

SCANSIONI 3D DI PICCOLI REPERTI PER IL PROGETTO ARCOA (ARCHIVI E COLLEZIONI DELL'ORIENTE ANTICO)

1. INTRODUZIONE

Il progetto ArCOA (Archivi e Collezioni dell'Oriente Antico) è finalizzato allo studio, alla valorizzazione e alla comunicazione delle collezioni di manufatti riferibili alle culture del Vicino Oriente antico conservati in Italia ed è stato avviato congiuntamente dall'Università degli Studi di Milano e dall'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR, con il coordinamento di Luca Peyronel e Tatiana Pedrazzi. L'Università di Torino costituisce, dal 2021, il principale partner universitario e il progetto vede la partecipazione di diverse istituzioni, tra cui i principali musei che ospitano le maggiori collezioni vicino-orientali italiane. ArCOA si avvale della partecipazione di partner che hanno aderito all'iniziativa attraverso un sistema di accordi e collaborazioni mirate, tra cui il Museo Archeologico di Firenze, il Museo Civico Archeologico di Como, i Musei Reali di Torino (attraverso la collaborazione con il Dipartimento di Studi Storici dell'Università di Torino). Sono coinvolti anche altri enti museali importanti, come il Museo Archeologico Nazionale di Venezia.

Il progetto ha come principali scopi lo studio, la fruizione pubblica e la disseminazione delle conoscenze relative alle culture antiche dell'Asia sud-occidentale e del Mediterraneo orientale attraverso i reperti conservati nelle collezioni italiane. L'arco cronologico di riferimento spazia dalla preistoria agli inizi dell'età ellenistica, mentre le regioni considerate vanno dal Levante, a Cipro, all'Anatolia, alla Mesopotamia, all'altopiano iranico e alla penisola araba. Nella sua strutturazione attuale, ArCOA ha realizzato la mappatura completa delle collezioni dell'Asia Occidentale antica presenti sul territorio nazionale italiano, al fine di renderle fruibili in modo unitario attraverso un archivio digitale (Fig. 1) collegato ad un webGIS, consultabile anche da un portale web dedicato (<https://www.arcoa.it>). La struttura e il graphic design del website ArCOA sono stati progettati dal team di Milano; il sito web è accessibile online dal 2024, offrendo la possibilità di interagire con la banca dati e predisponendo un'interfaccia user-friendly, informazioni testuali elaborate secondo i principi dello storytelling, modelli 3D dei manufatti e un webGIS per esplorare sia la dislocazione delle collezioni in Italia, sia i luoghi di provenienza dei manufatti. L'equipe multidisciplinare di ArCOA include archeologi, filologi, curatori museali, esperti informatici e multimediali, mediatori culturali. In un'ottica di collaborazione aperta e inclusiva, ArCOA mira a creare un'ampia rete di ricercatori, istituzioni e associazioni interessate alla comunicazione e alla valorizzazione delle collezioni e dei relativi archivi, con

azioni di coinvolgimento del pubblico secondo i principi e i metodi specifici della Public History e della Public Archaeology.

2. CASO STUDIO: LA SCANSIONE DI UNA TESTA IN TERRACOTTA

Il progetto ArCOA non solo si occupa della digitalizzazione degli archivi per la creazione di un database condiviso, ma si interessa anche di digitalizzare gli oggetti delle collezioni museali. Questi reperti sono di diversa forma e dimensione: sigilli, tavolette cuneiformi, coroplastica, etc. Spesso gli oggetti sono molto piccoli, con dimensioni massime intorno ai 5 cm di altezza; pertanto, le tecniche di digitalizzazione variano moltissimo (SAPIRSTEIN 2018): fotografie RTI¹ (Reflectance Transformation Imaging: MUDGE *et al.* 2005), fotomodellazione (PACE, BURSICH 2021) e solo raramente laser scanner.

La tecnica RTI è un metodo fotografico che cattura il colore e la forma della superficie di un soggetto, mostrando la reale conformazione della superficie grazie alla rimozione del colore. In altri termini elimina dalla superficie la possibilità di riflettere la luce e quindi annulla la colorazione della stessa. Consente poi la re-illuminazione interattiva del soggetto da qualsiasi direzione.

