

Fregio dell'arte della guerra
Scansione, formatura, riproduzione delle formelle
eseguite da Ambrogio Barocci su disegno
di Francesco di Giorgio Martini

Pino Mascia
Accademia di Belle Arti di Urbino
pinomascia@gmail.com

Massimo Tosello
Accademia di Belle Arti di Urbino
tosello@libero.it

Chebac Romeo Marian
Accademia di Belle Arti di Urbino
romeo_ferrero@yahoo.it

1. Panoramica del progetto (a cura di Pino Mascia)

La scuola di scultura dell'Accademia di Belle Arti fu invitata 4 anni fa, dall'allora direttore nel Palazzo Ducale Peter Aufreiter, per un progetto di recupero storico del lungo apparato decorativo che era disposto come una spalliera al di sopra del sedile che costeggiava le pareti esterne del Palazzo Ducale di Urbino. Entrando nel merito ci ha proposto di realizzare le copie di due formelle del ciclo dell'arte della guerra di Francesco di Giorgio Martini e della bottega di Ambrogio Barocci, una ancora in buone condizioni e una seconda molto deteriorata, l'intento

Pino Mascia, Massimo Tosello e Chebac Romeo Marian, "Fregio dell'arte della guerra. Scansione, formatura, riproduzione delle formelle eseguite da Ambrogio Barocci su disegno di Francesco di Giorgio Martini", in Pierluigi Graziani, Davide Pietrini e Laerte Sorini (a cura di), *Libro de viva pietra. Studi sul fregio della facciata del Palazzo Ducale di Urbino*, pp. 185-199.

© 2023 Urbino University Press

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

del progetto mirava a documentare lo stato attuale dei rilievi conservandone una memoria digitale, ma si proponeva anche di recuperarne la lettura originaria compromessa dal degrado della pietra. Con il nuovo direttore ci conosceamo da qualche anno dato che era venuto a visitare i laboratori del nostro istituto, scusandosi perché a tre mesi dal suo insediamento non era ancora venuto a trovarci, gli facemmo notare che in quaranta anni era la prima volta che ciò accadeva. Da quel giorno è stato per noi un importante compagno di viaggio per i progetti culturali per la città soprattutto nel percorso di valorizzazione nei confronti dell'arte contemporanea. Sono nati ad Urbino nuovi progetti, come l' rassegna espositive sulle nuove emergenze artistiche, allestite nelle scuderie della Galleria Nazionale delle Marche, con l'istallazione di una grande scultura di Tony Gragg in acciaio specchiante nel cortile del palazzo e una mostra sulle avanguardie creative alla rocca di Senigallia.

Il perno del nostro lavoro è stato il prof. Massimo Tosello docente della cattedra di modellazione digitale, con macchinari in grado di fare delle operazioni di scansione e riproduzione in 3D. L'impegno didattico era indirizzato alla organizzazione di un laboratorio mobile per la scansione delle formelle direttamente nella sala dello *scriptorium* del museo urbinato operativamente aperto anche al pubblico, la seconda parte del lavoro consisteva nell'elaborazione dei software per poter avere dati utili per la riproduzione con le stampanti di una copia 1/1 in PLA realizzata in più pezzi poi assemblati, la fase successiva riguardava l'esecuzione di un modellato sulla superficie della copia che ricostruiva le parti mancanti, al termine lo stampaggio e la riproduzione della formella ricostruita. I dettagli della riproduzione li affronteremo in seguito perché farà parte della seconda parte della discussione di oggi.

Raramente si riconoscono alle Accademie Istituti di alta cultura della formazione artistica, i ruoli preminenti della ricerca e sperimentazione delle tecniche artistiche, un vecchio pregiudizio le ha sempre relegate ai margini della conoscenza, ritenute scarsamente capaci di affrontare discipline di studio come la chimica, la matematica, la programmazione informatica, non riescono ad emergere se non in campi indefiniti che hanno a che fare con l'opera d'arte. Se qualcosa ci ha insegnato il 900 e che la creatività non ha limiti né tecnologici, né di materiali e molte delle opere del presente, derivano da campi che niente hanno a che vedere col "fare ad arte", lo studio sulle nuove tecnologie

