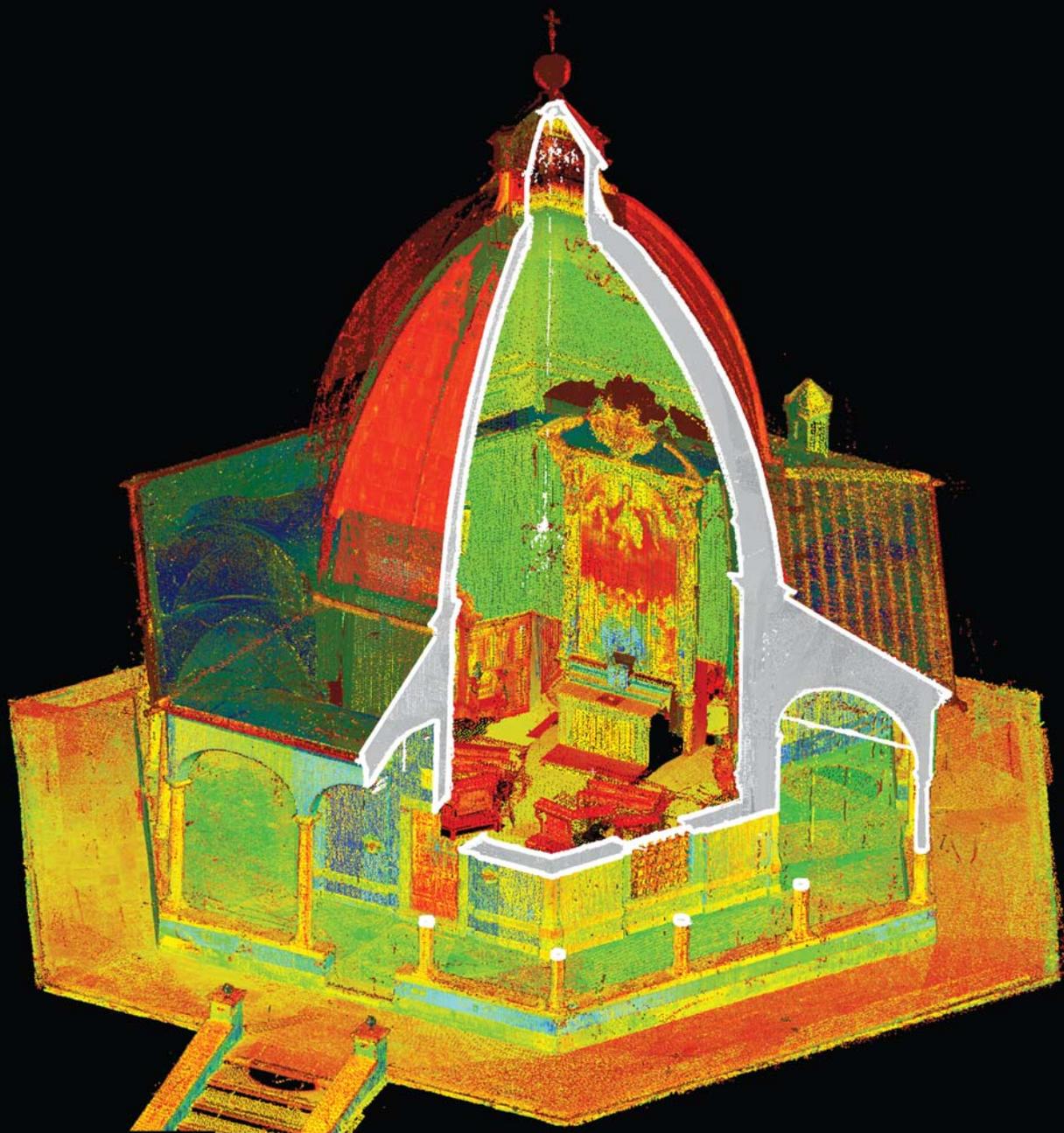


# ARCHEOMATICA



**RILEVARE E RENDERE VISIBILI I TESORI NASCOSTI**

UN'ESPERIENZA SENSORIALE: I COLORI DELL'ARA PACIS

RISPARMIO ENERGETICO: È LA VOLTA DEI MUSEI DALLA GESTIONE ETICA

SEMANTIC WIKI PER LA PROTEZIONE DEI BBCC

L'EVOLUZIONE DELL'IMMAGINE: DALLA PITTURA RUPESTRE ALL'ENERGIA AUTOPOIETICA



Lo scanner da tavolo di NextEngine durante la fase di acquisizione dati in modalità "Macro". L'oggetto rilevato è un idoletto cicladico in pietra.