La fotogrammetria invece viene condotta utilizzando sia tecniche tradizionali, con scatto a mano libera o con cavalletto, sia tecniche meno comuni, come ad esempio con obiettivo macro 100mm, fotogrammetria da videoclip, oppure con luce controllata e pedana rotante (Fig. 1). RTI e fotogrammetria possono essere combinate (SZELISKI 2010) per migliorare ad esempio la resa della texture Normal Map (usata per accentuare il dettaglio della superficie) (BLINN 1978), ed è possibile ottenere un modello 3D da una scansione RTI. Questa tecnica è attualmente in corso di sviluppo e rientra nel progetto IRIMES² (Immagine Romana Imperiale tra Moneta e Scultura – UniVR, in collaborazione con Soprintendenza di Roma, Musei Capitolini, Museo della

¹ Si deve necessariamente citare un interessantissimo applicativo ISTI-CNR denominato “Relight” (<https://vcg.isti.cnr.it/relight/>) sviluppato da F. Ponchio (<https://vcg.isti.cnr.it/~ponchio/>). Il software, a differenza di quello della CHI (<https://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>) è stabile, aggiornato per sistemi Windows 10 in poi e il calcolo RTI è praticamente istantaneo.

² Il progetto, di cui l’Autore fa parte, studia la rappresentazione della figura imperiale, su ritratto e intera, da una nuova prospettiva “periferica”, che mette in risalto il sottofondo culturale, religioso e artistico delle comunità nelle province imperiali, piuttosto che privilegiando il punto di vista tradizionale del “centro del potere”. Lo studio esamina analiticamente (grazie all’uso di software e modelli 3D) come gli imperatori venivano ritratti, celebrati e venerati nelle città provinciali, nelle regioni occidentali e soprattutto in quelle orientali dell’impero, dall’età di Augusto a quella di Diocleziano (c. 31 a.C.-297 d.C.). Il progetto inoltre introduce una metodologia di ricerca innovativa, che sfrutta la tecnologia 3D per confrontare, sovrapporre e integrare i dati monetali con quelli ricavabili dalla scultura per ricostruire i modelli ritrattistici usati nelle province per la rappresentazione imperiale (finanziamento MIUR, “Procedura per l’attuazione dell’intervento FARE Ricerca in Italia: Framework per l’attrazione ed il rafforzamento delle eccellenze per la Ricerca in Italia” - III ed. prot. R2035CJB5H) – Sito progetto: <https://www.dcuci.univr.it/~jsessi/abcFN8krFvGHncwdVzM6y?ent=progetto&lang=portugues&id=5933>.

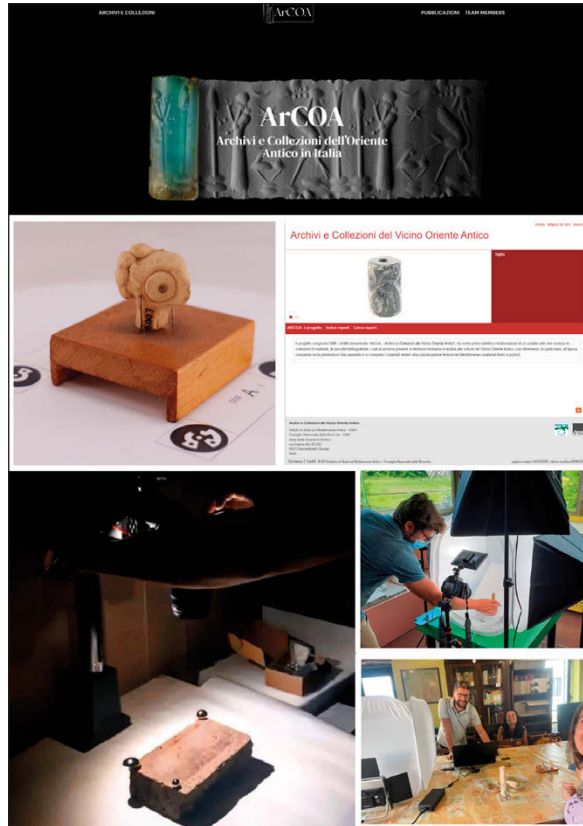


Fig. 1 – In alto: il sito web <https://www.arcoa.it>; nel mezzo: a sinistra, la figurina fittile A.1988.041(3) e a destra, il database creato dal CNR (<https://arcoa.cnr.it/login>); sotto: a sinistra, il procedimento di acquisizione RTI, a destra, momenti di lavoro con il set lightbox, luci e pedana rotante.