ci obbliga ad indagare in ambiti finora riservati alle materie convenzionali, lo studio della cromatologia, della biologia e della genomica è a volte più affascinante e offre più stimoli del gotico e del barocco. Ma nello stesso tempo non possiamo commettere l'errore di pensarci concorrenti con centri di ricerca, che da 80 anni affrontano la conservazione e il restauro dei manufatti artistici, gli studi di eccellenza sono in primo luogo gli istituti di restauro. Le Accademie di Belle Arti centri hanno da qualche decennio affrontato questo percorso dove lo studio, l'analisi e la tutela si concentrano soprattutto nell'indagare e sperimentare i procedimenti artistici, sia del passato che nelle nuove multimedialità, quindi oggi siamo maggiormente attrezzati ed è più che normale operare in questo settore. Gli inizi almeno per quanto riguarda la dotazione di materiali sono stati pioneristici, era difficile convincere l'amministrazione di questa "necessità" su cui investire per avere spazi e macchinari adeguati, eppure i risultati sono stati da subito superiori alle aspettative, a cominciare dalla mappatura del sito archeologico di Fossombrone in 3D, in coordinamento con l'istituto di Archeologia dell'Università di Urbino, la scansione degli Avori del museo Poldi Pezzoli di Milano, il progetto per la mappatura della "Domus" di S. Angelo in Vado, del tempio di Augusto o della Vittoria a Fossombrone, fino al progetto Fregio dell'arte della guerra presentato nel 2019.

Nella regione Marche siamo stati il primo laboratorio che ha operato direttamente sul territorio con tecniche di scansione di riproduzione 3D ad altissima definizione, applicate all'archeologia e a manufatti artistici, come siamo stati il primo studio di restauro d'arte contemporanea dell'AFAM a lavorare esclusivamente su manufatti originali di alto valore artistico, ad esempio la collezione dell'artista Mirko della famiglia Basaldella. L'esigenza di superare il recinto delle tecniche della scultura ci ha permesso di affrontare la tecnologia dei nuovi materiali che parte dai sistemi compositi sintetici, alle resine ecologiche fino alle tecniche microbiche e batteriologiche applicate al restauro dell'opera d'arte. Questo è quello che noi tecnicamente stiamo facendo nei nostri laboratori. Ovviamente tenendoci in un contesto che non può e non deve entrare in merito ai beni culturali perché lo studio d'eccellenza sulle problematiche della conservazione ha il più alto livello della ricerca nella scuola di restauro ICR di Roma e nell'istituto OPD di Firenze, poi c'è anche lo studio Universitario di restauro in diversi atenei d'Italia, nella nostra Accademia abbiamo una specializzazione sul

restauro dei metalli che focalizza il suo studio solo nell'ambito dell'arte contemporanea. Adesso entriamo un po' dentro l'oggetto specifico di questa conferenza.

L'idea della tecnica della riproduzione dei manufatti artistici, che era già molto diffusa dalla Grecia alla tarda romanità si è valsa di molte tecnologie nei secoli, a cominciare dalla semplice quadrettatura, poi seguono altre tecniche come il riporto dei punti, l'uso del filo a piombo, al cubito egizio, al pantografo, al sistema di definizione di Leon Battista Alberti. L'idea del trasferimento di un disegno, o di un modello direttamente sul marmo era alla base per l'organizzazione di opere di scultura molto complesse come quelle dei cicli di scultura nei grandi templi dell'epoca classica. La progettazione da parte del maestro che dirigeva, doveva coordinare i numerosi aiuti che curavano l'esecuzione delle differenti parti con estrema esattezza. Fino a non molto tempo fa gli archeologi ritenevano che “una tecnica meccanica per trasferire il disegno del modello al marmo non venisse elaborata prima del I secolo a.C. da parte di Prassitele”. Ora sappiamo con certezza che avvenne molto prima, esistevano di modelli in carta per guidare anche l'esecuzione di progetti tridimensionali, un esempio è riportato nel kylix del “pittore della fonderia” dell'Altes Museum in Berlino del V sec a.C. Nello studio della tecnica statuaria è presente l'uso del metodo del pantografo, esso “consisteva nel fissare con la massima precisione punti paralleli sul modello e sul blocco di marmo”¹. Questa tecnica rimanda direttamente al trapano che è l'unico strumento in grado di ripetere nel blocco di marmo in profondità, i punti rilevati sul modello-prototipo.

L'interesse per metodiche riproduttive che facessero a meno del classico stampo, la possibilità del calco senza calco nell'arte e nei sistemi di riproducibilità risalgono, per i manufatti dei beni culturali, agli anni 70.

Il primo esempio di studio che ricordo era presente in un catalogo della mostra arte-scienza che era “arte e metodo” e rappresentava con alcune applicazioni fotogrammetriche un tipo di analisi applicata al Crocifisso del Brunelleschi di Santa Maria Novella. Era un lavoro molto sperimentale mutuato dai plastici geografici però già dettava le basi del sistema stratigrafico applicandolo al modello tridimensionale.

