

Nuove tecnologie 3D nel contesto dei beni culturali

INDICE

1. Introduzione
2. Applicazione dei modelli 3D digitali nel campo dei beni culturali
 - 2.1. Comunicazione visiva
 - 2.2. Cataloghi d'arte
 - 2.3. 3D digitale come strumento per studiosi di arte
 - 2.4. Riproduzione fisica dell'originale
 - 2.5. Ricostruzione, assemblaggio e colorazione virtuali
 - 2.6. Supporto al restauro
 - 2.6.1. Modelli 3D come strumenti per indagini e diagnostiche
 - 2.6.2. Modelli 3D come strumenti per la gestione della conoscenza
 - 2.7. Capire ed apprezzare la struttura metrica di un dipinto
 - 2.8. Non solo 3D: le immagini re-illuminabili
 - 2.8.1. La collezione di monete di Ottavio Simoneschi
 - 2.8.2. Il progetto *Tesserarum Sisciae Sylloge*: un caso di epigrafia digitale
3. Conclusioni
4. Riferimenti bibliografici

1. Introduzione

Oggi più che mai c'è una rivalutazione del patrimonio culturale, non più visto come dominio esclusivo di studiosi specializzati, ma come una risorsa per lo sviluppo economico di comunità locali e di regioni, un mezzo per ritrovare un'identità culturale da comunicare ad altri, un criterio di selezione di destinazioni turistiche, una materia preziosa nell'ambito dell'istruzione, e molto altro. Il mondo dei beni culturali, dunque, diviene di dominio pubblico. In tutto questo il ruolo delle nuove tecnologie è fondamentale: da una parte aiutano gli studiosi a semplificare la gestione e le analisi dei dati scientifici, dall'altra permettono al grande pubblico una migliore comprensione del passato grazie ad applicazioni interattive, presentazioni personalizzate e ambienti virtuali molto realistici.

Tuttavia, l'introduzione di nuove tecnologie in questo campo è spesso problematica a causa della resistenza nel rimpiazzare approcci consolidati con metodi sperimentali basati su sistemi hardware e software innovativi; in particolare è problematica l'introduzione di modelli 3D digitali poiché non è banale passare dalla visualizzazione bidimensionale, basata su fotografie o disegni, alla possibilità di esplorare un oggetto nelle sue tre dimensioni. L'uso della grafica e delle tecnologie di scansione 3D è stato inizialmente limitato, sia da parte degli studiosi che da parte del grande pubblico: per i primi, dai costi elevati e dai dispositivi poco performanti a disposizione; per il secondo, dalla scarsa disponibilità di tools intuitivi, per la semplicità d'uso dell'interfaccia grafica utente, e equilibrati, per la visualizzazione ad alta risoluzione di modelli 3D accurati e la contemporanea possibilità di navigazione in tempo reale.

Nonostante tutto, le tecnologie di scansione e modellazione 3D sono diventate negli ultimi anni un potente mezzo per presentare ed analizzare opere d'arte in luoghi virtuali, come quello del web, e in luoghi reali, come i musei o le città. Di seguito si mostrano alcune delle possibilità di applicazione di modelli 3D digitali (e non solo) nel campo dei beni culturali.

2. Applicazione dei modelli 3D digitali nel campo dei beni culturali

2.1. Comunicazione visiva

La comunicazione visiva è l'utilizzo più comune dei modelli 3D digitali nel contesto dei beni culturali, attraverso la diffusione di video sia di tipo passivo (come le animazioni generate a computer, che non prevedono l'intervento dello spettatore) che di tipo attivo (come le installazioni interattive multimediali o i sistemi di navigazione virtuale, che necessitano dell'intervento dell'utente).

La comunicazione attraverso video "passivi" è usata spesso in programmi storico-artistici ma predomina nei film cinematografici di alto budget, dove si vuole ricostruire molto

realisticamente edifici e opere del passato in modo da far immedesimare lo spettatore¹. Film di questo tipo sono così frequenti che il grande pubblico è ormai in grado di distinguere una rappresentazione virtuale di buona qualità da una mediocre. Quindi, presentare un video nel contesto del patrimonio culturale non è così semplice poiché bisogna tener conto del confronto con i prodotti dell'industria cinematografica. È molto difficile vincere una competizione del genere perché spesso nel nostro campo di interesse non ci sono molti fondi a disposizione. Nonostante tutto, esistono interessanti video prodotti a basso costo, sia nel campo dell'intrattenimento² che in quello dei beni culturali, dove l'animazione generata a computer (grazie a piattaforme software gratuite o a un costo accessibile) costituisce un potente mezzo per mostrare i risultati degli studiosi.