# MUSEALIZZAZIONE VIRTUALE

## ESPERIENZE DI RILIEVO E MODELLAZIONE 3D PER UN ALLESTIMENTO INTERATTIVO E ACCESSIBILE DA WEB

di G. Tucci, F. Algostino, V. Bonora, L. Bucalossi, D. Cini, A. Conti, L. Fiorini, A. Nobile, L. Menci, F. Ceccaroni, D. Bianchini, M. Ghezzi

La realizzazione di un museo virtuale interattivo può avere svariate finalità, come ad esempio la possibilità di rendere fruibili collezioni importanti, in assenza di spazi adeguati, fornendo anche l'opportunità di costruire percorsi diversificati per tipologia di utente. Il progetto MUS.INT. avvalendosi di metodologie di acquisizione che consentono di fornire modelli tridimensionali, consente la visualizzazione interattiva in tempo reale, su postazioni stand-alone e on-line.

### PROGETTO

Il progetto MUS.INT 'Progettazione museologica interattiva: il museo virtuale delle antichità Egee e Cipriote in Toscana', finanziato dalla Regione Toscana e coordinato dalla Prof.ssa A.M. Jasink del Dipartimento di Scienze dell'Antichità dell'Università degli Studi di Firenze prevede la realizzazione di un museo virtuale interattivo, la cui struttura possa essere utilizzata per differenti finalità espositive. Fortemente sentite sono in particolare due esigenze comunicative: rendere visibilità a tutto tondo a collezioni poco conosciute che sono generalmente soggette alle limitazioni degli spazi espositivi disponibili e, in secondo luogo, proporre itinerari su misura per distinte categorie di utenti, come ad esempio specialisti del settore archeologico, studenti, famiglie.

Partecipano al progetto, avviato all'inizio dell'anno corrente, gruppi di ricerca dell'Università di Firenze, con competenze nel settore dell'archeologia (responsabile scientifico la Prof.ssa A.M. Jasink) e in quello della geomatica e del rilievo tridimensionale (responsabile scientifico la Prof.ssa G. Tucci). Sono inoltre coinvolte alcune imprese operanti sul territorio toscano: *Magenta Software Lab*, nel campo della comunicazione multimediale, e *Menci Software*, nel settore della produzione di strumenti per il rilievo fotogrammetrico.

Il primo allestimento oggetto della ricerca è dedicato alle collezioni egee e cipriote conservate in diversi musei sparsi sul territorio toscano, tra i quali il Museo Archeologico Nazionale di Firenze. L'intento è di produrre una piattaforma espositiva itinerante, tramite un tavolo interattivo *touchscreen* e accessibile da remoto, attraverso l'adattamento della visualizzazione al Web, per reperti difficilmente visi-

bili, perché collocati abitualmente nei locali di deposito dei rispettivi musei oppure esposti in strutture museali decentrate, non sufficientemente note e visitate (quale ad esempio il Museo Archeologico di Montelupo).

Il museo virtuale intende veicolare la conoscenza di queste collezioni, per la prima volta riunite, in percorsi sia scientifici che didattici e potrà in seguito ospitare allestimenti e materiali di altra natura secondo modalità espositive di volta in volta rinnovabili utilizzando gli strumenti messi a disposizione dalla progettazione virtuale.

La prima fase del progetto MUS.INT è dedicata alla definizione di procedure operative per la digitalizzazione tridimensionale di reperti archeologici con strumentazione di costo contenuto. L'ottimizzazione delle modalità operative e la stesura di linee guida per la gestione dei dati perseguono l'obiettivo di rendere trasmissibili i risultati raggiunti, di consentirne l'applicazione in contesti differenti, di contribuire in tempi rapidi alla formazione di operatori privi di competenze tecniche specifiche. Questa fase del progetto è pertanto finalizzata alla produzione del contenuto digitale: acquisizione dei dati tramite scansioni 3D di una selezione di manufatti di dimensioni medio-piccole, che possano essere temporaneamente rimossi dalle vetrine e dagli scaffali in cui sono collocati, e successiva elaborazione per ricostruirne i modelli virtuali.