In maniera più decisa invece questo impegno fu fatto per quanto riguarda il monumento equestre di Marco Aurelio. In questo caso al monumento si applicò la tecnica che viene nominata idrogrammetria, attribuita a Michelangelo e che viene citata da Cennino Cennini e da

Giorgio Vasari. Per il Marco Aurelio si è ipotizzata una sorta di gabbia ideale attorno alla struttura che era 2 x 3 x 6 metri e su cui da ogni lato venivano rivelate delle quote ed incrociate con un sistema fotografico frontale. Le varie facce riprese hanno permesso di ricavare delle intersezioni dei punti che poi sono stati unificati. Nel testo di Accardo e Vigliano "L'utilizzazione di modelli per lo studio e i problemi strutturali e formali" 3 spiegano in maniera molto chiara questa tecnica. Il risultato a seguito di questa complessa operazione che utilizzavano le stratigrafie che venivano riprodotte poi in PVC e successivamente fatte aderire ad una struttura d'acciaio, otteneva un modello che presentava dei gradini che venivano colmati con della plastilina. Ho conosciuto anni fa una ragazza di Urbino che ha partecipato a questa operazione eseguita dagli allievi dall'istituto della medaglia di Roma. Ma qual è il vero problema? L'immagine che noi avevamo ottenuto era un'immagine senza pelle, questa pelle veniva ricreata da questi modellatori a mano applicando 2 mm di spessore dopo aver già colmato il gradino di 5 mm della sfasatura delle varie lastre di pvc, e quindi dovevano creare a mano tutte le superfici come la pelle, le vene e tutti i dettagli del modello; è chiaro che questa è stata un'operazione mediatica fondamentalmente, in quanto hanno sorvolato sull'esistenza di una copia derivata da un calco di fine Ottocento che è stata fusa a Roma nel 1907 dalla fonderia ?. E questa copia è ancora oggi collocata a Providence Rhode Island negli Stati Uniti. In realtà alcune voci dicono che gli stampi ottocenteschi del marco Aurelio sono all'interno del Museo della Civiltà Romana.

Questo metodo di riproduzione impiegato con una tecnica non diretta, è un sistema per replicare il modello, senza l'utilizzo di materiali di contatto che comunque possano danneggiare la superficie della patina, l'allarme degli esperti era rivolto alla doratura anticamente applicata sopra il gruppo equestre di Marco Aurelio, allora molto debole e fragile, quindi evitare lo stampaggio tradizionale perché la pressione e il sottovuoto potevano strappare o deteriorare la materia della statua.

Il sistema che noi abbiamo utilizzato grosso modo è figlio di quella generazione, c'è una piccola ma sostanziale differenza, qui noi lavoriamo sulla pelle dell'oggetto ovvero che non è un'interpretazione manuale, ma definisce il dettaglio al millesimo di micron definendo la riproduzione di enorme fedeltà.

La riproduzione in piazza del campidoglio del Marco Aurelio restituisce un'evidenza di modellato con una superficie di finitura più "da cellulite" più di quanta possa esserne una scultura Romana, gli effetti della lavorazione manuale rimangono impressi, in più dopo la fusione piena di difetti ma di grande fedeltà perché realizzata con una colata molto fluida, la lavorazione successiva era la raschiatura del bronzo con lo strigile, per ottenere una finitura assolutamente piatta. La presenza di tanti tasselli, soprattutto nella parte sottostante, della statua equestre aveva bisogno di questa lavorazione per ottenere una superficie molto liscia. La restituzione della superficie fatta a mano è sempre il risultato di un rifacimento, attualmente le nuove tecniche di scansione non toccano il modello, la stessa restituzione è così precisa che possiamo tranquillamente affermare di riuscire a salvaguardare la memoria attuale delle formelle di pietra e conservarla per il futuro. Io credo che a questo punto meglio lasciare spazio, e poi eventualmente dopo riprenderò sulla storia sull'ambiguità del problema del modellato, a Massimo Tosello, a cui lascio la parola avendo presente che il nostro lavoro è prettamente tecnologico quindi entriamo nello specifico della tecnica.

