

Fabbricazione digitale per la valorizzazione del patrimonio museale: tre casi studio al MUSE - Museo delle Scienze di Trento

Elisa Farella
Gianluca Lopez
Alex Fontana
Massimo Bernardi
Nicholas Barbieri
Ana Rodriguez-Prieto
Maria Chiara Deflorian
David Tombolato

MUSE - Museo delle Scienze di Trento, Corso del Lavoro e della Scienza, 3. I-38122 Trento.
E-mail: david.tombolato@muse.it; mariachiara.deflorian@muse.it

RIASSUNTO

In tre recenti progetti sviluppati dal MUSE il laboratorio di fabbricazione digitale ha svolto un ruolo chiave nell'innovazione dei sistemi e dei processi di documentazione, valorizzazione e gestione del patrimonio culturale.

Il primo progetto qui presentato riguarda l'esposizione di un cranio di *Homo neanderthalensis*. A partire dalla tomografia del reperto e dalla sua stampa 3D, è stato possibile fabbricare un supporto ostensivo ad hoc, che ha consentito di minimizzare la manipolazione del reperto e garantire una miglior protezione nelle fasi di allestimento ed esposizione.

Nel secondo progetto, i trilobiti delle collezioni del MUSE sono stati scansionati con l'obiettivo di creare repliche fisiche utili a fini educativi.

Il terzo progetto ha avuto per obiettivo l'implementazione della collezione osteologica di confronto con stampe 3D di reperti provenienti da altri musei, minimizzando la necessità di richieste di prestito e annullando i rischi di conservazione legati alla frequente manipolazione degli stessi.

Parole chiave:

fabbricazione digitale, scanner 3D, collezioni, condivisione dei dati, open source.

ABSTRACT

How digital manufacturing adds value to museum heritage: three case studies from MUSE science museum experience.

In three recent MUSE projects the digital fabrication laboratory has played a key role in innovating systems and processes of documentation, valorization and management of cultural heritage.

*The first project here presented concerns the exhibition of a skull of *Homo neanderthalensis*. By means of tomography and 3D skull printing, it has been possible to fabricate an ostensive support, reducing object handling during the setting up stages and providing better protection during the exhibition period.*

In a second project, the trilobites of the MUSE collections were scanned three-dimensionally with the goal of producing physical replica for educational purposes.

In a third project the osteological comparison collection was implemented with 3D-printed specimens from other museums, reducing the need of loan requests and avoiding the risks associated with their frequent handling.

Keywords:

digital fabrication, 3D scanner, collections data, sharing, open source.

TECNOLOGIE DIGITALI PER LE COLLEZIONI MUSEALI: PANORAMICA GENERALE

Il continuo sviluppo delle tecnologie digitali di acquisizione, modellazione tridimensionale e prototipazione sta aprendo in questi ultimi anni nuove prospettive di applicazione in ambito culturale.

In particolare, nel settore dei beni culturali e in contesti museali, la produzione di modelli digitali tridimensionali da campioni reali con tecniche di rilievo e modellazione reality-based (Russo et al., 2011) è divenuta una pratica indispensabile per l'integrazione dei sistemi tradizionali di documentazione, conservazione e analisi di manufatti o reperti (Bitelli et al., 2007; Nocerino et al., 2014; Remondino & Campana, 2014).

Tra le tecnologie attive di digitalizzazione tridimensionale, gli scanner 3D sono stati diffusamente impiegati, considerando l'elevata accuratezza metrica dei modelli generati. L'evoluzione di questi sensori si è accompagnata al progresso di altre categorie tecnologiche: dagli sviluppi dei sistemi di archiviazione web dei dati e della computer grafica, al perfezionamento di strumentazioni di prototipazione rapida digitale.