Civiltà Romana, Museo Centrale Montemartini, Museo Nazionale Archeologico di Mantova, Musei Reali di Torino).

Il caso studio proposto in questa sede riguarda la scansione di una testa fittile (inv. B.041.3 - A.1988.041(3); periodo persiano, 2400/2300-2000/1900 a.C.; Fig. 1), conservata nel Museo Civico “Carlo Verri” di Biassono (MB) e appartenente ad una statuina femminile con naso a becco di uccello e due rondelle con foro al centro come occhi, in argilla purificata e in stato frammentario (tipo Eufrate MAI 3a; DI PAOLO 1999). La testina è stata scelta per la sua interessante conformazione e per la dimensione pari a 3,5 cm di altezza, che la rendono facilmente scansionabile con la fotogrammetria.

3. METODOLOGIA

Per la fotogrammetria è stato allestito un set con lightbox, luci led a intensità variabile e una pedana rotante bluetooth, con barra led, comandata da app. La combinazione dello sfondo bianco (limbo) e la pedana rotante ha permesso di annullare elementi presenti in secondo piano e allo stesso tempo di rendere la luce all'interno della lightbox molto omogenea e uniforme. In questo modo la testina ha assunto una colorazione naturale senza ombre accentuate o parti sovraesposte. Le 117 foto sono state scattate su cavalletto da una camera full-frame mirrorless Lumix Panasonic DC-S5 con obiettivo 50 mm. La risoluzione delle foto è stata impostata 6000×4000 pixel con una risoluzione di 180 dpi profondità 24 bit (impostazioni di scatto f/7.1, tempo 1/160, ISO 100). Le foto sono state scattate da tre altezze differenti per consentire una copertura totale dell'oggetto e sono state utilizzate nel processo di elaborazione, per testarne l'affidabilità, con i tre software leader del mercato: Agisoft Metashape (v. 2.0.0; <https://www.agisoft.com>), Epic Games/Capturing Reality RealityCapture (v. 1.3.0; <https://www.capturingreality.com/>) e 3D flow 3DF Zephyr (v. 7.021; <https://www.3dflow.net/it/software-di-fotogrammetria-3df-zephyr/>). Il flusso di lavoro è uguale in tutti e tre i software (Fig. 2), per cui prima vengono importate le immagini, poi vengono allineate e viene generata una nuvola di punti più o meno densa e infine viene fatto il calcolo della mesh con texture.

Per quanto riguarda Metashape, sono stati utilizzati tutti i parametri quasi al massimo (high), in modo tale da poter ottimizzare i tempi di calcolo della nostra workstation (circa 32 min. in totale) generando una nuvola di punti da 1,3 milioni, un modello da 150.000 poligoni e una texture in 8K (8192×8192 px). Come si nota in Fig. 2, il nuovo algoritmo introdotto dalla versione 2.0 migliora la resa del modello riuscendo a modulare l'ampiezza e la densità di triangoli che formano la superficie. La nuvola di punti è estremamente ordinata: i punti sono idealmente vertici di una griglia che descrive matematicamente il modello 3D. Dalla falsa colorazione della nuvola che evidenzia l'affidabilità morfologica della restituzione, si desume come le parti penalizzate siano l'interno degli occhi e i due supporti metallici posti a sostegno della testina. Qui effettivamente si riscontrano i punti deboli del programma Metashape. La resa dei supporti metallici della testa fittile è scarsissima, la forma è estremamente irregolare (blobs), ma completa nella sua estensione. Va detto però che le forme dei supporti non interferiscono con la forma della testina; quindi, di fatto non entrano in contatto e non ne compromettono la resa. Un altro neo è rappresentato dalla generazione della texture, che risulta poco precisa soprattutto nella parte più esterna del becco, dove addirittura il software non riesce a campire completamente la forma, lasciando un'isola nera.

