

SPERIMENTAZIONE DI UNO SCANNER LASER 3D NELLA DOCUMENTAZIONE DEI REPERTI ARCHEOLOGICI

MIRKO PERIPIMENO, FRANK SALVADORI

1 – LO SVILUPPO DI NUOVI PERCORSI DI DOCUMENTAZIONE ARCHEOLOGICA

Il progetto *Archeologia dei Paesaggi Medievali* (<http://paesaggimedievali.it>), nato dalla collaborazione tra l'Area di Archeologia Medievale del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università di Siena (<http://archeologiamedievale.unisi.it>) e la Fondazione Monte dei Paschi di Siena (<http://www.fondazionemps.it/>), è finalizzato ad un'intensa applicazione di tecnologie innovative nel campo della valutazione e conservazione del patrimonio archeologico e storico-monumentale della Toscana.

Nell'intento di sperimentare nuovi percorsi e metodi di documentazione, nel campo dell'informatica applicata all'archeologia, il LIAAM (Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale - Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università di Siena, <http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/LABORATORIO/home.html>) è stato dotato di uno scanner tridimensionale.

Fra i diversi scanners presenti sul mercato è stato scelto il modello VI-900, prodotto da Minolta, le cui specifiche tecniche si sono mostrate le più appropriate per l'acquisizione digitale dei reperti di scavo.

Le periferiche 3D Minolta sono state sinora sperimentate in diversi settori disciplinari che interessano l'archeologia, l'architettura, la computer grafica il disegno industriale e la medicina (<http://www.minolta-3d.com/applications/index-en.html>).

In ambito archeologico, le prime esperienze hanno interessato l'ambiente affrescato della grotta preistorica di Altamira presso Santillana del Mar, località della regione iberica della Cantabria, dove è stata realizzata una copia della grotta in materiale plastico ed in scala 1:1 in seguito sistemata all'interno del museo locale (<http://www.minolta-3d.com/applications/eng/altamira.html>), ed il Colosseo, dove sono stati sperimentati alcuni rilievi 3D di elementi decorativi e strutture architettoniche (<http://www.minolta-3d.com/applications/eng/colosseum.html>),

Nel nostro caso, invece, la sperimentazione della periferica Minolta ha interessato, come già accennato, il rilievo 3D dei reperti archeologici. L'intenso utilizzo che ne è stato fatto in questo primo anno, nel corso del quale i progetti archeologici dell'Area di Archeologia Medievale interessati sono stati diversi (Convento del Carmine, Castello di Miranduolo, Poggio Imperiale, Castel di Pietra, San Quirico), ha portato allo sviluppo di due percorsi di documentazione:

1. produzione di nuovi supporti per la visione dei reperti attraverso il calcolatore sia in locale sia attraverso il browser;
2. creazione di nuovi metodi di rilievo archeologico dei reperti.

Il primo percorso si concentra nella conversione degli oggetti scansionati in tecnologia Quicktime Virtual Reality, ovvero filmati QTVR Object: a bassa risoluzione, per internet (Convento di S. Maria del Carmine e Castello di Miranduolo), e ad alta risoluzione, per prodotti multimediali (*C'era una volta 2002*, *Castel di Pietra 2002*).

Il secondo percorso è invece finalizzato alla realizzazione dei profili degli oggetti ed, inoltre, al fotoraddrizzamento delle superfici esterne delle ceramiche decorate.

In sostanza si tratta di un processo di elaborazione contraddistinto da fasi che richiedono competenze specifiche e capacità di utilizzo di software diversi.

La creazione di una documentazione connotata da elementi eminentemente riproducibili degli oggetti reali, esalta innanzitutto l'aspetto divulgativo della ricerca archeologica; la prima sperimentazione della periferica è stata, infatti, finalizzata alla costruzione di supporti informatici inseriti nella mostra *C'era una volta (C'era una Volta 2002)*.

L'utilizzo dello scanner 3D e la conseguente produzione di movies QTVR, trovano nella presentazione dei materiali all'interno di prodotti multimediali, siti web e database multimediali uno dei campi di maggiore utilizzo.

L'allestimento di computers all'interno di mostre e musei crea i presupposti affinché i fruitori si possano avvicinare ai reperti archeologici con un atteggiamento meno deferente, più dinamico e talvolta approfondito.