Tra i progetti orientati alla condivisione di collezioni museali su piattaforme online (3D repositories) alcuni risultano particolarmente importanti per la definizione di una precisa metodologia per acquisizioni massive. Significativo è il progetto "3D Icons" che, coinvolgendo una rete ampia di istituti di ricerca, università e musei, ha permesso la definizione di procedure rigorose per la creazione di modelli digitali da condividere sulla piattaforma Europea (v. sito web n. 1) (Gonizzi Barsanti & Guidi, 2013). Interessanti sperimentazioni di digitalizzazione tridimensionale massiva per la divulgazione e la conoscenza di collezioni sono anche quelli condotti dal British Museum (v. sito web n. 2) e dal Petrie Museum of Egyptian Archaeology (v. sito web n. 3), i cui modelli tridimensionali sono visualizzabili online anche attraverso visori di realtà virtuale o aumentata. Lo sviluppo di queste nuove forme di accesso, fruizione e interazione con i reperti online configura nuovi scenari con possibili conseguenze sulle modalità di comunicazione e divulgazione museale (Pescarin, 2014).

Altrettanto interessanti per l'ambito museale sono i progetti orientati all'integrazione di modelli digitalizzati e tecniche di prototipazione e di fabbricazione digitale additive (come la stampa 3D) e sottrattive (taglio laser, fresa CNC). La crescente attenzione a queste tecnologie deriva dalle sue molteplici applicazioni (Scopigno et al., 2014): dalla produzione di repliche di oggetti (Hess & Robson, 2013) o di reperti in prestito, alla creazione di percorsi espositivi tattili per ipo-vedenti, a progetti di restauro inte-

grativo (Antlej et al., 2012), alla simulazione in scala ridotta, in fase di progettazione, di ambienti espositivi (Celani et al., 2008), alla realizzazione di supporti e sostegni per reperti particolarmente fragili.

DOCUMENTAZIONE DIGITALE, DIVULGAZIONE E FRUIZIONE: ESPERIENZE AL MUSE DI TRENTO

Di recente il MUSE si è dotato di due nuovi scanner 3D a luce strutturata che, integrati al MUSE FabLab specializzato nella prototipazione (stampa 3D, taglio laser, fresa CNC), costituiscono un completo laboratorio di acquisizione e fabbricazione digitale. Le sperimentazioni condotte al MUSE qui illustrate, nascono da molteplici esigenze, volte allo studio di reperti scientifici e alla loro valorizzazione e fruizione a fini didattici e ostensivi. L'eterogeneità delle esperienze condotte sottolinea la polifunzionalità dei modelli digitali ottenuti con tecniche di rilievo reality-based e le numerose prospettive che le tecnologie digitali offrono nel campo della documentazione e fruizione del patrimonio museale.

1. Fabbricazione digitale e manipolazione di campioni fragili a fini ostensivi

In occasione della mostra "Estinzioni. Storie di catastrofi e altre opportunità" (Bernardi et al., 2016), il MUSE ha avuto la possibilità di ospitare ed esporre uno straordinario reperto, il cranio di *Homo neanderthalensis* "Guattari 1", unico per completezza e stato di conservazione nel nostro paese. Il cranio, appartenente alle collezioni del Museo Nazionale Preistorico Etnografico "Luigi Pigorini" di Roma, è stato rinvenuto nel 1939 all'interno della Grotta Guattari, all'estremità orientale del Monte Circeo (LT), ed è databile a circa 50.000 anni fa (Sergi, 1974; Schwarcz et al., 1991). La condizione di particolare fragilità e l'eccezionale valore del reperto hanno richiesto la sperimentazione e l'integrazione di diverse tecniche di fabbricazione digitale per garantirne un'ostensione sicura. Considerata l'impossibilità di manipolare e studiare il reperto originario per la realizzazione dei supporti, l'intera progettazione dell'allestimento si è basata su risorse e strumentazioni digitali.

Partendo dal modello tridimensionale digitalizzato del cranio fornito dal Museo Pigorini, è stato possibile ottenere una riproduzione digitale in grado di fornire accurate informazioni dimensionali del reperto da utilizzare per la modellazione tridimensionale dei supporti.