Per quanto riguarda il software RealityCapture, utilizzando le stesse immagini con parametri molto alti (high) il risultato cambia decisamente

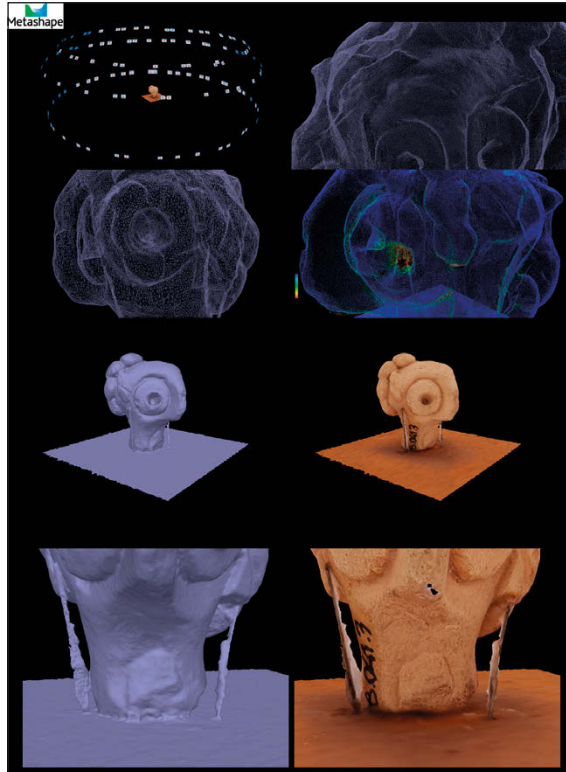


Fig. 2 – Flusso di lavoro con il software Metashape; in basso, il dettaglio dei supporti.

(Fig. 3). Il modello generato possiede una nuvola da 3,8 milioni di punti, mentre il modello 890.000 poligoni. Il tempo di calcolo è nettamente inferiore (4 min. e 40 sec.). Rispetto a Metashape, la nuvola di punti non è ordinata come i vertici di una griglia, ma i punti seguono l'andamento e la morfologia della superficie a prescindere dalla loro posizione. Il risultato è impeccabile, così come la generazione della texture (8192×8192 px) che risulta essere estremamente nitida e accurata. Qui, a differenza di Metashape, i supporti non vengono rappresentati, se non nella parte iniziale più a ridosso della testa come se fossero delle propaggini che si estendono dalla stessa testa fittile. Si evidenzia come, seppur conservati in minima parte, questi supporti mantengono una morfologia più o meno accurata anche se irregolare e abnorme. La mesh invece risulta essere molto liscia (smooth) e uniforme laddove ci sono più informazioni, mentre a ridosso della base della testa, a contatto con il legno del supporto, essa viene generata con evidenti anomalie della superficie (flaws)

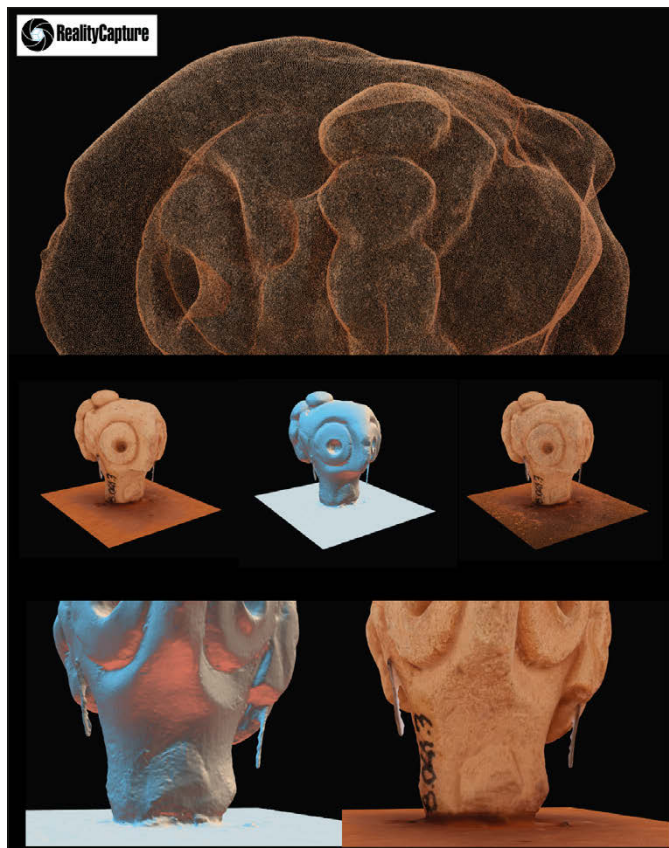


Fig. 3 – Flusso di lavoro con il software RealityCapture, in alto, la nuvola di punti; nel mezzo, i risultati dell'elaborazione (mesh con texture, mesh, point cloud); in basso, il dettaglio della testa con e senza texture.

e una sorta di raccordo, sia in termini geometrici che di texture, con la base. In confronto con Metashape invece la resa della texture è molto accurata e puntuale e copre tutte le parti della testa fittile compresa quella più esterna del becco, mantenendo una definizione e nitidezza più o meno omogenea.