A differenza dei primi, i video "attivi" sono usati in ambiti dove è l'utente a scegliere cosa vedere, come vederlo e per quanto tempo. Si richiede una partecipazione attiva della persona, che si concretizza nell'esplorare un artefatto digitale in tutte le sue sfaccettature per riuscire a visualizzarne i dettagli di maggior interesse. Per soddisfare tale esigenza, l'interfaccia di interazione deve essere il più chiara possibile e deve distinguere i diversi tipi di artefatti da analizzare (l'interazione con una statua è molto diversa da quella con un sito archeologico o una città storica). Questo tipo di comunicazione si attua non solo nei musei virtuali, nelle installazioni interattive o nelle applicazioni per i dispositivi mobili ma anche sul web, attraverso browser geografici che incentivano l'uso di ricostruzioni 3D di edifici e artefatti³. Questi sistemi permettono di visualizzare modelli 3D in multi-risoluzione: da un punto di vista lontano l'utente vede i modelli 3D a bassa risoluzione; man mano che si avvicina all'oggetto di suo interesse, il relativo modello 3D aumenta di definizione fino ad offrire all'utente una visualizzazione abbastanza dettagliata dell'architettura o dell'opera d'arte scelta. Sfruttando questa caratteristica è possibile rappresentare beni culturali su larga scala da poter navigare virtualmente⁴. Si potrebbe facilmente immaginare che in un futuro non lontano le autorità locali incentiveranno la produzione di modelli 3D per popolare questi sistemi, con l'obiettivo di incrementare il turismo e diffondere la conoscenze di opere d'arte locali.

Nell'ambito del patrimonio culturale la comunicazione visiva interattiva è di gran lunga preferibile a quella passiva poiché è in grado di regalare all'utente un'esperienza

¹ Basti pensare a "Il Gladiatore", film di enorme successo in cui è stata creata una fedele riproduzione della Roma Imperiale.

² Ne è un esempio il film "The Partenon", di Paul Debevec, dove diverse tecnologie hanno permesso di mettere insieme il Partenone e le sue decorazioni.

³ Un noto esempio è il browser Google Earth.

⁴ Un esempio è il "Museo Virtuale dell'Antica via Flaminia", progettato come sistema di realtà virtuale da installare nel museo nazionale di Roma. Uno dei principali obiettivi era quello di mantenere gli aspetti sociali tipici di una visita al museo; per questo il sistema è stato progettato per fornire un'interazione e una navigazione multi-utente. Attraverso l'applicazione di realtà virtuale, i visitatori hanno potuto esplorare la strada romana così come era nell'antichità.

personalizzata: gli artefatti esposti in un museo o gli edifici di una città storica sono in genere molto complessi, ricchi di informazioni e di significati; un sistema di visualizzazione interattivo permetterebbe all'utente di scegliere i dettagli su cui focalizzarsi e di estrarre solo le informazioni per lui rilevanti⁵.

2.2. Cataloghi d'arte

La catalogazione del patrimonio culturale è solitamente basata su dati testuali e fotografie; in futuro, però, potrebbero essere adottati modelli 3D digitali come risorsa principale per descrivere la forma e l'aspetto degli artefatti e per ideare applicazioni interessanti per il restauro e per il supporto a futuri studi. Nonostante l'attuale tecnologia di scansione 3D sia considerata matura per la catalogazione, esistono alcuni problemi tecnici, come quello della conservazione dei dati a lungo termine⁶ o quello della continua gestione dei modelli e di tutti i metadati che caratterizzano gli artefatti rappresentati in un catalogo.

Al di là di questi limiti, l'effettivo utilizzo dei modelli 3D digitali nei cataloghi d'arte dipende dalla disponibilità di fondi e dalle competenze tecnologiche dei responsabili degli istituti in questo campo piuttosto che da ragioni prettamente tecnologiche.

2.3. 3D digitale come strumento per studiosi di arte

La disponibilità di modelli 3D digitali molto accurati sarebbe vantaggiosa per lo svolgimento di importanti attività come proporre o confermare l'attribuzione di un'opera, pianificare e documentare un restauro o identificare opere false. Sono attività in genere basate solo sull'analisi dei materiali e su studi dei documenti storici; tuttavia, se si aggiungesse uno strumento di visualizzazione interattiva di modelli 3D digitali, si potrebbero fare più facilmente confronti visivi e annotazioni localizzate, operazioni molto utili agli storici d'arte. Il medium del 3D digitale, inoltre, può essere utile anche ad un gruppo più ampio di studiosi. L'approccio tradizionale è quello di studiare un'opera tramite la manipolazione diretta e l'ispezione visiva (rari privilegi di un numero ristretto di esperti, con molte limitazioni dai punti di vista temporale e spaziale). Il lavoro degli studiosi, invece, si basa sull'analisi di immagini bidimensionali, che rappresentano solo una parte dell'opera, parte

⁵ Il progetto "Visito Tuscany" propone una guida interattiva personalizzata per la visita delle città d'arte toscane. La visita si articola in tre fasi:

- pianificazione della propria visita sul web, grazie alle informazioni contenute nella banca dati e alle visualizzazioni tridimensionali degli edifici;
- visita in loco "aumentata" da dispositivi mobili di nuova generazione, per fruire in maniera più ricca delle informazioni su ciò che si sta visitando o sul contesto in cui ci si trova;
- condivisione dell'esperienza vissuta, sul sito web o sui social networks.