### OGGETTI RILEVATI

Le collezioni archeologiche di materiali provenienti dall'Egeo e da Cipro nei musei della Toscana costituiscono un importante patrimonio di antichità la cui raccolta risale ai primi anni del '900. Tali oggetti sono oggi soltanto in minima parte esposti al pubblico, nonostante il loro valore

che li segnala in Italia come un lotto unico per varietà e ricchezza. Già da tempo queste collezioni sono oggetto di un ampio studio su scala nazionale coordinato scientificamente dall'equipe della Prof.ssa Jasink. Il lavoro di analisi sui materiali ha prodotto alcuni importanti contributi scientifici destinati alla catalogazione preliminare, all'approfondimento di specifiche classi di materiali o singoli oggetti d'arte e, infine, alla storia della formazione delle collezioni medesime ad opera di studiosi di antiquaria e storici dell'arte sullo scorcio del secolo XIX (Cfr. database <http://dbas.scian.unifi.it> la pubblicazione: L. Bombardieri, A.M. Jasink (a cura di), *Le collezioni egee del Museo Archeologico Nazionale di Firenze*, F.U.P. Firenze University Press, Firenze 2009).

La realizzazione di una mostra digitale 3D interattiva rappresenta una novità nell'ambito degli studi dedicati ai materiali archeologici del mediterraneo orientale, e diviene un contributo tanto più rilevante quanto maggiori sono il valore delle collezioni e, contestualmente, la difficoltà di trovare spazi di musealizzazione tradizionali.

I quaranta oggetti scelti per formare l'allestimento virtuale sono per lo più giare, ciotole, crateri e altri tipi di manufatti vascolari, a cui si aggiungono alcuni pregevoli esempi di idoletti e figurine decorative. I reperti sono prevalentemente fittili, modellati a mano o al tornio e caratterizzati da decorazioni dipinte, alcune incise o stampigliate, con dimensioni che variano da 5 a 40 cm circa di altezza. Si tratta di oggetti esemplificativi per tecnica esecutiva e morfologia della produzione locale o di importazione greca (micenea), di uso domestico o rituale; per quanto riguarda la datazione, i pezzi si inseriscono all'interno dell'Età del Bronzo, dai periodi più antichi dell'Antico Bronzo fino al Bronzo Tardo.

### DIGITALIZZAZIONE E FINALITÀ DELLA MUSEALIZZAZIONE VIRTUALE

Gli studi archeologici su collezioni di pezzi ormai disseminati in svariate sedi lontano dal loro contesto d'origine impiegano con profitto modelli tridimensionali di manufatti (e anche di siti) in numerose fasi della ricerca e della comunicazione, per poter supportare visivamente indagini, ipotesi ricostruttive, classificazioni che si svolgano in assenza di contatto diretto o magari non consentite da esso. È perciò sempre più richiesta l'individuazione di sistemi e di metodologie per ottenere una documentazione scientifica adeguata dal punto di vista geometrico e radiometrico, da cui poi poter produrre copie digitali in tempi e a costi ragionevoli, se non addirittura repliche fisiche. In quest'ultimo caso si può disporre di modelli solidi, realizzati con materiali e finiture superficiali adatte ad esposizioni poco protette come quelle destinate a bambini o ipovedenti. Comunque sia pensata, la realizzazione di un allestimento virtuale permette di allargare l'accessibilità della collezione e di favorirne la comprensione storica e artistica per le possibili associazioni con altri reperti o documenti significativi e per le eventuali contestualizzazioni spazio-temporali che si possono visualizzare.

Le modalità di presentazione degli oggetti digitalizzati ed i gradi di interazione variano a seconda delle finalità scientifiche o divulgative e dei dispositivi impiegati.

Il progetto MUS.INT si avvale di metodologie di acquisizione che consentono di raggiungere il duplice risultato di fornire modelli tridimensionali sia per l'archiviazione e lo studio da parte della comunità scientifica dei singoli reperti, mantenendone le caratteristiche morfologiche effettive con precisione sub-millimetrica, sia per la visualizzazione interattiva in tempo reale, su postazioni stand-alone e on-line, semplificando opportunamente gli oggetti rappresentati ma preservandone la fedeltà al reale.