L'ultima elaborazione è stata condotta con 3DF Zephyr (Fig. 4), anche qui mantenendo dei parametri molto alti come negli altri due casi. Il tempo di calcolo è inferiore a tutti gli altri software, quasi da record, pari a 2 min. e 20 sec., mentre la nuvola di punti è pari a 50.000 punti, per un totale di 34.000 poligoni. Il software non calcola punti non necessari e mantiene un numero basso di poligoni che però riescono a descrivere correttamente tutta la superficie. Le texture generate invece sono tre, tutte in 8K: infatti la resa

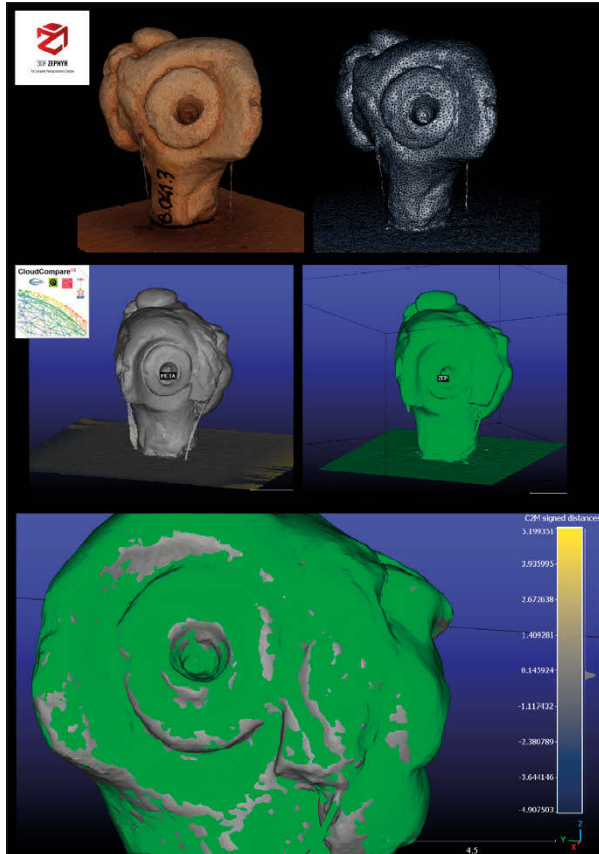


Fig. 4 – In alto: flusso di lavoro con il software Zephyr, il dettaglio della testa con e senza texture. Nel mezzo e in basso: flusso di lavoro con il software Cloud Compare, comparazione delle mesh da Zephyr (verde) e Metashape (grigio).

grafica del modello è sorprendente. Anche se il numero di poligoni è nettamente minore rispetto agli altri due modelli, in questo caso gli aghi vengono calcolati in modo molto simile al vero, se si considera che il loro spessore è inferiore al millimetro.

Dato che il numero di poligoni generato sia da Metashape che da 3DF Zephyr è nettamente più basso di quello di RealityCapture, è stato fatto un test di affidabilità morfologica comparando tra loro i modelli 3D ottenuti con lo scopo di verificare eventuali difformità e anomalie. Per questo test ci si è avvalsi del software Cloud Compare (CC) che è open source, freeware, molto solido e agile nell'utilizzo. Il procedimento permette di allineare

grossolanamente (roughly registering) le due mesh da confrontare, dopo però aver scalato correttamente i modelli e averli importati all'interno del software CC (Fig. 4), per poi passare alla modalità di allineamento "tre punti" (point pairs picking tool) che prevede l'indicazione di tre punti in comune tra la scansione di riferimento (data reference) e quella da allineare sopra al modello di riferimento (data model). Selezionando tre punti in comune tra un modello e l'altro, il software istantaneamente allinea tra loro i modelli 3D. In alternativa è possibile far combaciare i modelli con una modalità diversa che ne raffina la posizione e di fatto una adesione migliore (fine registration - ICP).