⁶ I supporti hardware sono soggetti a deterioramento e non stanno al passo con i veloci aggiornamenti dei software.

che oltretutto dipende da uno specifico punto di vista e da una certa illuminazione. Il medium del 3D digitale⁷, dunque, può offrire l'esperienza della manipolazione e dell'ispezione di un artefatto a un numero molto più ampio di studiosi, senza il rischio di rovinare l'originale, da qualsiasi punto di vista, con diversi tipi di illuminazione, in qualsiasi luogo e in ogni momento.

Interessanti esempi dell'uso di questo medium nel campo dei beni culturali sono:

- l'uso di tecniche di registrazione di immagini su modelli 3D digitali per sostenere una teoria di attribuzione⁸;
- la creazione di un ambiente di studio collaborativo⁹;
- l'uso di dati 3D per la classificazione di sculture¹⁰.

2.4. Riproduzione fisica del modello digitale

Una volta ottenuto il modello 3D digitale, la tecnologia della “prototipazione rapida” (meglio nota come “stampa 3D”) può essere molto utile nel campo dei beni culturali: si tratta di una tecnologia in grado di creare riproduzioni accurate di un oggetto a partire dal suo modello 3D digitale tramite un processo che può utilizzare diversi materiali (plastica, metallo, pietra, ecc.). A differenza dell'approccio tradizionale, che richiede la produzione di stampi di gomma da applicare manualmente sull'opera originale (con il

⁷ Il sociologo canadese H. M. McLuhan lo chiamerebbe “medium freddo” perché, a differenza delle immagini 2D (classificabili come “medium caldo”), permette una maggiore partecipazione da parte di chi lo usa.

⁸ Grazie a queste tecniche si è trovata una significativa relazione tra un disegno di Leonardo e una piccola statuetta di bronzo rappresentante un cavallo. Dallo studioso Mark Fondersmith è stata avanzata l'ipotesi secondo cui il suddetto cavallo di bronzo dovrebbe essere stato creato molto prima della data che gli è stata attribuita; da questo cavallo Leonardo avrebbe tratto spunto per il suo disegno. L'artista avrebbe usato una camera oscura e il cavallo di bronzo sarebbe stato tracciato in due fasi: prima il corpo e poi la testa e una gamba, disegnati dopo aver leggermente ruotato il bronzo verso sinistra. Per studiare a fondo la faccenda è stata acquisita la statuetta originale con tecniche di scansione 3D ed è stata riprodotta una copia con una stampante 3D. In seguito il disegno è stato allineato al modello 3D in base ai due punti di vista delle due fasi ipotizzate; ne sono risultate corrispondenze molto precise che possono essere delle valide prove empiriche a sostegno dell'ipotesi avanzata.

⁹ Tale ambiente è stato creato per il progetto CENOBIUM sul confronto visivo di capitelli di chiostri romani nella zona del Mediterraneo. Sono stati digitalizzati tre chiostri di cui sono state prodotte diverse immagini digitali ad alta risoluzione e modelli 3D a colori molto dettagliati; tutte le informazioni sono state integrate in un sito web dove l'utente può confrontare modelli 3D e immagini e condividere le proprie opinioni con gli altri.

¹⁰ È il caso del progetto di archiviazione digitale delle sculture dei volti nel tempio di Bayon, in Cambogia. Qui sono stati acquisiti, con diverse tecnologie, 173 volti di pietra intagliati su torri estremamente grandi (100 m di lunghezza per 43 m di altezza). L'analisi dei modelli 3D digitali ha aiutato gli esperti nella classificazione di questo insieme molto complesso di sculture, senza la necessità di recarsi fisicamente nel luogo d'interesse, peraltro lontano e molto difficile da raggiungere.

rischio di rovinarla) per poi creare delle copie in gesso o in resina necessariamente in scala 1:1, la stampa 3D è molto più flessibile: permette di ottenere copie dell'artefatto (o di un parte di esso) in qualsiasi scala, in modo automatico e a un costo accessibile.

Questo tipo di tecnologia può essere “sottrattiva” o “additiva”: la prima si basa sull'idea di produrre una copia scolpendo un blocco di materia con una fresa controllata da computer¹¹; la seconda si basa sulla fusione di un sottile filamento di plastica (o di qualche altro materiale) che viene depositato su diversi strati fino a creare la forma desiderata¹². Quest'ultima ha avuto un ampio successo negli ultimi anni grazie alla sua semplicità di utilizzo e alla compattezza delle macchine. In questo modo risulta accessibile non solo ai tecnici di computer ma anche agli studiosi di arte e ai curatori dei musei.