Il modello poligonale del cranio, che conta 967970 poligoni, è stato importato nel software di modellazione Rhinoceros 5, che sfrutta un tipo di rappresentazione matematica NURBS (Non Uniform Rational Basis-Splines) per la definizione di curve e superfici. Con tale software sono stati modellati i quattro sup-



Fig. 1. I supporti ostensivi creati ad hoc dal MUSE FabLab e la stampa 3D del cranio di *Homo neanderthalensis* Guattari 1.

porti che si adattano alla conformazione del cranio. I modelli progettati sono stati dunque realizzati in plexiglass, utilizzando una macchina a taglio laser (Epilog Legend 36EXT Tech Specs). Questa tecnologia digitale sottrattiva, sfrutta la potenza di un raggio laser monocromatico concentrato per la lavorazione, il taglio e l'incisione di diversi materiali. Una serie di lenti direzionano il raggio, in grado di seguire profili di taglio anche molto piccoli e complessi, definiti dal modello digitale di input.

Al fine di verificare la stabilità dei supporti prima dell'impiego per il reperto originale, il modello digitalizzato del cranio è stato riprodotto grazie ad una stampante 3D Ultimaker Origina+. Grazie alla prototipazione rapida additiva, basata sull'estrusione meccanica di materiale (Fused Deposition Modeling, FDM), è stata creata una replica del cranio "Guattari 1" in PLA (acido polilattico) con elevata accuratezza di stampa (0,06 mm per strato). Il modello fisico ha consentito la verifica della stabilità dei supporti realizzati (fig. 1), utilizzati per l'allestimento finale del reperto originale (fig. 2), confermando la validità e le potenzialità di un approccio di fabbricazione digitale integrato.

2. Fabbricazione digitale e progetti educativi basati sull'analisi di reperti rari

Grazie ad un finanziamento della Paleontological Society americana il MUSE ha di recente avviato lo sviluppo di un progetto educativo denominato "Extrilon - a trilobite experience to understand extinctions, for everyone". Il progetto prevede la riproduzione tridimensionale virtuale di trilobiti (artropodi fossili, estinti da circa 250 milioni di anni), selezionati all'interno delle collezioni paleontologiche presenti in museo, con un duplice obiettivo: la realizzazione di un'attività educativa destinata all'utenza scolastica da svolgersi presso il MUSE, e la



Fig. 2. Il cranio di *Homo neanderthalensis* Guattari 1 esposto all'interno della mostra "Estinzioni. Storie di catastrofi e altre opportunità".



Fig. 3. Un esemplare di trilobite, *Paralejurus* sp., impiegato nel progetto e appartenente alle collezioni MUSE.

condivisione online dei modelli a scopo divulgativo e scientifico. Il progetto di documentazione, digitalizzazione e riproduzione mira a rispondere a due specifiche e comuni esigenze museali: da un lato, la necessità di conservare reperti fragili e unici, generalmente non accessibili al pubblico, garantendone l'integrità; dall'altro, il desiderio di valorizzare le collezioni renderle fruibili, anche a fini divulgativi ed educativi, al più vasto pubblico possibile.

Nella prima fase del progetto Extrilon sono stati identificati 22 campioni conservati nelle collezioni paleontologiche MUSE, selezionati al fine di massimizzare la diversità morfologica (e in buona approssimazione anche l'eterogeneità dei generi nominali), caratterizzati da buona integrità dell'individuo, chiarezza dei contorni del fossile e sufficiente emersione del trilobite dalla matrice rocciosa inglobante il reperto (fig. 3). Le caratteristiche geometriche e di superficie di questi esemplari sono state acquisite tridimensionalmente tramite l'uso di scanner a luce strutturata, adatti ad oggetti di piccole dimensioni. Questi sistemi sono dotati di un emittitore di onde luminose e di uno o più sensori passivi posizionati a una distanza nota, che sfruttano il principio della triangolazione per la derivazione di informazioni metriche. Il museo, in particolare, ha in dotazione due tecnologie a luce strutturata (MechScan HDI Advance R3x e MechScan 3D) in grado di raggiungere un'accuratezza di 45 µm e acquisire fino a 2,6 milioni di punti e 5,6 milioni di poligoni per scansione. In questo caso vengono proiettati sull'oggetto dei pattern luminosi codificati, ad esempio strisce bianche e nere, che mettono in evidenza i cambiamenti nell'orientazione della superficie che vengono poi catturati dai sensori (nel nostro caso, camere con risoluzione di 2.8 Megapixels). La strumentazione è così in grado di analizzare la deformazione della geometria nota proiettata sull'oggetto.