L'uscita verso il grande pubblico e la possibilità di offrire uno strumento di ricerca agli specialisti, rappresenta sicuramente uno dei campi principali che si intende perseguire con il continuo utilizzo della periferica.

La costruzione di un database multimediale, che si sviluppa secondo il modello già sperimentato presso il LIAAM per le riprese fotografiche e filmate, diventa quindi necessario ai fini della gestione della documentazione prodotta e in continuo incremento (sui database vedi Fronza nel presente volume).

Questo percorso persegue gli stessi obiettivi che da oltre un decennio guidano le attività dell'Area di Archeologia Medievale dell'ateneo senese, nell'ambito dell'informatica applicata alla ricerca archeologica (Francovich 1990), tese alla realizzazione di un sistema per la gestione ipermediale della risorsa archeologica (Valenti 1998). La struttura di tale sistema, aperta ed estendibile a qualunque tipo di informazione (archeologica, storica, architettonica, naturalistica, ecc.), è stata concepita per rispondere proprio alle esigenze connesse all'incessante accumulo di «sapere collettivo» (Francovich 1999).

2 - L'ACQUISIZIONE DEGLI OGGETTI AL CALCOLATORE

2.a *La periferica ed il software di reverse engineering*

Lo Scanner 3D VI-900, è una periferica progettata per acquisire al computer informazioni geometriche e colorimetriche di una superficie, attraverso un fascio laser, uno specchio galvano, una lente ottica, ed un sistema CCD di conversione. In altre parole, per ogni singola scansione lo scanner acquisisce una nuvola di punti ed un'immagine di 640x480 pixel (Salvadori 2003).

La conversione della nuvola di punti in una superficie 3D e l'applicazione dell'immagine relativa è operata attraverso il software *Polygon Editing Tool* (leggi PET), giunto alla versione 1.13, prodotto dalla stessa Minolta.

L'apparato hardware del sistema di acquisizione è quindi composto dallo scanner VI-900 collegato via SCSI ad un PC, dotato di una scheda di accelerazione grafica, da una tavola rotante, collegata attraverso la porta seriale allo stesso computer, ed infine da due tavole di calibrazione utilizzate dal software PET per "ricomporre" l'oggetto, posizionando nello spazio le superfici scansionate secondo l'angolo di rotazione della tavola rotante.

Il software PET consente di interfacciare le periferiche con un qualsiasi computer, attraverso un'interfaccia in cui si impostano l'angolo di rotazione della tavola ed i parametri di acquisizione dello scanner quali la messa a fuoco manuale o automatica dell'oggetto, la potenza del fascio laser emessa dallo scanner, la qualità dei colori.

I reperti scansionati sono stati generalmente acquisiti impostando gli step di rotazione della tavola a 40 gradi e solamente in alcuni casi, come per gli oggetti molto scuri oppure traslucidi, è stata

predisposta manualmente la potenza del fascio laser emessa dallo scanner, raramente è stato invece richiesto l'intervento per la messa a fuoco manuale.

La seconda operazione di reverse engineering prevista è l'importazione della nuvola di punti letta dalla periferica all'interno dell'ambiente di lavoro PET. In questo step è stata operata una prima scrematura (in automatico) della nuvola di punti, riducendone di un quarto la concentrazione.

Gli oggetti ottenuti a seguito della "fusione" (merge) delle superfici relative ad ogni singola scansione, operata all'interno dell'ambiente di lavoro PET, presentano una risoluzione che varia tra quarantaduemila e ottantaduemila punti, a seconda delle dimensioni e della complessità strutturale del reperto acquisito.

Il software è inoltre dotato di strumenti che consentono di eliminare i punti ridondanti, diminuire la risoluzione di una superficie ed, infine, rendere un oggetto più o meno "liscio" (smooth).

Ogni reperto ceramico è stato infine documentato in due file separati: uno ad alta risoluzione di punti ed uno a bassa risoluzione.

La fusione delle scansioni in un unico oggetto prevede anche la generazione di un'immagine raster (in pratica un "raddrizzamento" dell'intera superficie del reperto), in seguito applicata dal software stesso sull'oggetto tridimensionale e visualizzabile all'interno dell'ambiente di lavoro.

In alcuni casi, la periferica (configurata per ottenere un grado di dettaglio massimo nella nuvola di punti pari a 0.17mm per l'asse x, 0.17mm per l'asse y e 0.047mm per l'asse z) ha mostrato una precisione di acquisizione tale che i risultati appaiono sorprendenti, giungendo fino allo spessore delle pennellate decorative presenti sulle pareti delle maioliche arcaiche.