2. Introduzione tecnica (a cura di Massimo Tosello)

All'Accademia di Belle Arti di Urbino abbiamo iniziato ad occuparci di 3D in occasione di un workshop sull'impiego dei droni, corso che poi nel tempo ha portato alla costituzione dell'attuale laboratorio 3D. L'idea di partenza fu quella di far toccare con mano agli studenti le possibilità offerte da certe tecnologie che iniziavano a comparire quasi in sordina sulla scena dei beni artistici e archeologici. Tutto è cominciato esclusivamente per motivi didattici. Il primo lavoro fatto risale al 2014/2015 ed è stato il rilevamento georeferenziato del sito archeologico "Forum Sempronii" di epoca romana a Fossombrone. Il rilevamento effettuato è stato poi uno dei 20 lavori selezionati in Europa per la presentazione al II Convegno Internazionale di Archeologia Aerea di Roma nel 2015. Nonostante realizzato con attrezzature non professionali, ci ha permesso di ottenere un'immagine del fotopiano, quindi non solo il modello 3D, dell'intero sito archeologico con una risoluzione di 1.25mm/pixel. Successivamente abbiamo cercato di ampliare questo tipo di attività eseguendo vari lavori; tra quelli portati a termine, oltre alle formelle del Palazzo Ducale

di Urbino, su cui poi mi addentrerò un attimo per poi lasciare la parola al professor Chebac, abbiamo eseguito la riproduzione tridimensionale in collaborazione con l'Università e il Museo Archeologico di Cagliari, di una serie di statuette dell'epoca del bronzo legate al femminile, siamo passati cioè dalle dimensioni di un intero sito archeologico a manufatti con dimensioni dai 3-4 ai 15-16 centimetri. Per tutte le attività finora svolte abbiamo puntato su un sistema che fosse molto duttile, gli estremi dimensionali appena citati ne dimostrano l'efficacia, e al contempo poco costoso visto che come tutti sanno l'Italia non brilla certo per i finanziamenti devoluti all'istruzione. In poche parole abbiamo preferito impiegare il sistema fotogrammetrico classico rispetto agli scanner laser, ai LIDAR o alla luce strutturata, tutti sistemi validi e ampiamente collaudati ma molto meno duttili e più costosi e il cui vantaggio risiede spesso e soprattutto nella velocità di acquisizione, in un range operativo che però può avere grandi limiti.

Siamo partiti da soggetti veramente grandi come un sito archeologico per finire con delle statue anche di pochi centimetri e questo sempre con livelli di restituzione ortofotografica molto elevata, di sicuro molto più elevati di quanto consentito dalle tecniche appena citate. Ovviamente non sono tutte rose e fiori, ci sono anche aspetti negativi, la tecnica fotogrammetrica è meno “automatica”, è molto più laboriosa e richiede comunque delle competenze che solitamente non sono richieste ai sistemi automatizzati, cosa che peraltro si sposa perfettamente con la didattica. Gli elaborati sono costituiti da una struttura tridimensionale digitale rivestita dalla texture dell'oggetto, quella che il professor Mascia definisce come la “pelle” del manufatto, che con questa tecnica riusciamo ad ottenere con una risoluzione irraggiungibile, al meno per il momento, dalle altre metodiche. In questo senso vale la pena ricordare la riproduzione in altissima risoluzione dell'Ultima Cena di Leonardo nel Refettorio della Basilica di Santa Maria delle Grazie a Milano, un dipinto con grandi problemi di conservazione e deperibilità. Fu un'operazione che al tempo fu definita sperimentale e considerata molto innovativa a livello mondiale; costò una cifra davvero notevole per l'epoca, poco prima dell'introduzione dell'euro, e richiedette mesi di lavoro. La riproduzione fotografica finale del dipinto di 8,80 metri per 4,60 fu caratterizzata da una risoluzione complessiva di circa 16 gigapixel. La risoluzione delle ortofoto delle formelle ottenute con il sistema di scansione che abbiamo realizzato in Accademia è di circa 18 gigapixel,