Terminato questo passaggio, è possibile calcolare la distanza tra le due superfici, ovvero richiedere al software di evidenziare eventuali differenze morfologiche. A seconda delle dimensioni delle entità e della loro estensione spaziale, questo processo può durare più o meno tempo. Nel nostro caso meno di 3 minuti. Il risultato è una colorazione a rampa che mostra il livello di sovrapposizione. Tra i due modelli 3D la differenza registrata è poco meno di 1 mm, risultando però, quello di Metashape più accurato e ricco di dettagli (Fig. 4).

4. CONCLUSIONI

La digitalizzazione dei modelli 3D condotta finora ha permesso di comprendere come la fotogrammetria sia al momento la tecnica più versatile tra quelle esistenti di acquisizione indiretta (CAMPANA 2017). I laser scanner che sono stati testati non hanno dato risultati soddisfacenti per soggetti al di sotto dei 10 cm, specialmente se costruiti con materiali lucidi o riflettenti per cui sarebbe ideale l'utilizzo di un opacizzante senza ioni di titanio. La fotogrammetria declinata nelle varie applicazioni descritte (PIERDICCA 2016) permette di ottenere risultati soddisfacenti con uno scarto di errore ammissibile (GUIDI *et al.* 2014) compreso intorno a 1 mm. Va detto che i tempi di elaborazione sono relativamente lunghi se si utilizza Metashape, mentre più contenuti nel caso di RealityCapture e Zephyr. Tra i test di affidabilità condotti, risulta che se da una parte Metashape permette una migliore parametrizzazione del calcolo e quindi del risultato finale, per contro i tempi di elaborazione risultano essere ormai fuori scala rispetto ai competitor sul mercato e la texture non risulta essere raffinata e accurata come negli altri due casi.

Per quanto riguarda RealityCapture, il software ha dimostrato di essere estremamente performante sotto tutti i punti di vista a partire dalla resa visiva della texture così come la ricchezza di dati trasmessi dalla superficie della mesh e dalla nuvola di punti. Zephyr infine è stato l'unico in grado di calcolare correttamente gli aghi posti a supporto della testina fittile e infissi nella base di legno, ma per contro, nonostante i valori siano stati impostati nella modalità più alta possibile, non ha restituito appieno la complessità del modello che ci si aspettava. Possiede però un sistema di texturing estremamente

complesso, che ha restituito sicuramente un aspetto visivo notevole, al pari con quello di RealityCapture. La migliore scelta di software per questo tipo di applicazione per ora rimane RealityCapture. Una nuova frontiera invece si sta delineando sul fronte della rappresentazione tramite la tecnologia NeRF (Neural Radiance Fields; CROCE *et al.* 2023) e Gaussian Splatting.

Nonostante sia una tecnica recente ancora in fase di sviluppo, rispetto alla fotogrammetria soprattutto in ambito culturale (CONDORELLI *et al.* 2021), la tecnologia NeRF (MILDENHALL 2020) mostra un potenziale maggiore per descrivere le caratteristiche dei materiali. Grazie ai recenti progressi nel campo dell'Intelligenza Artificiale applicata alla rappresentazione digitale, l'introduzione dei campi di radianza neurale potrebbe col tempo diventare un'alternativa alla fotogrammetria per la scansione 3D da immagini. NeRF calcola i modelli da una serie di immagini scattate da pose note della fotocamera, al contrario della fotogrammetria che ammette foto scattate anche da punti di vista casuali.

Questa tecnologia fondamentalmente trova spazio nella rappresentazione degli oggetti soltanto dal punto di vista estetico, restituendo egregiamente materiali con dettagli complessi (MURTIYOSO 2023), nonostante il sistema richieda un numero limitato di immagini di input. Inoltre, un altro vantaggio di questa tecnologia è la qualità di rendering, particolarmente utile per materiali caratterizzati da texture omogenee, che notoriamente creano problemi con la fotogrammetria. Al contrario, la tecnologia Gaussian Splatting (KERBL 2023) offre una qualità di rendering simile con addestramento e inferenza più rapidi poiché non necessita di reti neurali per funzionare. Il Gaussian Splatting è una tecnica di rappresentazione in real time (Radiance Field Rendering) che consente di visualizzare in tempo reale i modelli 3D (scene) calcolati da pochissimi campioni di immagini. Vedremo come potranno evolvere questi nuovi metodi con la speranza che non rimpiazzino la fotogrammetria ma, al contrario, siano usati per implementarla e renderla più performante.