Questi esiti propongono nuovi quesiti sulle potenzialità di utilizzo della periferica nella documentazione archeologica, architettonica e iconografica.

2.b Le problematiche emerse nel caso dei reperti ceramici

La sperimentazione del modello VI-900 e del software PET hanno evidenziato alcuni limiti sia nella fase di acquisizione sia in quella di visualizzazione a video del modello virtuale (Salvadori 2003).

Per le forme ceramiche chiuse, interamente conservate, la scansione integrale dell'area interna non è stata possibile a causa dell'impossibilità stessa dello scanner a ricoprirne con il raggio laser l'intera estensione; per le forme aperte, invece, la visualizzazione è risultata spesso errata: l'immagine associata alla superficie interna del reperto ceramico presentava, infatti, diversi errori dopo l'operazione di merge delle singole scansioni. Questo problema si accentuava esportando l'oggetto nel formato universale WRML; in questo caso la porzione interna appariva priva dell'immagine relativa.

I documenti prodotti dal sistema di scansione (.vvd) sono stati perciò esportati attraverso formati universali, e ridefiniti per mezzo di programmi di modellazione 3D.

I formati supportati dal software PET, in fase di esportazione, sono sette, dei quali due possono essere salvati con le relative immagini (formato WRML e HRC), mentre per gli altri cinque non è possibile associare l'immagine al documento esportato (formato OBJ, DXF, ASCII, STL Binary e STL ASCII). Tra le funzioni di esportazione del programma non è attualmente previsto il salvataggio dell'immagine derivata dal merging delle superfici come documento separato (in un qualsiasi formato raster), mentre si possono esportare le immagini relative ad ogni singola scansione come semplici riprese fotografiche.

Tale implementazione sarebbe auspicabile, in quanto eviterebbe il ricorso ad altri software per la lettura ed il salvataggio della mappatura, oppure il passaggio attraverso l'archivio appunti del sistema operativo per mezzo di una semplice foto a schermo.

Il processo di conversione dei documenti nel formato QTVR ha, in realtà, richiesto una serie di passaggi che comprendono tre diversi settori di applicazione:

1. modellazione 3D;
2. foto ritocco delle mappature;
3. realizzazione dei progetti di rendering.

3 - LA PRODUZIONE DI SUPOPORTI QUICKTIMEVR OBJECT

La scelta di produrre movies basati su tecnologia QuickTime in luogo del WRML è stata inoltre determinata dall'universalità di tale formato, supportato efficacemente dai diversi sistemi operativi e con una qualità di visualizzazione certamente superiore, infine dalla necessità di ottenere un prodotto il più possibile attinente al reperto originale.

Per gli oggetti provvisti di un'unica superficie esteriore, come nel caso di elementi architettonici o metallici, la riproduzione fotorealistica non presenta difficoltà particolari, mentre per quelli caratterizzati da superfici doppie, come le ceramiche, la restituzione virtuale risulta più complicata, soprattutto quando gli attributi della parte interna ed esterna sono diversi.

Le maioliche arcaiche, rinvenute presso il convento del Carmine, hanno rappresentato il primo modello di sperimentazione in questo senso, essendo contraddistinte proprio da superfici interne ed esterne ricoperte di materiale, colore e decorazioni differenti.

3.a *Esportazione e ridefinizione degli oggetti*

Nell'intento di ottenere un modello virtuale dei reperti che fosse il più possibile somigliante all'originale, la superficie mesh ottenuta dal procedimento scansione e reverse engineering è stata suddivisa in più oggetti oppure, come nel caso delle forme chiuse, le parti mancanti sono state ricostruite in una seconda fase.

In precedenza si è già accennato alla difficoltà di acquisire la porzione interna di tali ceramiche: un problema che non è possibile risolvere attraverso la periferica o il software incluso. In questi casi è stata perciò acquisita la sola superficie esterna, mentre quella interna è stata costruita, in maniera aprioristica, utilizzando specifici software di modellazione 3D.

Seppur la maggior parte dei programmi attualmente in commercio gestiscano in maniera più o meno avanzata strumenti di modellazione tridimensionale, sono stati scelti due software leader del mercato *high-end* internazionale: Maya di AliasWavefront e Softimage XSI di Avid. In questi ambienti, viene realizzata una copia della scansione utilizzando semplici e ripetitivi strumenti di editing, quali la deformazione di primitive base e l'uso, fondamentale, dello strumento *Loft*, con cui è possibile creare superfici passanti per una serie di profili che definiscono la forma dell'oggetto.