La principale applicazione della “prototipazione rapida” è la produzione di copie ad alta fedeltà di artefatti originali. Nel mondo dei beni culturali queste copie possono essere molto utili nei seguenti modi:

- rimpiazzo permanente o temporaneo di opere originali (qualora un museo dovesse rimuovere un'opera temporaneamente, per esigenze di restauro, o permanentemente, per prevenire ulteriori danni già subiti a causa di diversi fattori);
- esposizione di un artefatto (se la versione originale non è disponibile per un prestito o se il costo dei trasporti è molto elevato);
- supporto a persone non vedenti (il loro unico modo di scoprire sculture, opere d'arte, o dipinti, è l'uso del senso del tatto, spesso vietato nel caso di opere originali);
- produzione in serie per il merchandising;
- applicazione di sensori (all'interno di un museo potrebbe essere interessante dotare gli oggetti esposti di sensori per offrire al visitatore un'interazione più ricca ed emozionante).

Un'altra applicazione, meno usuale ma altrettanto importante, è la possibilità di contribuire al restauro. Grazie alle tecnologie di stampa 3D, infatti, è possibile sia progettare e riprodurre le parti mancanti di un'opera (in modo da offrire al pubblico una spiegazione più efficace della struttura originale dell'artefatto) che costruire strutture di supporto, spesso necessarie all'assemblaggio di frammenti¹³.

¹¹ Con questa tecnica è stata realizzata una copia della testa di marmo di Mecenate (conservata presso il Museo Archeologico di Arezzo). E' stata prima fatta una scansione 3D dell'originale, usando uno scanner laser a triangolazione; il modello 3D è poi servito da input per calcolare i percorsi di intaglio di un sistema di frese. Infine, c'è stato un intervento manuale per scolpire i dettagli più piccoli e pulire la superficie da eventuali residui.

¹² Nel 2004 alcuni restauratori hanno fatto ricorso a questa tecnica per ricreare una parte di un muro dell'antica Pompei, coperta di iscrizioni. L'obiettivo era quello di produrre una copia di alta qualità dove mettere in risalto le varie iscrizioni manuali latine per aumentarne la leggibilità. La riproduzione è stata eseguita con una stampante 3D di tipo additivo (il materiale usato era il gesso) che ha creato singolarmente le 125 mattonelle che costituivano il muro.

¹³ Ne è un esempio il restauro della Madonna di Pietranico, una statua di terracotta frammentata a causa del terremoto in Abruzzo: nella fase iniziale del restauro sono stati scansionati i frammenti per fare un'ipotesi di ricombinazione in ambito digitale; in seguito è stata stampata una struttura di supporto sulla quale sono stati assemblati i pezzi.

2.5. Ricostruzione, assemblaggio e colorazione virtuali

La ricostruzione virtuale è una delle applicazioni più chiare della grafica 3D per i beni culturali. Essa permette di immaginare artefatti che non esistono più usando tecniche di ricostruzione automatica, come la fotogrammetria e lo *stereo-matching*, in grado di ottenere ricostruzioni abbastanza accurate di un oggetto che non può essere più sottoposto a scansione¹⁴. Altri approcci si basano sulle informazioni delle piante di antiche costruzioni: tecniche semi-automatiche di processamento di immagini sono in grado di estrarre le linee delle mura ed estruderle per ricostruire l'architettura originale. Metodi ancora diversi si basano sulla forma originale di un artefatto incompleto o danneggiato¹⁵. Infine, vi sono quei sistemi che partono da frammenti dell'oggetto e cercano di ricostruirlo¹⁶.

Un altro campo di applicazione è l'assemblaggio digitale di opere frammentate o divise in pezzi. L'assemblaggio fisico è solitamente un processo manuale eseguito dagli archeologi; tuttavia, a causa della fragilità degli artefatti o della complessità della manipolazione dei frammenti, l'adozione di un approccio assistito da computer potrebbe essere molto utile. I metodi di scansione 3D e di assemblaggio automatico, dunque, possono essere la soluzione a problemi di ricostruzioni molto complesse.

Nel caso di pezzi molto rovinati o di artefatti frammentati di cui mancano molte parti, però, l'approccio automatico può non avere successo. Una soluzione alternativa potrebbe essere quella di fornire ai restauratori uno strumento software che sia di aiuto alla ricomposizione della struttura originale. Grazie ad esso l'utente può avanzare un'ipotesi sulla forma originale della struttura e in seguito cercare di confermarla confrontando il modello 3D con le superfici frammentate, ovvero usando un approccio di corrispondenze tra i frammenti

¹⁴ La fotogrammetria, tecnica di ricostruzione virtuale semi-automatica, usa una foto reale come riferimento su cui modellare edifici e strutture; è come fare un ricalco tridimensionale di un'immagine bidimensionale.

Lo *stereo-matching*, tecnica completamente automatica, analizza diverse foto di uno stesso artefatto cercando di trovare delle corrispondenze; da queste ultime ricava dei punti nello spazio tridimensionale e restituisce all'utente una ricostruzione dell'artefatto costituita da moltissimi punti sparsi nello spazio. Con questa tecnica è stata ricostruita la statua del Grande Buddha di Bamiyan, distrutta dai Talebani nel 2001. Il relativo modello 3D è stato ottenuto in modo automatico a partire da un insieme di immagini prese dal web ed è stato utilizzato come punto di partenza per ricostruire fisicamente la statua.