ovvero fatte le debite proporzioni abbiamo ottenuto una risoluzione circa 100 volte superiore alla riproduzione del dipinto di Leonardo. E questo senza incorrere in tempi biblici e costi faraonici perché abbiamo lavorato con quel poco che avevamo a disposizione operando per scopi didattici e di ricerca e non per scopi economici. Mi sembra corretto ritenere quindi che, anche grazie a degli ottimi studenti che ci hanno seguito e aiutato, siamo riusciti ad ottenere dei buoni risultati. Non va dimenticato comunque che dalla riproduzione dell'Ultima Cena a quella delle due formelle del Palazzo Ducale sono passati molti anni in cui la tecnologia e le attrezzature si sono evolute in modo esponenziale. Durante altri percorsi fotografici in altissima risoluzione, abbiamo avuto anche l'opportunità di operare con un sistema automatizzato basato su quello messo a punto dalla NASA e impiegato dai Rover per eseguire le panoramiche in alta definizione sul territorio marziano. Purtroppo non è stato possibile impiegarlo sulle formelle perché operante nella logica della geometria sferica e non rettilinea, di qui la scelta per la scansione lineare è stata quasi obbligata. La risoluzione tridimensionale degli elaborati ottenuti fotogrammetricamente, non può competere con l'accuratezza impressionante di una ortofoto ma è comunque più che sufficiente per realizzare delle copie di livello elevato: per le formelle abbiamo approssimativamente raggiunto un errore compreso tra 3 e 5 decimi di millimetro per metro lineare. Volendo si potevano ottenere valori ancora migliori ma avremmo dovuto disporre di computer molto più performanti di quelli in nostro possesso.

3. Processo tecnico di rilievo fotogrammetrico (a cura di Chebac Romeo Marian)

Entro subito nel dettaglio tecnico di come sono state realizzate le formelle e in quello che è il sistema fotogrammetrico impiegato. Innanzitutto è un sistema di rilievo non a contatto ovvero a contatto indiretto perché quando vengono riprodotte o scansionate le superfici, soprattutto in ambito territoriale e architettonico, si utilizzano, o meglio si utilizzavano, metodi a contatto diretto, con la squadra, con la fettuccia metrica o con altri strumenti tecnici come il teodolite che permettono la misurazione strato per strato di ogni singolo elemento. Quindi luce al posto di paline metriche o spessimetri. Il sistema fotogrammetrico, come accennato dal professor Tosello, si differenzia

totalmente dal LIDAR, un sistema di riproduzione a luce laser, o dai sistemi a ultrasuoni e ancora da quelli a luce strutturata perché impiega la fotografia come ricorda il suo stesso nome. Anche in Accademia è disponibile un sistema di scansione a luce strutturata ma, oltre a non essere di recente produzione, è costituzionalmente limitato in quanto a volumi e dimensioni degli oggetti da scansionare. Il sistema fotogrammetrico non pone limiti alle dimensioni dei soggetti da restituire, si possono fare fotogrammetrie di oggetti microscopici come di interi castelli medioevali o della superficie lunare. Il sistema LIDAR, utilizzato anche sui droni, dal canto suo consente di ottenere un modello tridimensionale georeferenziato tramite dati Gps di un territorio come di una struttura architettonica o ingegneristica, e conseguentemente anche la mappatura DEM ovvero un modello quotato in maniera automatica. Nelle riprese fotogrammetriche una cosa importantissima è l'illuminazione del soggetto. Nel caso delle predelle del Palazzo Ducale, sono stati impiegati quattro illuminatori led del diametro di 20 cm ciascuno a luce diffusa per avere un'illuminazione morbida e priva di ombre sull'intera predella. La formella è stata posizionata sopra un piano e sopra di essa è stato fatto scorrere un carrello di scansione con l'asse ottico della fotocamera ortogonale rispetto al piano della formella (ripresa nadirale). Per una precisione maggiore sugli assi x&y e la gestione del movimento della fotocamera è stata utilizzato uno slider e un controller remoto per sincronizzare lo shutter con le stazioni gestite dal controller, che a sua volta gestiva uno stepper motor per la traslazione. La prima scansione è stata nadirale quindi perfettamente perpendicolare rispetto alla predella, mentre le successive serie di immagini sono state riprese con un'inclinazione di 45° per restituire anche i sottosquadra e le eventuali sporgenze e occlusioni. La fotogrammetria fa parte di quel sistema chiamata IBM ovvero Image Based Modelling, modellazione basata sulle immagini. Parlando di digitale bisogna fare attenzione perché spesso si assiste a una sua mala interpretazione confondendo quello che viene digitalizzato con quello che è reale. Quando si parla di traduzione fotogrammetrica si parla di virtualizzazione digitale, cioè si propone un oggetto tridimensionale virtuale, ma esso non è un oggetto tridimensionale, e sebbene di lui si abbia una comprensione tridimensionale tutta la morfologia della sua struttura, nel nostro caso le formelle, rimane comunque bidimensionale. Abbiamo a che fare con una struttura composta da una *mesh*, da una superficie piana

morfologicamente contorta e distorta che segue quelli che sono i dettagli dell'oggetto reale, quindi nel computer c'è un oggetto bidimensionale però la sua virtualizzazione lo rende un oggetto visivamente tridimensionale ma non tangibile. Ovviamente di oggetto tridimensionale tangibile in questo ambito si può parlare soltanto quando si ha a che fare con la sua riproduzione materiale attraverso i sistemi che vedremo tra poco come le stampanti 3D FDM e SLA.