La modellazione di oggetti destinati ad animazioni QTVR si basa totalmente sulla creazione e gestione di curve Nurbs (Non Uniform Rational B-Splines); geometrie in grado di definire con precisione qualsiasi forma, 2D o 3D, caratterizzata da flessibilità ed accuratezza, su cui è possibile intervenire, in qualsiasi momento, variando il livello di dettaglio.

Questa scelta è il risultato di una continua e costante ricerca, volta ad ottenere il miglior rapporto resa/tempo. Il guadagno, in tal caso, consiste principalmente nella facilità di manipolazione degli oggetti Nurbs, nella minore occupazione di memoria e nella conseguente scalabilità del rendering.

Gli oggetti ottenuti dal merging delle singole superfici acquisite a scanner presentano, ad esempio, una risoluzione variabile tra i quarantamila e gli ottomila punti; mentre a seguito delle operazioni di scrematura, operate nell'ambiente di lavoro PET, passano ad un valore compreso tra i quindicimila e i tremila punti. Le stesse superfici, rimodellate per mezzo di curve Nurbs non

superano invece i trecento punti di controllo (Control Vertices). Si capisce quindi come quest'ultime siano più facilmente gestibili, oltre che meno dispendiose in termini di occupazione della memoria.

In pratica, la mesh poligonale, risultato della scansione, dopo una prima fase di merging e di scrematura dei punti viene esportata, come già accennato, nel formato OBJ in Maya o Softimage XSI e qui utilizzata come oggetto di riferimento per la creazione di una forma Nurbs ex-novo, disegnando le curve che rappresentano i profili orizzontali. Si tratta di semplici cerchi opportunamente scalati e ruotati su cui, in seguito, si effettua un'operazione di *loft*, ovvero si crea una superficie di collegamento che ripercorre l'andamento della scansione.

La superficie interna viene, invece, riprodotta come copia opportunamente scalata di quella esterna, attraverso lo strumento *Offset* con cui è possibile duplicare una superficie ad una distanza specificata.

Le due superfici, infine, vengono collegate tra loro con un'ulteriore operazione di *loft* tra le due curve estreme dei rispettivi bordi; lo stesso procedimento è utilizzato per il fondo esterno ed interno.

Conclusa questa fase, il modello definitivo, costituito da un numero variabile di oggetti, viene convertito in poligoni ed esportato nel formato OBJ verso il software Electric Image per la fase finale di texturizzazione e rendering.

3.b Il foto ritocco delle mappature

Il foto ritocco delle immagini, utilizzate in seguito per la mappatura delle superfici 3D, è stato realizzato con il software Photoshop di Adobe. Le figure relative alle pareti, sia esterne che interne, sono state esportate dal software di acquisizione dello scanner (direttamente oppure tramite foto a schermo della finestra di preview), mentre i fondi esterni ed interni sono stati ripresi con fotocamera digitale.

Questa fase è stata dedicata alla sistemazione delle textures generate dal software PET dopo il merge delle superfici, al bilanciamento dei colori e della luminosità, alla creazione di nuovi documenti per la rappresentazione delle decorazioni e dei reintegri presenti sulle forme ceramiche.

La correzione delle immagini derivate dalle scansioni delle superfici esterne ha richiesto il tempo maggiore, in particolare la sistemazione di quelle concernenti le maioliche arcaiche. Sono state, infatti, sistemate le imperfezioni generate da PET nell'operazione di merge delle superfici, soprattutto nei punti di sovrapposizione, e ritoccati i motivi decorativi utilizzando strumenti quali il timbro e l'aerografo con differenti parametri di opacità e metodi di applicazione.

L'operazione ha avuto la duplice finalità di realizzare una mappatura di alta qualità, in seguito applicata sui modelli 3D, e la creazione di documentazione esplicativa delle tecniche di decorazione delle ceramiche.

3.c applicazione delle textures e rendering

L'ultimo step di lavoro riguarda l'applicazione delle textures sugli oggetti tridimensionali, la creazione dell'ambiente di visualizzazione e la definizione degli attributi del progetto di rendering.