¹⁵ Ad esempio, la forma di un cranio di un uomo preistorico è stata ricostruita confrontando ed integrando l'acquisizione 3D dei pochi resti del cranio originale con le radiografie di uomini di razze simili.

¹⁶ È il caso della ricostruzione di vasi che, grazie alla loro forma abbastanza regolare e simmetrica, possono essere ricostruiti virtualmente tramite una semplice rotazione della versione digitale del frammento. Quindi, dopo aver scansionato uno o più frammenti di un vaso, è possibile ricavare il diametro dell'artefatto e produrre un modello digitale dell'intera forma.

digitalizzati e il modello 3D dell'intera struttura. Se l'ipotesi è confermata si crea una forma di base sulla quale "incollare" i frammenti a disposizione¹⁷.

Oltre che sulla forma, è possibile, con l'aiuto di altri tools specifici, fare ipotesi sul colore originale di quegli artefatti che hanno completamente perso la verniciatura o ne presentano gravi deterioramenti; ci si può basare, ad esempio, sulle analisi dei pigmenti originali trovati sulle superfici. Data la diversità di molteplici ipotesi sul colore, l'uso dei modelli 3D digitali evita il ricorso a costose repliche fisiche permettendo di verificare le ipotesi direttamente a livello virtuale¹⁸.

2.6. Supporto al restauro

Il restauro di artefatti nel campo dei beni culturali, essendo costituito da un insieme di operazioni complesse (ispezioni, analisi chimiche, ricerche storiche, ecc.) che potrebbero ripetersi nel tempo per monitorare lo stato dell'opera, può essere influenzato positivamente dall'uso di accurati modelli 3D digitali. Il problema che emerge è quello di gestire i diversi dati multimediali risultanti (testi, documenti storici, immagini 2d e 3D, dati numerici, ecc.); bisogna renderli accessibili ai responsabili del restauro in un ambiente integrato per dare loro pieno accesso alle analisi fatte e aiutarli nel confrontare l'opera prima del restauro con quella sottoposta agli interventi per verificare eventuali cambiamenti nella forma e/o nel colore. Poiché la maggior parte delle informazioni raccolte si riferisce a diverse locazioni spaziali sulla superficie dell'opera, i modelli 3D digitali possono essere i mezzi ideali per indicizzare, memorizzare, correlare e visualizzare tutte queste informazioni.

Alcune indagini possono essere fatte direttamente sul modello 3D digitale tramite delle simulazioni, per valutare lo stato di edifici o sculture o per individuare condizioni a rischio dovute al consumo dei materiali. Il deterioramento, infatti, può essere simulato facendo una previsione delle condizioni future dell'opera soggetta a corrosione. Ciò implica un'accurata simulazione dell'evoluzione sia della forma che delle proprietà del materiale dell'opera nel corso del tempo. La stessa procedura può essere usata per la presentazione virtuale degli effetti previsti dai restauratori; sarebbe molto utile mostrare al pubblico o alle istituzioni,

¹⁷ Un'applicazione di questo metodo è avvenuta con il restauro virtuale di un muro della chiesa di Santa Maria di Cerrate (LE). Il muro della navata sinistra della chiesa, costituito da diversi blocchi, era andato in pezzi ma è stato ricostruito senza tener conto del giusto ordine delle componenti. Il problema è stato risolto a livello virtuale, prima spostando i blocchi di pietra nelle posizioni giuste e poi modellando l'intero muro, basandosi sulle informazioni a disposizione. Il lavoro è stato presentato al pubblico tramite video pre-registrati e sistemi interattivi.

¹⁸ Un impiego pratico dei "dipinti virtuali" può essere quello di ricorrere a video-proiezioni digitali piuttosto che a una copia fisica da riverniciare. Usando proiettori economici è possibile restituire virtualmente il colore alla superficie di queste opere ridipingendo il modello 3D digitale e proiettando il modello colorato sulla superficie dell'opera originale.

prima delle effettive operazioni di restauro, un plausibile modello dei risultati. In questo modo si possono prevenire eventuali discussioni post-restauro.

Pertanto, un futuro obiettivo delle tecnologie di restauro assistito da computer potrebbe essere quello di supportare la gestione e la conservazione dei beni culturali attraverso la semplificazione di indagini e diagnostiche, per prevenire gli ulteriori danni che un'opera potrebbe subire nel tempo, e un'efficace documentazione dei relativi risultati, per diffondere la conoscenza di un certo artefatto.

2.6.1. Modelli 3D come strumenti per indagini e diagnostiche

Per avere un chiaro esempio di come i modelli 3D digitali possono essere utilizzati per indagini e diagnostiche, riporto due indagini eseguite per il progetto di restauro del David: la descrizione dell'esposizione della superficie alla caduta di agenti contaminanti e il calcolo di misure fisiche. In entrambe le fasi sono stati utilizzati software creati *ad hoc* per processare i dati e presentare i risultati al pubblico.