Per ogni trilobite sono state acquisite un numero variabile di scansioni (in media 100), in base alla

complessità del singolo reperto, successivamente elaborate e allineate con il software Flexscan 3D, che permette la generazione di nuvole di punti tridimensionali e modelli poligonali. Con procedure automatiche e semi-automatiche di allineamento è stato possibile realizzare modelli mesh di 15 generi di trilobiti: *Acadoparadoxides*, *Alokistocare*, *Breviphillipsia*, *Calymene*, *Crotalocephalus*, *Dipleura*, *Flexicalymene*, *Homotelus*, *Huntonia*, *Isotelus*, *Leonaspis*, *Neometacanthus*, *Paciphacops*, *Paralejurus*, *Sphoeroidothyri* (fig. 4).

I modelli poligonali realizzati sono stati ottimizzati, riducendo il numero di poligoni senza compromettere la geometria, nel software di modellazione solida open-source Blender 2.76. La riduzione della complessità dei modelli ne ha permesso una migliore gestione per la stampa 3D con tecniche FDM e per la condivisione online.

Il progetto ha consentito la realizzazione di diverse repliche fisiche in dimensioni reali e si prefigge di produrne altre in scala maggiore al fine di permettere una maggiore visibilità dei dettagli millimetrici e di rendere disponibile l'attività anche a disabili visivi (fig. 5). I modelli riprodotti grazie all'uso delle stampanti 3D in dotazione al MUSE FabLab diverranno parte di un laboratorio educativo volto ad esplorare la biodiversità, e in particolar modo la diversità morfologica (disparità) dei trilobiti, la loro evoluzione ed estinzione, attraverso esperienze di fruizione tattile "libera". Allo stesso tempo, i modelli ottimizzati andranno ad arricchire un catalogo online sulla piattaforma Sketchfab, un 3D repository in grado di supportare numerosi formati (v. sito web n. 4). L'interesse per questa tipologia di piattaforme, tipicamente utilizzate in ambito di ricerca scientifica, deriva dalla possibilità di superare limiti fisici di fruibilità dei reperti e rappresenta dunque anche una grande possibilità di scambio di risorse tra musei.

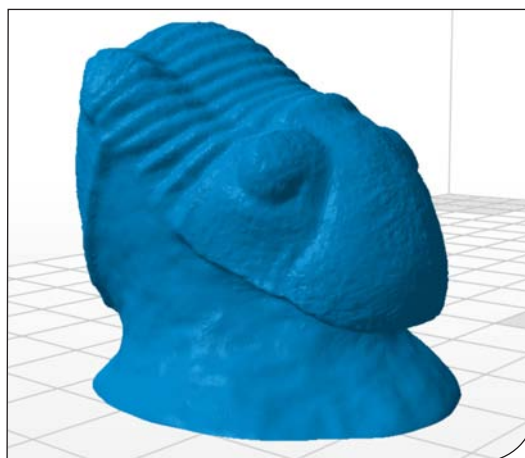


Fig. 4. Scansione tridimensionale di un trilobite realizzata con gli scanner a luce strutturata in dotazione al MUSE.



Fig. 5. Repliche realizzate con stampante 3D a partire dalle scansioni effettuate.

3. Fabbricazione digitale e implementazione delle collezioni scientifiche di confronto

Tra i diversi ambiti di cui si occupa la sezione di preistoria del MUSE, l'archeozoologia è certamente uno dei più rilevanti. Per questa disciplina una collezione osteologica di confronto, costituita da reperti di animali di specie differenti, di entrambi i sessi e di età diverse, rappresenta uno strumento fondamentale per lo studio e la determinazione dei campioni rinvenuti in contesti archeologici.

Se i reperti che si intendono studiare sono costituiti da resti di animali domestici, si rende generalmente necessario il confronto con forme domestiche oggi estinte, poiché le morfologie ossee delle razze antiche sono spesso profondamente diverse dalle attuali, a causa della forte selezione artificiale avvenuta nel corso dei millenni. L'integrazione delle collezioni di confronto con questi materiali risulta quindi tanto importante quanto complesso, a causa della difficoltà di reperimento di tali campioni.