La tessitura delle mappature ha seguito un criterio standard di proiezione: cilindrica per le superfici esterne ed interne e planare per i fondi esterni ed interni, inoltre per delle decorazioni delle anse come per numerosi reintegri (Salvadori 2003).

La costruzione dell'ambiente di visualizzazione ha interessato l'allestimento del set di illuminazione e la definizione del colore di sfondo; al termine di queste operazioni sono stati prodotti due movies QuickTimeVR per ogni singolo reperto: uno ad alta risoluzione, per la visione in locale, ed uno a bassa risoluzione, per la visione in internet.

Quest'ultima fase di lavoro richiede un notevole dispendio di tempo, se si considera oltre al lavoro dell'utente la durata dei rendering effettuati in automatico dal calcolatore per la generazione dei movies QTVR. Il tempo medio impiegato da un PowerMac G4 biprocessore a 500 MHz per la realizzazione di un filmato ad alta risoluzione si aggira, ad esempio, intorno alle 6-7 ore per reperto ceramico.

4. IL RILIEVO ARCHEOLOGICO DEI REPERTI

4.a modellazione per lo studio dei profili

Nella modellazione di oggetti destinati allo studio dei profili l'obiettivo fondamentale è la ricerca della massima precisione, ottenuta grazie all'utilizzo combinato dello scanner 3D con un programma CAD. Per tale motivo, si lavora esclusivamente sulla mesh poligonale originaria, evitando, pur con un aumento sensibile del tempo di lavoro, la creazione di una nuova superficie Nurbs, come per i modelli destinati ad animazioni QTVR. Inoltre, al fine di preservare il modello originale, non viene operata alcuna scrematura dei punti e non vengono chiusi eventuali buchi (holes) risultanti dalle operazioni di reverse engineering.

Sebbene tale studio sia ancora in fase di parziale sperimentazione, si sono ottenuti ottimi risultati utilizzando per i reperti ceramici il software *Rhinoceros 3D*, sviluppato da McNeel & Associates (Fig. 1-4), mentre per i reperti metallici il software *FormZ*, sviluppato da auto•des•sys (Fig. 5).

Il lavoro è suddiviso in due fasi ben distinte. L'oggetto viene acquisito per mezzo dello scanner in congiunzione con il software PET, dove viene importato come nuvola di punti e trasformato, dopo il merging delle superfici, in una mesh poligonale, trasferita in formato ASCII o STL nell'ambiente CAD, dove, con alcune semplici e ripetitive operazioni è possibile ricavarne i profili.

Per quanto concerne le ceramiche, dopo aver posizionato correttamente l'oggetto nell'area di lavoro, si passa a calcolarne il diametro, basandosi sulla regola geometrica secondo la quale per tre o più punti non allineati passa una sola circonferenza. Mentre nel tradizionale disegno il centro è dato dall'incontro di due rette costruite sui punti di intersezione di tre circonferenze costruite sul bordo esterno del frammento (Leonardi, Penello 1991), nel CAD l'operazione è automatizzata. E' sufficiente fissare tre punti sul bordo esterno e per mezzo del comando *Circle: 3 point* tracciare la circonferenza corrispondente, il cui centro coinciderà con quello del frammento. Allo scopo di ottenere un risultato più affidabile il centro definitivo viene ricavato come punto medio fra due o più circonferenze tracciate sul frammento. Ottenuto il centro, si sfrutta lo strumento *Section*, che dalla release 2 del software è applicabile anche a mesh poligonali, in grado di effettuare delle sezioni liberamente orientabili. Si traccia nella vista Top una linea avente il punto iniziale coincidente con il centro del frammento ed il punto finale oltre il bordo esterno. Il software proietta a questo punto tale linea definendo la sezione del modello, andando a ricavare il profilo generato come curva Nurbs. Si creano in tal modo una serie di sezioni ad intervallo variabile, l'una dall'altra, ruotando la linea di orientamento sull'asse Y, con l'accortezza di scegliere le parti più integre del frammento, al fine di non inficiare il confronto finale dei profili. Per tale motivo si evita un intervallo regolare, comunque possibile, tra le sezioni.

I profili così ottenuti vengono proiettati sull'asse X per mezzo di rotazioni e spostamenti vincolati al centro, per poi essere definitivamente renderizzati ad alta risoluzione.