Per la prima fase, poiché il fenomeno dipende dalla direzione di caduta degli agenti e dalla pendenza della superficie della statua, si è assunta una direzione di caduta casuale, uniformemente distribuita intorno all'asse verticale della statua (tenendo conto di un angolo α che determina la massima direzione di inclinazione). Per rendere visibili i risultati, il modello 3D della statua è stato colorato con diversi colori, ciascuno dei quali indica una certa densità di caduta degli agenti.

Per la seconda, si sono calcolate delle misure fisiche direttamente sul modello 3D: il peso totale, sapendo il peso specifico del materiale dell'opera d'arte, e il suo volume. Tali misure sono servite a valutare l'aspetto statico della statua, la quale era leggermente inclinata in avanti: delle crepe sulla parte posteriore delle anche (probabilmente dovute a una sbagliata distribuzione della massa della statua e dalla base non del tutto piana) preoccupavano i restauratori. Per l'ultimo restauro quindi, sono stati calcolati direttamente sul modello 3D due centri di massa (uno per l'effettivo stato della statua, l'altro per la statua priva della base).

2.6.2. Modelli 3D come strumenti per la gestione della conoscenza

Un secondo ed importante uso dei modelli 3D digitali nel supporto al restauro è la documentazione, organizzazione e presentazione dei dati. Dato che una campagna di

restauro richiede diverse indagini scientifiche, il modello 3D digitale potrebbe essere un ottimo medium per integrare tutte le informazioni in un unico contesto¹⁹.

Anche in questo caso ci viene in aiuto l'esempio del progetto precedente: su diverse zone del modello 3D del David sono stati posizionati degli indici, ciascuno dei quali è stato collegato a una pagina web che descrive l'indagine e i risultati corrispondenti alla parte di statua indicizzata. Alcuni di questi dati sono delle immagini prodotte sotto la luce UV, che permette di evidenziare i depositi organici sulla superficie di marmo. L'indagine ha prodotto diverse immagini 2D (da più punti di vista) che sono state successivamente combinate in una singola *texture*; quest'ultima è stata avvolta intorno alla geometria della statua digitale in modo da poter visualizzare il modello 3D come se fosse esposto ai raggi ultravioletti. Altri dati sono costituiti da foto scattate per documentare lo stato della statua, prima e dopo il restauro. Sulle foto raffiguranti lo stato pre-restauro sono state disegnate delle annotazioni grafiche molto accurate; si tratta di annotazioni che descrivono dei particolari, come le imperfezioni del marmo, la presenza di depositi o strati di polveri, le tracce del lavoro dell'artista, ecc. I restauratori hanno disegnato queste annotazioni su fogli di acetato trasparenti posizionati sulle foto; in seguito, hanno scansionato questi disegni e li hanno salvati in digitale²⁰. In un futuro non lontano, la disponibilità di nuove tecnologie permetterà di disegnare simili rilievi direttamente sulla pelle digitale del modello 3D, grazie ai continui miglioramenti delle schede grafiche e delle tecnologie di scansione 3D.

2.7. Capire ed apprezzare la struttura metrica di un dipinto

Con le tecnologie di scansione 3D e di elaborazione di modelli digitali tridimensionali è anche possibile curare l'indagine di un quadro; in particolare, se si tratta di un dipinto con dei piccoli rilievi, può essere interessante cercare di visualizzarne i dettagli per capire meglio in che modo ha operato l'artista.

È il caso dell'opera del pittore statunitense Jackson Pollock, "Alchemy". Per avere una documentazione metrica scientifica, adatta a misurare, studiare e analizzare la struttura materica del dipinto, è stata tracciata una mappa tridimensionale ad alta risoluzione della geometria del quadro. Il tutto è stato reso visibile in un chiosco interattivo, dove visualizzare e manipolare l'opera nella sua versione digitale, e in una mostra, dove poter apprezzare una copia del dipinto originale. Per digitalizzare il quadro è stato usato uno scanner 3D a luce

¹⁹ Specifiche caratteristiche per colorare o mappare dati multimediali su un modello 3D già esistono nel campo dei beni culturali tramite le applicazioni GIS (*Geographic Information System*) ma negli ultimi anni sono stati progettati nuovi web browser in grado di fare le stesse operazioni (necessitano di un plug-in per la visualizzazione del modello 3D).

²⁰ Per ragioni di performance, questi rilievi non sono stati mappati sul modello 3D (ciascuno di essi è un'immagine di 5M pixel); tuttavia, possono essere visualizzati in una sezione dedicata del browser.

strutturata di ultima generazione²¹. In seguito i dati tridimensionali grezzi sono stati elaborati con un software specifico. Ottenuto il modello 3D digitale si è creato un chiosco interattivo dove il visitatore può osservare da vicino la geometria e il colore del quadro interagendo con uno schermo touch. Il visitatore può inoltre apprezzare la struttura materica dell'oggetto toccando direttamente con mano la copia fisica del quadro, ottenuta con tecniche di stampa 3D.