4. Il processamento software delle immagini (a cura di Chebac Romeo Marian)

Quello che vedete di seguito è il processo fotogrammetrico, il risultato di quello che è stato l'intervento sulla predella, di una delle due formelle, tra l'altro quella meno rovinata, che segue ovviamente successivi e differenti processi.

Il software che è stato utilizzato è PhotoScan della Agisoft in quanto durante le prove si è dimostrato il migliore rispetto a software come "Regard 3D", "Mashroom", "Zephir 3ds" e tanti altri, in tutto attualmente sono disponibile circa una ventina di applicazioni in grado di fare una scansione fotogrammetrica IBM basata sulle immagini.

Le immagini realizzate per la formella più nota e meglio conservata sono state 946, questo ha permesso una risoluzione elevata, riproponendo l'oggetto (in questo caso la formella) nella sua interezza morfologica. Il primo processo di elaborazione delle immagini è la cosiddetta nuvola sparsa di punti. Questa nuvola non è altro che la virtualizzazione di tutte quelle che sono le impostazioni delle fotografie, ovvero l'orientamento statistico all'interno di uno spazio virtuale tridimensionale delle fotografie dell'oggetto. Abilitando la visualizzazione delle fotocamere si può vedere l'orientamento e il numero di ogni foto rispetto a quello che è l'andamento della superficie. Ce ne sono alcune in maniera planare, quindi in maniera parallela rispetto alla superficie della predella e alcune invece con un angolo di inclinazione per poter coprire i sottosquadra. Riassumendo il primo processo di elaborazione è quello della virtualizzazione, cioè l'allineamento delle fotografie per ottenere la cosiddetta nuvola sparsa di punti ovvero una prima ricostruzione statistica dell'intera formella.

La seconda elaborazione, quella della nuvola densa, è la più complessa sia dal punto di vista software che hardware. Il tempo necessario per l'elaborazione aumenta proporzionalmente con il

quadrato del numero delle immagini. Per fare un esempio concreto, se per processare 100 immagini sarà necessaria un'ora per processarne il doppio il tempo salirà a circa quattro ore. Nel nostro caso, con più di 900 immagini, il computer dedicato esclusivamente a questa elaborazione ha impiegato circa una settimana di lavoro giorno e notte.

Quello della nuvola densa è il primo processo di ricostruzione virtuale vera e propria che consente la virtualizzazione e visualizzazione dell'oggetto tridimensionale. Anche se può sembrare che si tratti già di un oggetto 3d, in realtà non è altro che una nuvola di punti talmente densa da dare l'impressione di una continuità superficiale. Tutti i software di modellazione IBM si basano sul principio di collimazione che non è altro che il calcolo matriciale di allineamento di ogni singolo pixel all'interno di una singola fotografia messa in coppia con tutte le altre fotografie. Quindi il primo pixel viene calcolato nella prima foto in corrispondenza alla posizione del pixel avente la stessa cromia e intensità di luce su tutte le altre 946 immagini. Facendo lo zoom sul modello, esso si separa facendo vedere quelli che sono i punti che compongono la superficie, quindi l'andamento morfologico viene seguito da quello che è il posizionamento dei punti all'interno del nostro modello.

In questo processo ci siamo limitati a dare una qualità del dettaglio legato a 17 milioni di punti che compongono l'oggetto tridimensionale. Questi punti, in un rapporto in scala 1:1, possono garantire una restituzione adeguata al nostro sistema percettivo la cui nitidezza è legata ai cosiddetti circoli di confusione: guardando un'immagine vista a una distanza di 20 centimetri non percepiamo difetti se essi sono inferiori a due decimi di millimetro.

Il terzo passo del processo fotogrammetrico è quello in cui si passa dalla nuvola densa al modello "solido" e viene chiamato "modello Wireframe" ovvero l'unione dei singoli punti attraverso una struttura poligonale, la mesh per l'appunto, solitamente definita da triangoli. Il triangolo è la figura geometrica piana che permette più facilmente la "copertura" di un soggetto tridimensionale. Aumentando il numero di triangoli rispetto a un dato soggetto, questi diminuiscono di dimensione e parimenti si assiste ad un aumento della risoluzione spaziale del modello.