DANIELE BURSICH

Dipartimento di Culture e Civiltà
Università degli Studi di Verona
daniele.bursich@univr.it

BIBLIOGRAFIA

- BLINN J. 1978, *Simulation of wrinkled surfaces*, ACM SIGGRAPH, «Computer Graphics», 12, 3, 286-292 (<https://doi.org/10.1145/965139.507101>).
- CAMPANA S. 2017, *Drones in archaeology. State-of-the-art and future perspectives*, «Archaeological Prospection», 24, 4, 275-296.
- CONDORELLI F., RINAUDO F., SALVADORE F., TAGLIAVENTI S. 2021, *A comparison between 3D reconstruction using NeRF Neural Networks and MVS algorithms on Cultural Heritage images*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)», XLIII-B2-2021, 565-570.

- CROCE V., CAROTI G., DE LUCA L., PIEMONTE A., VÉRON P. 2023, *Neural Radiance Fields (NeRF): Review and potential applications to Digital Cultural Heritage*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)», XLVIII-M-2-2023, 453-460.
- DI PAOLO S. 1999, *Coroplastica di provenienza siriana e libanese in musei lombardi*, «Studi Micenei ed Egeo-anatolici», 41, 33-62; 54, 56, C1.
- GUIDI G., RUSSO M., ANGHELEDDU D. 2014, *3D survey and virtual reconstruction of archaeological sites*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 1, 2, 55-69.
- KERBL B., KOPANAS G., LEIMKÜHLER T., DRETTAKIS G. 2023, *3D Gaussian Splatting for real-time radiance field rendering*, «ACM Transactions on Graphics», 42, 4.
- MILDENHALL B., SRINIVASAN P.P., TANCİK M., BARRON J.T., RAMAMOORTHY R. 2020, *NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance fields for view synthesis*, «arXiv», 08.934.
- MUDGE M., VOUTAZ J.P., SCHROER C., LUM M. 2005, *Reflection transformation imaging and virtual representations of coins from the Hospice of the Grand St. Bernard*, in M. MUDGE, N. RYAN, R. SCOPIGNO (eds.), *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage Proceedings (Pisa 2005)*, 29-39 (<https://doi.org/10.2312/VAST/VAST05/029-039>).
- MURTIYOSO A., GRUSSENMEYER P. 2023, *Initial assessment on the use of state-of-the-art NeRF Neural Network 3D reconstruction for Heritage documentation*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)», XLVIII-M-2-2023, 1113-1118 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1113-2023>).
- PACE A., BURSICH D. 2021, *New perspectives on documenting Attic pottery*, in V. BALDONI (ed.), *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 83-94 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.08>).
- PIERDICCA R., FRONTONI E., MALINVERNI E.S., COLOSI F., ORAZI R. 2016, *Virtual reconstruction of archaeological heritage using a combination of photogrammetric techniques: Huaca Arco Iris, Chan Chan, Peru*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 3, 3, 80-90 (<https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.06.002>).
- SAPIRSTEIN P. 2018, *A high-precision photogrammetric recording system for small artifacts*, «Journal of Cultural Heritage», 31, 33-45 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.10.011>).
- SZELISKI R. 2010, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, London, Springer Science & Business Media.

ABSTRACT

ArCOA is a project aimed at the study, enhancement and communication of museum collections and historical archives on the ancient Near East in Italy. ArCOA was born from the collaboration between the University of Milan and the Institute of Heritage Science of the National Research Council, with a multidisciplinary working group of archaeologists, assyriologists, museum curators, cultural mediators and experts of technology applied to cultural heritage. The ArCOA team collaborates with several museums, public institutions and universities, including the Archaeological Museum of Como, the National Archaeological Museum of Florence, the Department of Historical Studies of the University of Turin and the Museum of Antiquities of the Royal Museums of Turin, for the diffusion of knowledge of the ancient cultures of the Near East. This paper shows the results obtained on photogrammetric scans of small terracotta head and its reprocessing through different programs, its morphological and geometric rendering. Even if today open source photogrammetric programs seem to be almost absent from academic researchs because non-commercial alternatives are not very competitive, much is moving instead in the freeware direction, with regulated conditions of use for universities and research centres, such as for example the latest version of Reality Capture or Metashape. Furthermore, the acquisition processes vary greatly in relation to the size of the object, which can force the operator to think in terms of micro-surveys.