2.8. Non solo 3D: le immagini re-illuminabili

Le immagini re-illuminabili, pur essendo bidimensionali, offrono a chi ne usufruisce un nuovo modo di vedere gli oggetti rappresentati: si tratta di una visione interattiva che permette di esplorare diverse illuminazioni di un oggetto in una singola immagine. Questo è possibile grazie alla *Reflectance Transformation Imaging* (RTI), una tecnologia che, a partire da un insieme di fotografie che catturano la forma e il colore della superficie di un oggetto illuminato da diverse direzioni di luce, codifica i dati acquisiti in una sola immagine usando funzioni matematiche relative alla riflettanza²² dell'oggetto.

Esistono due metodi per applicare l'RTI: uno è basato sull'uso di una singola fonte di luce che viene fisicamente spostata per coprire l'area di una semisfera attorno alla posizione della fotocamera²³; l'altro, usato per oggetti di piccole dimensioni, necessita di una cupola di metallo con una fotocamera posizionata nel centro e diverse luci controllate da computer distribuite sulla superficie.

Fino a qualche anno fa questa tecnica è stata usata solo da esperti come supporto all'ispezione virtuale e ai processi di interpretazione; ultimamente, invece, grazie ai recenti sviluppi della visualizzazione sia di dati 2D che 3D sul web, chiunque abbia accesso alla rete può manipolare questi artefatti. Come nel caso dei modelli 3D digitali, gli usi di queste immagini nel campo dei beni culturali sono molteplici ma di seguito ne riporto solo due casi: l'analisi delle incisioni su una collezione di monete e lo studio delle scritture cuneiformi su antiche etichette.

2.8.1. La collezione di monete di Ottavio Simoneschi

²¹ Uno scanner 3D a luce strutturata utilizza la proiezione di un pattern di luci direttamente sulla superficie dell'oggetto; un sensore CCD rileva la luce riflessa dall'oggetto per il successivo calcolo delle coordinate tridimensionali.

²² Per "riflettanza" s'intende la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere.

²³ Per poter ricavare la posizione della luce in fase di processing, accanto all'oggetto da fotografare viene posta una piccola sfera riflettente; vedendo il punto luce sulla sfera, un algoritmo sarà in grado di tracciare la provenienza del raggio di luce.

Le monete antiche costituiscono un artefatto interessante da acquisire e da esplorare virtualmente con le immagini re-illuminabili. Una moneta, infatti, è un oggetto molto piccolo, spesso presentato nei musei in teche di vetro dove l'artefatto risulta visibile solo da una certa distanza e da un solo lato; a causa di questi vincoli, i visitatori non riescono a notare i dettagli più piccoli dell'artefatto. Per ovviare a questo problema è stato creato un chiosco interattivo in occasione dell'esposizione della collezione di monete di Ottavio Simoneschi, presso il museo Palazzo Blu di Pisa²⁴. Grazie al suddetto chiosco, i visitatori possono interagire ed esplorare virtualmente ogni moneta, col vantaggio di poter cambiare la direzione della luce in tempo reale ed apprezzare i dettagli sulla superficie della moneta scelta. I visitatori, inoltre, possono accedere a tutte le informazioni di ciascuna moneta grazie ad un'interfaccia molto semplice e intuitiva. La collezione comprende più di 3.300 pezzi, che vanno dalle monete ai medaglioni, di cui è stato stilato un inventario arricchito da fotografie digitali. Questa collezione offre non solo un quadro storico delle monete (provenienti dall'antica Grecia, dall'Etruria, dalla Roma repubblicana e da quella imperiale), ma anche una finestra sulla storia e sull'arte in Italia e nel Mediterraneo dal VI sec. a.C. alla fine del XIX sec. Quindi, per dare al pubblico l'opportunità di vedere quanto più possibile, nel chiosco interattivo sono stati introdotti 40 esemplari, divisi per tematiche e ordine cronologico.

Il primo passo è stato acquisire le immagini delle monete. La digitalizzazione è stata fatta con una cupola di 116 luci bianche di tipo LED al centro della quale è stata posta una macchina fotografica reflex ad alta risoluzione. La cupola era controllata da un computer che sincronizzava lo scatto di ogni fotografia con l'accensione di ciascuna luce. Il tutto è stato fatto per entrambe le facce delle monete. Per mostrare i risultati sul web è stato utilizzato un formato che permette un caricamento asincrono dell'immagine: in questo modo l'utente può immediatamente interagire con l'oggetto, senza aspettare il completo caricamento dell'immagine²⁵. Una volta ottenute le immagini re-illuminabili, è stato sviluppato il chiosco interattivo su cui poter sia navigare la collezione in diversi sottoinsiemi che ispezionare ciascuna moneta grazie al visualizzatore interattivo delle immagini RTI²⁶. Con questo sistema, quindi, l'utente può visualizzare le informazioni storiche delle monete e, cliccando sulla moneta di suo interesse, accedere al visualizzatore RTI dove cambiare la direzione della luce in tempo reale, vedere l'altra faccia della moneta e anche attivare degli *hotspot* per esplorare piccole aree interessanti sulla superficie.