In questo caso i 16 milioni di punti hanno permesso di realizzare una mesh con 1.700.000 triangoli. L'oggetto tridimensionale finale dipende da questa mesh poligonale, che come già detto non è un

oggetto 3d ma un oggetto planare bidimensionale che consente una visualizzazione tridimensionale, ovvero una struttura morfologica amorfa, un po' come se avessimo a che fare con un foglio di carta accartocciato che ha solo due dimensioni, X e Y, un foglio che però si adagia sopra la struttura dell'oggetto reale. Girando il modello virtuale è possibile notare come questo sia un modello aperto, manca infatti il fondo della predella poiché mancavano i dati relativi non essendo stato ripreso da quel lato. Di conseguenza è stato necessario un ulteriore intervento per ricostruire la volumetria.

Prima di passare ai sistemi di riproduzione vediamo l'ultimo dei vantaggi offerti dalla scansione fotogrammetrica: la ricostruzione della texture. La texturizzazione è fondamentale in questo ambito e non tanto per motivi estetici, è da qui infatti che si parte nella ricostruzione ortofotogrammetrica (ovvero il processo di riproduzione in altissima risoluzione della ricostruzione planare dell'oggetto), un processo legato a doppio filo alla colorimetria e alla sensitometria, i cui dati ci consentono di definire il deterioramento del manufatto (in questo caso le parti più chiare sono quelle più danneggiate).

Questa fase di elaborazione costituisce già un documento utilizzabile per un intervento di restauro perché le informazioni sul colore sono stabilite in seconda istanza dal sistema di illuminazione che ha caratterizzato le riprese fotografiche. In poche parole tutte quelle che sembrano ombre non sono ombre, ma differenze di colori all'interno del materiale. Tutti gli altri sistemi di scansione attualmente disponibili non sono in grado di offrire una riproduzione colorimetrica attendibile quanto quella possibile in fotogrammetria. Esistono sistemi di scansione che offrono dati colorimetrici, ma impiegano sempre la tecnica fotogrammetrica e poiché per la terza dimensione non fanno uso di immagini, garantiscono una definizione del colore davvero scadente nonostante il loro costo che può toccare facilmente le centinaia di migliaia di euro.

Una volta chiuso il modello, perché altrimenti non è possibile procedere con una superficie aperta, si è passati alla suddivisione del modello in 12 parti, tre in larghezza e quattro in altezza, esportati poi in altrettanti file OBJ. Ogni singolo file o fetta, è stato elaborato ulteriormente con un software di slicing per essere finalmente stampato con una stampante 3D.

L'accademia dispone al momento di tre tipi di macchinari 3D:

stampanti FDM o FFF, a deposizione di filamento fuso e stampanti SLA (stereolitografiche); entrambe hanno fatto uso dello *slicing*, ovvero utilizzano dei software che permettono la suddivisione in strati sottili del modello.

Il modello che abbiamo esportato è un modello in scala 1:1, motivo per cui si è dovuto suddividere in diverse parti. Complessivamente per la stampa di ogni singolo pezzo sono stati necessari vari giorni. In fine tutti i pezzi sono stati riuniti in quella che è la predella finale.

Le stampanti SLA, o stereolitografiche, non consentono di ottenere stampe di grandi dimensioni ma al contempo sono in grado di restituire risoluzioni elevatissime. Nel nostro caso visto le dimensioni delle predelle, circa 60x80 centimetri, per impiegare queste stampanti avremmo dovuto tagliare il modello in circa una quarantina di pezzi. Questo purtroppo non è l'unico problema che avremmo dovuto affrontare, poiché le resine fotopolimeriche impiegate durante la solidificazione tendono a far restringere il pezzo in modo non lineare e a deformarlo lungo i bordi, cosa che avrebbe reso veramente difficile unire tutti i pezzi.

Le stampanti a deposizione di termopolimeri da noi impiegate sono di tipo entry level e sebbene relativamente al dettaglio non consentano di scendere sotto il decimo di millimetro (nel caso delle SLA si parla di micron), ci hanno consentito di ottenere risultati finali a nostro avviso molto buoni. In commercio ci sono stampanti che permettono di stampare ad una qualità più elevata però sono stampanti di tipo industriale molto costose.

Va considerato in ogni caso che il modello stampato non era l'obiettivo finale, ma solo la base per un "restauro" studiato sulla base di documenti filologicamente attendibili e che è stato portato a termine dalla nostra Scuola di Scultura.