### STRUMENTI E TECNICHE: NEXTENGINE E Z-SCAN

Dal punto di vista tecnico, sono stati impiegati due sistemi di acquisizione che utilizzano due diverse tecniche, la scansione laser a triangolazione e la scansione fotografica supportata da software specialistico di fotogrammetria per la correlazione multimmagine.

I due sistemi adottati sono:

- Laser scanner a triangolazione NextEngine mod. 2020i
- Sistema fotogrammetrico Z-Scan e Z-Block (Menci Software).

### NEXTENGINE

NextEngine è uno scanner da tavolo che utilizza una tecnologia originale definita *Multistripe Laser Triangulation*. Le specifiche tecniche indicano come sorgente laser una doppia linea di quattro laser allo stato solido (classe 1M, 10mW) con  $\lambda=650$  nm e, come sensori, due matrici di sensori CMOS RGB da 3 Mpixel. Il sistema è dotato di due lampade incorporate ed esegue un'acquisizione sincronizzata otticamente della texture RGB per rilevare l'informazione fotografica (estremamente utile anche per l'allineamento delle *range maps*). Il protocollo operativo individuato prevede che le range maps vengano allineate e registrate con il software dedicato ScanStudio (NextEngine Inc.), e che poi l'elaborazione dei modelli venga eseguita con i software Geomagic Studio (Geomagic Inc.) e 3DS Max (Autodesk).

L'apparecchio ha un campo di presa piuttosto limitato, anche se può allineare e fondere scansioni parziali per ricostruire oggetti di maggiori dimensioni. Ha due modalità di funzionamento definite Macro e Wide a cui corrispondono le specifiche di seguito indicate nella tabella.

	Macro	Wide
Campo di presa	130 x 97 mm a 166 mm	345 x 258 mm a 435 mm
Profondità di campo	128-230 mm	384-563 mm
Risoluzione geometrica (densità di punti sull'oggetto)	200 DPI	75 DPI
Risoluzione ottica della texture	400 DPI	200 DPI
Accuratezza metrica	±0.127 mm	±0.381 mm

Lo scanner è dotato di un piatto rotante che gira l'oggetto a step angolari pre-definiti. Le caratteristiche dello strumento sono orientate al rilievo tridimensionale di oggetti di dimensioni contenute, quali i beni culturali mobili presi in considerazione dal progetto. La maggior parte dei reperti acquisiti hanno superfici otticamente collaboranti e non presentano problemi particolari, mentre alcuni pezzi sono di colore scuro o hanno una finitura lucida, caratteristiche queste tipicamente impegnative per molte tecniche di scansione.

Approssimativamente, per ogni oggetto il tempo impiegato per la fase di rilevamento è di due ore, con una media di venti scansioni; rispetto al tempo effettivo di scansione, è decisamente superiore quello necessario per il posizionamento dell'oggetto nell'angolazione desiderata (figura 1). Per quanto riguarda la fase di elaborazione dei dati occorrono all'incirca trenta ore, ma difficoltà e tempi variano a seconda della complessità dell'oggetto, del numero di scansioni e dell'hardware di cui si dispone. Presentiamo in questa sede alcune immagini esplicative di modelli ottenuti con le scansioni di NextEngine, come si visualizzano in Geomagic Studio in fase di editing.

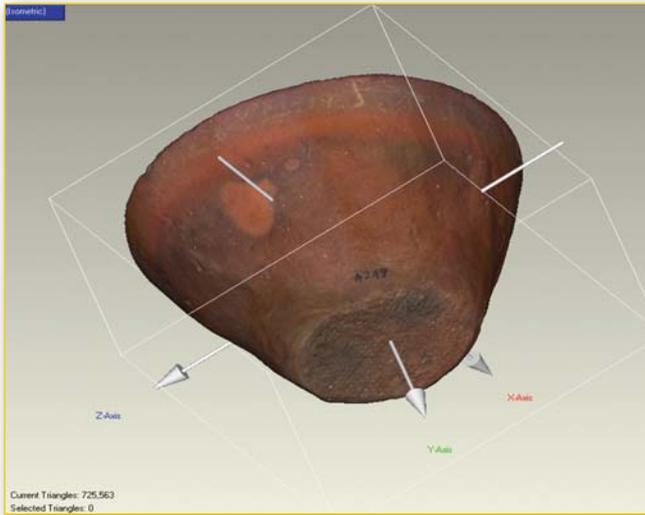


Figura 1 - Modello di una ciotola tronco-conica proveniente dalle Cicladi visualizzato in Geomagic Studio.