²⁴ Il chiosco interattivo è installato permanentemente nel museo Palazzo Blu di Pisa, tramite uno schermo touch di 27 pollici (per l'input dell'utente) al di sopra del quale vi è uno schermo più grande che mostra gli stessi contenuti, permettendo la visione anche ai visitatori che non interagiscono direttamente con l'interfaccia.

²⁵ All'inizio l'utente interagisce con una versione della moneta a bassa risoluzione che aumenta progressivamente quando si caricano i dati a maggior risoluzione.

²⁶ Il tutto è stato sviluppato in HTML5, usando i linguaggi HTML e JavaScript per la struttura generale e WebGL per la visualizzazione delle RTI.

2.8.2. Il progetto *Tesserarum Sisciae Sylloge*: un caso di epigrafia digitale

Le monete sopracitate possono essere considerate dei veri e propri “oggetti epigrafici”, poiché riportano delle scritture ottenute da alcune incisioni. Diversamente dalle scritture poste su un manoscritto o su un libro, riservate a pochi, quelle che si trovano sulle monete (o anche su altri oggetti come etichette o sigilli) sono destinate ad un ampio numero di persone all'interno di un certo contesto economico, sociale o culturale. Per poter meglio apprezzare i messaggi delle epigrafi, in cui spesso si nasconde il racconto dell'evoluzione di una comunità, occorre ancora una volta l'aiuto della tecnologia e, in particolare, delle immagini re-illuminabili.

Le immagini RTI, infatti, sono state ampiamente utilizzate per il progetto *Tesserarum Sisciae Sylloge* (TSS) che ha visto la realizzazione dell'edizione digitale scientifica di alcune tessere scoperte nella città di Siscia²⁷ e attualmente conservate nel Museo Archeologico di Zagabria. Si tratta di circa 1200 tessere commerciali di piombo, usate nei mestieri tessili tra il I e il III sec. d.C., che riportano brevi testi relativi ai nomi dei clienti, ai nomi dei prodotti, al loro colore e al loro prezzo. Grazie alle immagini RTI, il pubblico del museo ha potuto fruire delle etichette in modo interattivo e comprenderne meglio le iscrizioni.

In questo caso, dunque, la tecnologia è stata un importante supporto nella ricostruzione e reinterpretazione delle epigrafi che rivestono forti implicazioni nella conoscenza del nostro passato.

3. Conclusioni

Tutti gli esempi riportati sull'uso delle tecnologie nel campo dei beni culturali vogliono mostrare il superamento della dicotomia tradizione/innovazione per cui non si immagina un futuro privo dei metodi di studio tradizionale, bensì si cerca di aprire la strada alla compartecipazione di questi ultimi con le nuove tecnologie, spesso utili a farci risparmiare tempo e denaro o a farci vedere ciò che l'occhio umano non riuscirebbe a percepire da solo. È un po' come il cine-occhio di cui parlava il cineasta russo Dziga Vertov, secondo il quale la macchina da presa era un potente mezzo che permetteva di vedere meglio la realtà; nel nostro caso, il mezzo a disposizione è costituito dai modelli 3D mentre la realtà da vedere è il mondo dei beni culturali. In questa realtà lo spettatore non si limita ad osservare ma utilizza anche altri sensi per vivere una vera e propria esperienza da ricordare: grazie ai modelli 3D digitali e alle nuove tecnologie che permettono di esplorarli in modo interattivo, lo spettatore “passivo” si trasforma in utente “attivo” decidendo cosa vedere e i percorsi da fare e condividendo con gli altri le proprie opinioni e sensazioni. In questo modo l'esperienza resterà nella memoria di chi l'ha vissuta e servirà da stimolo per chi vorrà viverne una simile.

²⁷ Città situata nella Pannonia romana, ossia l'odierna Croazia.

4. Riferimenti bibliografici

- M. Dellepiane, M. Callieri, M. Corsini, R. Scopigno, *Using digital 3D models for study and restoration of Cultural Heritage artifacts*, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione - Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa
- R. Scopigno, P. Cignoni, N. Pietroni, M. Callieri, M. Dellepiane, *Digital Fabrication Technologies for Cultural Heritage*, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione - Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa
- R. Scopigno, *Jackson Pollock - Alchemy in 3D* (<http://vcg.isti.cnr.it/alchemy/>), Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione - Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa
- G. Palma, M. Baldassarri, M. C.Favilla, R. Scopigno, *Storytelling of a Coin Collection by Means of RTI Images: the Case of the Simoneschi Collection in Palazzo Blu*, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione - Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa
- L. Rosati, *Il museo come esperienza* (<http://lucarosati.it/blog/museo-come-esperienza>)
- M. Vazzana, *Informatica umanistica: nuove e vecchie frontiere. Il caso del Tesseraerum Sisciae Sylloge* (<http://labcdnew.humnet.unipi.it/wp-content/uploads/2015/01/Marino-Vazzana-Informatica-umanistica-vecchie-e-nuove-frontiere.pdf>)