Come alternativa alle stampanti 3d abbiamo preso in considerazione anche le macchine CNC, le frese a più assi, visto che ne abbiamo acquisito una in grado di coprire le dimensioni di una predella, ma dopo alcuni test abbiamo preferito procedere con le stampanti 3D a deposizione.

Conclusioni (a cura di Pino Mascia)

La richiesta del direttore del Palazzo Ducale di ricostruire attraverso il modellato le parti mancanti dei rilievi in PLA è semplice tecnicamente ma concettualmente problematica. Perché mentre l'operazione di scansione è il frutto di una metodologia esatta che non lascia margini interpretativi, la ricostruzione delle composizioni con il recupero iconografico non è priva di insidie, deve avvenire solo a seguito dell'intervento di esperti che guidano con criterio storico-scientifico il disegno corretto del funzionamento dei meccanismi tecnologici che sono la guida per l'esecuzione del modellato.

Le indicazioni che Peter Aufreiter ci aveva dato erano quelle di ricostruire le parti mancanti per restituire una lettura coerente al progetto originario, l'intento "rivedere e rileggere" è argomento complesso, pertinente alla metodica del restauro e spesso le idee interpretative sono contrapposte o verso una neutralizzazione formale vicina all'astrazione, o di ricostruzione realistica con il rischio di falsificazione. Ciò che invece fa riferimento alla ricollocazione esterna alle pareti delle sedute esterne del Palazzo Ducale, è argomento che potrebbe protrarsi all'infinito, il dettato brandiano che risale ai primi anni 60, esclude categoricamente una qualsiasi forma di ricostruzione architettonica. Sappiamo che questi rilievi sono stati rimossi nel 1756, quindi si interviene su un ambito storico e la cautela è necessaria quando si pensa questo tipo di lavoro. Collocare le predelle ricostruite, per il direttore del palazzo Ducale era soprattutto una scappatoia per non spostare i manufatti storici ma rendere ben chiaro quello che era l'oggetto del rifacimento.

L'ipotesi di si mettere le antiche predelle nel luogo originario in ogni caso non è stata avanzata da nessuno dei responsabili, molti dei rilievi attuali hanno perso dettagli ancora presenti quindici anni fa e questo è un tema ricorrente, negli anni trenta il direttore del Palazzo Ducale, Pasquale Rotondi diceva: «Lo stato di conservazione è pessimo e non consente la lettura efficace della macchina e neppure permette di identificare l'uso di questo complicato congegno»¹. Sappiamo che diversi pezzi di questo importante ciclo di rilievi, furono molto ma molto tempo fa malamente restaurati e che l'uso di materiali non adatti alla conservazione ha accelerato il loro degrado e pare che non si sia modo di arrestarlo, urgente quindi la necessità di "fermare" archiviare

¹ Rotondi (1942).

digitalmente l'immagine, anzi in questo caso assolutamente indispensabile.

Ben altro tema si affronta sul processo della “ricostruzione”. Ecco perché è necessario dividere esattamente i due argomenti. E su questa rigidità vorrei fare una piccola riflessione. Secondo me l'argomento del divieto assoluto della ricomposizione di un'architettura è attualmente meno imperativo, per vari motivi. Perché una scultura o un vaso frantumato vengono ricomposti e questo non può avvenire per una architettura. Un progetto di anastilosi in uno stadio molto avanzato per uno dei templi Greci di Selinunte è stato presentato all'università di Urbino dall'archeologo Massimo Valerio Manfredi, in questo caso si tratta di risollevare un tempio che si è conservato quasi del tutto intatto, questa operazione che fino ad ora era assolutamente impensabile, oggi ci sono molte voci di storici e studiosi che ritengono che questo sia un'intervento possibile.

Nel nostro caso riguardante i due rilievi “mulino a doppia macina” e “congegno per argano a trasmissione multipla” con l'intervento di modellato eseguito dal gruppo di lavoro della scuola di scultura hanno avuto un recupero della loro lettura. La prima era meno compromessa quindi il dettaglio è stato recuperato in maniera molto semplice. La seconda predella era più problematica e a seguito di una ricerca documentaria si è stabilito che le stampe della base Bianchini in realtà erano più estetiche che tecniche, cioè cosa vuol dire? Vuol dire che se noi andiamo ad applicare la tecnologia concreta disegnata su quelle stampe, molte di queste macchine non funzionano affatto e non si capisce neanche come potrebbero operare.

Bibliografia

Rotondi, P., 1942, «Appunti ed ipotesi sulle vicende costruttive del Palazzo Ducale di Urbino», in *Studi Urbinati*, Urbino STEU.