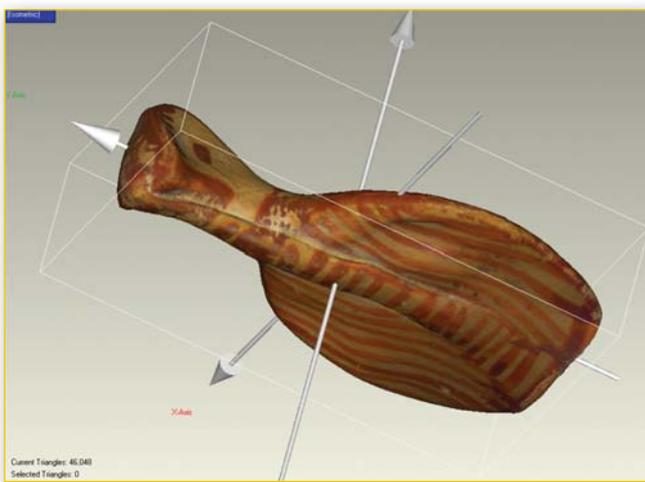


Figura 2 - Modello di una figurina fittile proveniente dalla Grecia, conservata dal busto in su, visualizzato in Geomagic Studio.

### Z-SCAN E ST-SCAN

Per gli oggetti di dimensioni maggiori è stato selezionato lo strumento Z-Scan per la generazione di modelli 3D RGB tramite scansione fotografica. Tale sistema è versatile nelle sue diverse configurazioni, tutte quante caratterizzate dalla ricostruzione 3D mediante analisi dell'immagine.

La tecnologia *photo scanner* 3D consente di riprendere oggetti piccoli ed ottenere alte precisioni nella ricostruzione ed allo stesso tempo (con barra e ottiche differenti) ottenere modelli 3D a scala architettonica. Il valore delle accuratèzze varia infatti in funzione della distanza di ripresa e dalla focale utilizzata.

Si tratta di una tecnologia basata sulla fotografia digitale e sui principi della stereofotogrammetria che può efficacemente integrare o sostituire il rilievo laser scanning. Infatti, è in grado di restituire, da più fotogrammi acquisiti, nel rispetto di alcune regole di ripresa, per la totale ricopertura dell'oggetto, geometrie a diversi livelli di complessità ed in forma di nuvole di punti con contestuale informazione colorimetrica associata (coordinate spaziali xyz + coordinate colorimetriche RGB).

Per rendere misurabile l'insieme dei dati fotografici acquisiti, le riprese vengono effettuate in condizioni note. La fotocamera digitale infatti, viene fatta scorrere su un apposito carrello (nella versione Z-scan standard monocalmera) posto su una barra di acciaio calibrata, nella quale sono stati predisposti alcuni fori, a distanze note, che

rappresentano le possibili posizioni di scatto. La camera fotografica deve essere necessariamente calibrata ovvero devono essere noti i parametri geometrici tipici: distorsioni ottiche, punto principale, lunghezza focale, ecc., che poi servono al software di elaborazione dei dati. Gli scatti vanno eseguiti in successione (sinistra centro destra) da diverse posizioni, con l'accortezza di proporzionare l'intervallo tra queste in relazione alla distanza dell'oggetto da riprendere. Sarà poi demandata ad un sofisticato algoritmo di analisi dell'immagine la trasformazione dei singoli pixel delle immagini digitali in una nuvola di punti di coordinate note nello spazio contestualmente dotate dell'informazione di colore in formato RGB. In sostanza, questo significa che ad ogni punto della nuvola è associata una "sestina" di numeri, corrispondenti alle coordinate spaziali x y z e a quelle colorimetriche RGB.

L'acquisizione trinoculare di immagini digitali e la successiva fase di unione e georeferenziazione porta alla completezza della ricostruzione delle superfici dei singoli oggetti ad elevata risoluzione.

Per l'attività di rilievo del progetto MUS.INT è stato utilizzata la variante ST-Scan. Sono quindi state acquisite coppie di immagini avvalendosi della proiezione di un pattern con proiettore per riprendere vasi riflettenti e/o con texture omogenea.

