: tecniche di telerilevamento e modellazione 3D, *Atti dell'Accademia Roveretana degli Agiati* IX, V, B, 51-65.

Gasperoni S. (2013-14), *Utilizzo di strumenti di modellazione tridimensionale ad alta risoluzione per la ricostruzione iconografica di Nerone*, tesi di Laurea, Università di Bologna.

Govi E. (a cura di, 2014), *Studi sulle stele etrusche di Bologna tra V e IV secolo a.C.*, Roma: Quasar.

Maggiari A. (1999), Modello etico o antenato eroico? Sul motivo di Aiace suicida nelle stele felsinee, *Studi Etruschi* LXIII, 149-165.

Manferdini A.M. & Garagnani S. (2011a), Digital exhibitions and fruition of archaeological finds, *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences XXXVIII-5/W16*, 429-436.

Manferdini A.M. & Garagnani S. (2011b), Fruizione digitale di reperti archeologici. L'esperienza del Museo Civico Archeologico di Bologna, *Disegnare con...* 4 (8), 80-89.

Manferdini A.M., Gasperoni S., Guidi F. & Marchesi M. (2016), Unveiling *damnatio memoriae*. The use of 3d digital technologies for the virtual reconstruction of archaeological finds and artefacts, *Proceedings of the ARQUEOLÓGICA 2.0 - 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, Valencia: Universitat Politècnica, 295-297.

Marchesi M. (2011), *Le sculture di età orientalizzante in Etruria padana*, Bologna: Comune di Bologna.

Pollefeys M., Van Gool L., Vergauwen M., Cornelis K., Verbiest F., Tops J., Schouteden J., & L. Van Gool (2001), 3D Acquisition of Archaeological Heritage From Images, *VAST 2001: virtual reality, archaeology, and cultural heritage*, New York: Association for Computing Machinery, 255-262.

Toldo R., Fantini F., Giona L., Fantoni S. & Fusiello A. (2013), Accurate Multiview Stereo Reconstruction with Fast Visibility Integration and Tight Disparity Bounding, *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 1, 1, 243-249.

Toldo R., Gherardi R., Farenzena M. & Fusiello A. (2015), Hierarchical structure-and-motion recovery from uncalibrated images, *Computer Vision and Image Understanding* 140, 127-143.

Verri G. (2009), *The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging*, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 344, 4, 1011-1021.

Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J. & Reynolds J.M. (2012), 'Structure-from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for geosience applications, *Geomorphology* 179, 300-314.

PAROLE CHIAVE

MUSEI; ARCHEOLOGIA; DOCUMENTAZIONE; SFM; 3DSCANNING; PHOTOGRAMMETRY; DIAGNOSTIC

AUTORE

FEDERICA GUIDI

FEDERICA.GUIDI@COMUNE.BOLOGNA.IT

MARINELLA MARCHESI

MARINELLA.MARCHESI@COMUNE.BOLOGNA.IT

MUSEO CIVICO ARCHEOLOGICO DI BOLOGNA

GIACOMO VIANINI

GIACOMO.VIANINI@3DFLOW.NET

3DFLOW S.R.L.

PIER CARLO RICCI, MICHELE AGNOLETTI

BOX@ARTIFICIODIGITALE.COM

ARTIFICIO DIGITALE SNC

ANDREA ROSSI

LABORATORIO.DIAR@GMAIL.COM

DI.AR LABORATORIO DI DIAGNOSTICA PER I BENI CULTURALI

Dai più grandi musei italiani ed internazionali
per la prima volta una grande mostra interamente dedicata all'antica terra dei faraoni.

Dall'8 Dicembre 2017, a JESOLO (VE)

EGITTO

DEI, FARAONI E UOMINI

Un eccezionale evento che offre una modalità di visita innovativa, contraddistinta da un format coinvolgente e interattivo e che combina il fascino di reperti unici provenienti dai più grandi musei italiani con fedeli riproduzioni e ricostruzioni scenografiche, in un esteso percorso espositivo che narrerà la storia, le dinastie, la religione, i culti, le abilità tecniche e scientifiche, partendo dal passato e arrivando fino ai giorni nostri. **La mostra, a cura di Cultour Active e Venice Exhibition**, con la collaborazione di un team di esperti egittologi, rappresenterà un'imperdibile occasione non solo per gli appassionati e gli studiosi, ma anche e soprattutto per il grande pubblico. **Una mostra moderna e dinamica, interattiva e immersiva**, che presenterà un giusto equilibrio tra didattica e divertimento, tra archeologia e tecnologia, tra storia e contemporaneità, per una nuova modalità di fruizione culturale. **La mostra sarà inoltre fucina di iniziative ed eventi culturali** e offrirà laboratori didattici gestiti da operatori specializzati nella diffusione e nella valorizzazione dei beni culturali, dedicati a bambini e studenti di ogni età.



**Lasciatevi trasportare
in un viaggio sensazionale
e indimenticabile!**

**CULTOUR
ACTIVE**
cultura in movimento

**VENICE
EXHIBITION**

Seguici su    www.cultouractive.com