Un recente progetto di ricerca sulle collezioni MUSE si prefigge di studiare un lotto di circa 2000 reperti archeofaunistici provenienti dal sito delle Palafitte di Ledro (TN), in livelli databili al bronzo antico e medio (2250-1325 a.C.), la cui determinazione richiede il confronto con forme estinte sulla base di campioni ottimamente conservati. Le difficoltà poste dalla rarità di tali elementi di confronto è compensata dall'eccezionale grado di conservazione dei reperti delle collezioni archeozoologiche del Museo di Storia Naturale Verona, che costituiscono un riferimento imprescindibile per questo genere di studi. Al fine di poter procedere con le determinazioni anche presso la sede del MUSE, i più rilevanti campioni della collezione veronese sono stati riprodotti digitalmente mediante acquisizione tridimensionale (con Mesh Scan HID Advance R3x, 36 scansioni per angolo di incidenza per un totale di 108 scansioni per reperto). Uno dei modelli poligonali ottenuti in seguito ad elaborazione, relativo a una cavicchia ossea di montone, è mostrato in fig. 6. Analogamente al caso precedente, i modelli ottimizzati sono stati quindi riprodotti con tecniche di

stampa 3D FDM e costituiscono ora parte integrante delle collezioni di confronto MUSE (fig. 7). Questo progetto evidenzia come la fabbricazione digitale possa contribuire anche a superare le numerose limitazioni legate alla richiesta prestiti, oltre ovviamente a consentire una manipolazione dei modelli senza comprometterne la conservazione.

CONCLUSIONI

Sebbene queste e altre sperimentazioni in corso abbiano evidenziato alcune problematiche tecniche da superare - come ad esempio le difficoltà nella scansione di reperti in etanolo a causa del cambiamento di forma degli stessi una volta estratti dal liquido - crediamo che le tre esperienze qui presentate dimostrino le ampie e valide potenzialità dell'integrazione di tecniche e tecnologie digitali nella pratica museale. I continui avanzamenti nello sviluppo di nuovi sensori, strumentazioni e metodologie, pur richiedendo nuove competenze, prefigurano scenari sempre più interessanti per lo studio e la fruizione dei reperti nei nostri istituti. In considerazione del generalizzato calo nei costi di reperimento e manutenzione delle strumentazioni necessarie e della libertà di sperimentazione derivante dallo sviluppo di un settore FabLab interno al museo, una gestione in house dei progetti di fabbricazione digitale risulta peraltro più vantaggiosa rispetto ad una fornitura esterna sia da un punto di vista economico che di gestione del reperto stesso.

L'uso diffuso di queste tecnologie e la condivisione dei dati di ricerca prodotti genera inoltre ricadute significative nell'ampio contesto dell'Open Science, che vede una crescente diffusione e adesione all'interno della comunità scientifica (si veda a titolo d'esempio il progetto Morphosource by Duke University; v. sito web n. 5). La possibilità di realizzare e rendere disponibili agilmente modelli digitali di reperti archeologici unici o di campioni biologici di particolare rilievo scientifico, quali ad esempio i tipi, potenzierà la fruibilità del patrimonio culturale consentendo parimenti una migliore conservazione e documentazione dello stesso.

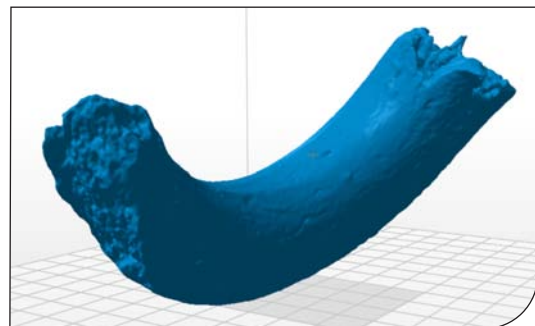


Fig. 6. Scansione di una cavicchia ossea di montone.



Fig. 7. Replica 3D di una cavicchia ossea

di montone, ora parte della collezione osteologica usata come confronto nel corso di uno studio archeozoologico.

La scansione 3D e la pubblicazione online dei modelli ottenuti ha indubbia valenza anche per la promozione di progetti di Citizen Science, in grado di favorire e approfondire lo studio dei reperti delle collezioni con la partecipazione dei cittadini.