È stata adoperata una barra da 500 mm, una coppia di fotocamere calibrate Canon Eos 500 D con ottica da 24 mm ed un proiettore a led LG. La variante specifica di Z-Scan prevede la proiezione di pattern randomizzati in una sequenza di cinque per ogni posizione di scansione. L'algoritmo di ricostruzione si basa su una tecnica di *space-time stereo matching* ovvero correlazione stereoscopica di tipo spazio-temporale.

La dimensione e la forma dei vasi hanno determinato la necessità di effettuare più 'giri' di scansione fotografica al fine di avere una ricopertura senza lacune. Nel caso della giara piriforme rappresentata in figura, l'oggetto è stato messo su un piatto rotante, le riprese sono state effettuate su 3 livelli ed orientate zenitalmente alla superficie da ricostruire. Per ciascun livello, mantenendo fermo lo strumento, sono stati effettuati avanzamenti angolari del piatto rotante di 10°. Per ogni avanzamento è stata acquisita una coppia di immagini; ogni 4 avanzamenti è stata effettuata una proiezione di pattern al fine di ricostruire la superficie. La continuità e la densità delle immagini rende possibile il riassetto automatico delle scansioni a livello geometrico così come la texture.

La tecnica di ricostruzione stereo spazio temporale per la generazione di nuvole di punti mediante proiezione di pattern randomizzati è caratterizzata da una elevata qualità anche su soggetti debolmente texturizzati. L'originale tecnica messa a punto consente la registrazione automatica dei modelli riducendo drasticamente i tempi di post processing.

Z-Scan consente di operare su range di distanze variabili in funzione della distanza di presa e delle ottiche utilizzate, che determinano altrettanto variabili accuratèzze ed aree di lavoro.

Nel caso specifico del rilievo dei vasi del progetto MUS.INT l'assetto utilizzato ha determinato le seguenti condizioni di lavoro:

- Distanza di ripresa dall'oggetto: 600 mm
- Campo di inquadramento: 500 x 500 mm
- Ricostruzione del modello 3D a passo 5 pixel=1.0 mm
- Dimensione del pixel (GSD) = 0.2 mm
- Accuratèzza metrica +/- 0.2 mm

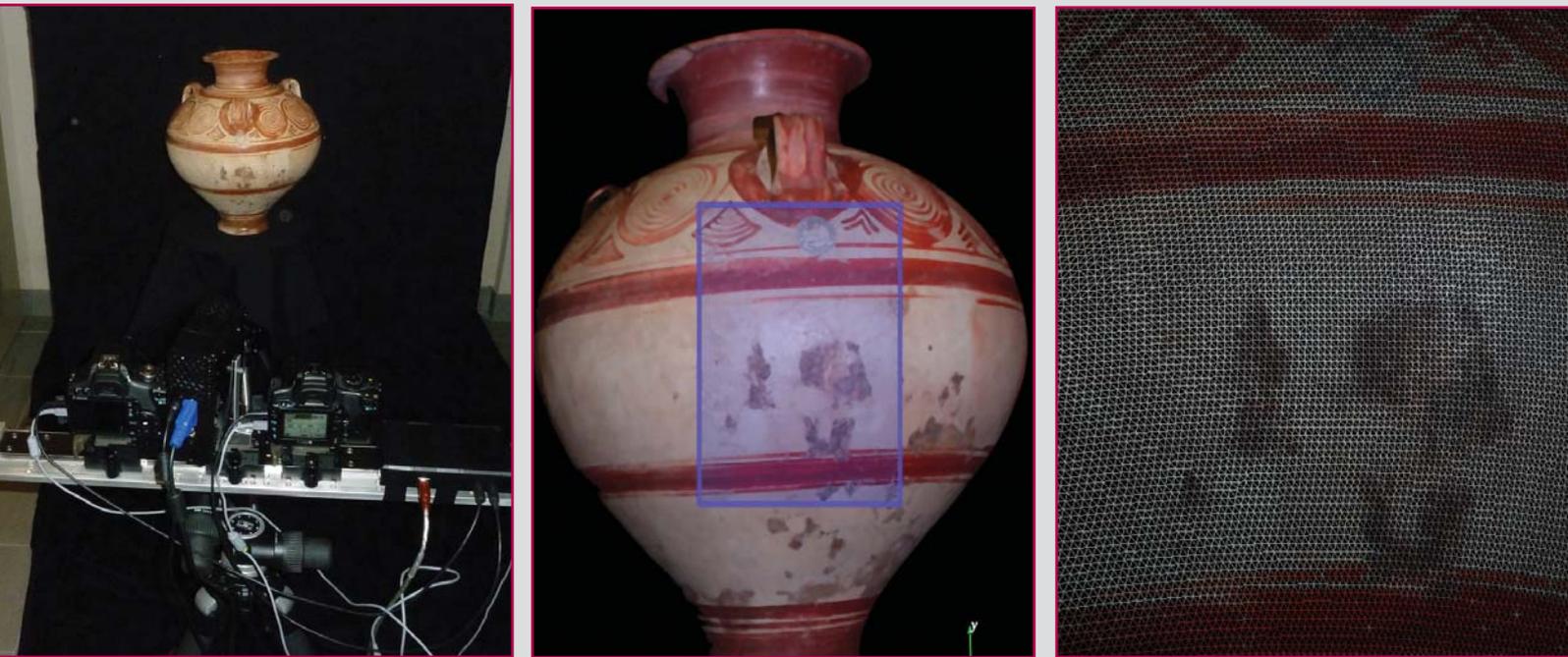


Figura 3 - Zscan ST di menci software, modello 3D del vaso, dettaglio in rappresentazione wireframe.

Strumenti di rilievo	Numero di pezzi	Dimensioni dei pezzi	Tempi di acquisizione per singolo vaso	Tempi di elaborazione
NextEngine	30	Più piccolo: 5,4 x 4,2 x 1,2 cm Più grande: h 18,4 x d 24,9	20 scansioni + relativa logistica: circa 2 ore	In media 30 ore per modello
Z-Scan	10	Più piccolo: h 36 x d 10 cm Più grande: h 42,5 x d 34 cm	36 posizioni per giro =72 foto circa 10 minuti	In media 2 ore a giro

Tabella di sintesi comparativa del progetto MUS.INT.

## CONCLUSIONI

I due strumenti utilizzati hanno dimostrato di essere in grado di produrre modelli 3D dei vasi selezionati nonostante siano di grande complessità per geometria e superfici riflettenti.

La difficoltà più grande per entrambi è stata la gestione di una corretta illuminazione per favorire una migliore renderizzazione e texturizzazione degli oggetti. Per questo la Menci Software ha optato anche ad una soluzione che integra la proiezione di un pattern per ovviare alle mancanze di geometria dovuta ai riflessi. In secondo luogo la presenza di manici ha creato qualche complicazione per l'impossibilità di rilievo delle zone d'ombra. Tramite software specifici è stato possibile integrare e renderizzare il dato mancante.

Nel corso dei prossimi mesi verrà messo a punto l'inserimento su portale web dei singoli modelli 3D per la visualizzazione, consultazione e fruizione da parte dei visitatori virtuali. L'esperienza descritta potrebbe aprire nuove frontiere per la replica del progetto al fine di una diffusione conoscitiva di oggetti museali tramite il canale web.

## ABSTRACT

### *Interactive virtual museum*

*The creation of an interactive virtual museum can have a variety of purposes, such as the ability to make available important collections in the absence of space. It can also provide the opportunity to build different routes by type of user. The project MUS.INT. using methodologies that allow the acquisition to provide three-dimensional models, allows the interactive visualization in real time, on a stand-alone locations and online.*

## AUTORI

GRAZIA TUCCI, FRANCESCO ALGOSTINO, VALENTINA BONORA, LAURA BUCALOSSI, DANIELA CINI, ALESSANDRO CONTI, LIDIA FIORINI, ALESSIA NOBILE  
GeCo - LABORATORIO DI GEOMATICA E COMUNICAZIONE,  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE - [WWW.GEOMATICAECONSERVAZIONE.IT](http://WWW.GEOMATICAECONSERVAZIONE.IT)

LUCA MENCI, FRANCESCA CECCARONI, DANIELE BIANCHINI, MARCO GHEZZI  
MENCI SOFTWARE, VIA LUMIERE 19, AREZZO - [WWW.MENCI.COM](http://WWW.MENCI.COM)