In questo stimolante contesto e alla luce delle sperimentazioni condotte, il MUSE intende proseguire le esperienze fatte e affinare le competenze finora acquisite nell'utilizzo di tecniche e tecnologie digitali per la documentazione, lo studio e la valorizzazione delle proprie collezioni. Quali obiettivi futuri ci si propone di impiegare con maggiore efficacia e frequenza tali strumenti d'indagine nell'ambito delle ricerche scientifiche correnti e future e di arricchire la documentazione delle collezioni creando scansioni 3D dei reperti più significativi, che verranno rese accessibili su specifiche piattaforme o sul catalogo online del patrimonio museale (in sviluppo). In ambito educativo e divulgativo, si intende proseguire nella progettazione e nello sviluppo di progetti didattici e di progetti collaborativi di Citizen Science che traggano particolari vantaggi dall'impiego delle tecnologie di scansione e fabbricazione digitale.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano per il loro supporto ai progetti del presente lavoro Paolo Cocco, Alessandra Pallaveri, Luca Bondioli, Elisabetta Flor e Roberto Zorzin.

BIBLIOGRAFIA

- ANTLEJ K., CELEC K., SINANI M., MIRT E., LJUBI D., 2012. Restoration of a stemmed fruit bowl using 3D technology. *Review NDC*, 21: 141-146.
- BERNARDI M., MENEGON M., PALLAVERI A., PIEVANI T., NEGRA O., 2016. *Estinzioni. Storie di catastrofi e altre opportunità*. MUSE Edizioni, 200 pp.
- BITELLI G., GIRELLI V. A., REMONDINO F., VITTIUARI L., 2007. The potential of 3D techniques for Cultural

Heritage object documentation. *Proceeding of SPIE 6491, Videometrics, IX*, doi:10.1117/12.705012.

CELANI G., PUPO R., PICCOLI V., 2008. Digital fabrication and art-exhibition design: a case study. *Digital Media and its Application in Cultural Heritage*, 4: 413-428.

GONIZZI BARSANTI S., GUIDI G., 2013. 3D digitization of museum content within the 3D Icons Projects. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5/W1: 151-156.

HESS M., ROBSON S., 2013. Re-engineering Watt: a case study and best practice recommendations for 3D colour laser scans and 3D printing in museum artefact documentation. *Proceeding in Lacona IX, Lasers in conservation of artworks*, 9: 154-162.

NOCERINO E., MENNA F., REMONDINO F., 2014. Accuracy of typical photogrammetric networks in cultural heritage 3D modelling projects". *ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5: 465-472.

PESCARIN S., 2014. Museum and Virtual Museum in Europe: Reaching Expectations. *SCIRES SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology*, 4: 131-140.

REMONDINO F., CAMPANA S., 2014. *3D recording and modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practice*. Archaeopress BAR Publication Series 2598.

RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G., 2011. Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. *Archeologia e Calcolatori*, 22: 169-198.

SCHWARCZ H.P., BIETTI A., BUHAY W.M., STINER M.C., GRUN R., SEGRE A., 1991. On the reexamination of Grotta Guattari: uranium-series and electron-spin resonance dates. *Current Anthropology*, 32: 313-316.

SCOPIGNO R., CIGNONI P., PIETRONI N., CALLIERI M., DELLEPIANE C., 2014. *Digital Fabrication Technologies for Cultural Heritage (STAR)*. In: Klein R. & Santon P. (eds.) EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage.

SERGI S., 1974. *Il cranio neandertaliano del Monte Circeo (Circeo 1)*. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 168 pp.

Siti Web (accessed 28/09/2017)

- 1) Europeana
<http://www.europeana.eu/portal/it>
- 2) Sketchfab, The British Museum
<https://sketchfab.com/britishmuseum>
- 3) University College London, 3D Petrie Museum
<http://www.ucl.ac.uk/3dpetriemuseum>
- 4) Sketchfab, MUSE - Museo delle Scienze di Trento
<http://www.sketchfab.com/MUSE-ScienceMuseum-Trento>
- 5) Morphosource by Duke University
www.morphosource.org

Submitted: October 2nd, 2017 - Accepted: October 30th, 2017
Published: December 18th, 2017