E' comunque bene dire che tale sperimentazione ha evidenziato alcuni limiti nel caso di forme chiuse o intere, in seguito all'impossibilità dello scanner, come già accennato in precedenza, a ricoprire con il raggio laser l'intera estensione. Infatti, utilizzando come strumento primario lo

scanner 3D laser, non è possibile ottenere una scansione delle superfici interne di forme chiuse. In tal caso questo tipo di studio può comunque essere applicato alla superficie esterna.

Per i reperti metallici il processo di elaborazione è lo stesso elaborato per le forme ceramiche, la mesh poligonale viene in questo caso “sezionata” attraverso piani arbitrari scelti dall’operatore nell’ambiente CAD di FormZ. Le sezioni ottenute rappresentano a tutti gli effetti il profilo dell’oggetto metallico, tradotto in documento vettoriale (come superficie) e raster (come documento immagine).

Proseguendo quindi nella sperimentazione di tecnologie in ambito archeologico, si intende intraprendere un nuovo percorso di utilizzo della periferica teso alla produzione di informazioni più prettamente specialistiche. I documenti raster e vettoriali costituiscono il materiale a disposizione dello specialista per l’elaborazione tipologica dei reperti.

Nel caso dei reperti ceramici i risultati ottenuti da queste prime sperimentazioni (Fig. 1-4) aprono nuove problematiche sulla seriazione tipologica. Come evidenziano chiaramente le immagini qui presentate, uno stesso reperto presenta caratteristiche morfologiche del bordo in alcuni casi molto differenti, che impongono alla ricerca archeologica una riconsiderazione dei propri metodi di classificazione tipologica.

4.b *fotoraddrizzamento delle superfici decorate*

Abbiamo già descritto come a seguito del merge delle singole scansioni il programma di reverse engineering PET produca un’immagine raster che rappresenta il fotoraddrizzamento dell’intera superficie del reperto. Nel caso di reperti contraddistinti da superfici decorate è quindi possibile procedere alla realizzazione di documenti raster dell’intera superficie.

Al momento sono state, ad esempio, riprodotte in immagine le decorazioni di diversi boccali e tazzine in maiolica arcaica del XIV secolo, rinvenute a Siena e nella Provincia di Grosseto (Convento del Carmine, Castel di Pietra).

Le immagini ottenute (Fig. 6) rappresentano a tutti gli effetti, una documentazione innovativa: il “raddrizzamento” della superficie esterna delle forme ceramiche.

La costante applicazione dello scanner, si sta traducendo quindi anche nella costruzione del repertorio decorativo delle maioliche arcaiche toscane. Per quelle senesi, ad esempio, è stato osservato, grazie al ritrovamento del Carmine, un ampliamento delle tipologie fino ad ora note. Le decorazioni conservate sulle ceramiche, e documentate come immagini planimetriche, presentano, infatti, motivi geometrici, vegetali, zoomorfi ed araldici.

BIBLIOGRAFIA

Castel di Pietra 2002, CD multimediale a cura di FRANCOVICH R. e CITTER C., *Castel di Pietra e la Diga sul Bruna. Tra poteri signorili e poteri cittadini*, realizzato presso il LIAAM, Siena.

C’era una volta 2002, CD multimediale a cura di FRANCOVICH R. e VALENTI M., *C’era una Volta*.

La ceramica medievale nel convento del Carmine, realizzato presso il LIAAM, Siena.

FRANCOVICH R., VALENTI M. 2002, *C’era una Volta. La ceramica medievale nel convento del Carmine*, Firenze.

FRANCOVICH R. 1990, *Dalla teoria alla ricerca sul campo: il contributo dell’informatica all’archeologia medievale*, «Archeologia e Calcolatori», I, pp. 15-27.

FRANCOVICH R. 1999, *Archeologia e informatica: dieci anni dopo*, «Archeologia e Calcolatori», XI, pp. 45-61.

LEONARDI G., PENELLO G. 1991, *Il disegno archeologico della ceramica e altri problemi*, Torino.

SALVADORI F. 2003, *Three-Dimensional Scanning Techniques Applied to 3D Modeling of Pottery Finds*, «Archäologie und Computer», Workshop 7, Vienna 20-22 Novembre 2002, c.s.

VALENTI M. 1998, *La gestione informatica del dato; percorsi ed evoluzioni nell'attività della cattedra di Archeologia Medievale del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti-Sezione Archeologica dell'Università di Siena*, «Archeologia e Calcolatori», IX, pp. 305-329.

FIGURE

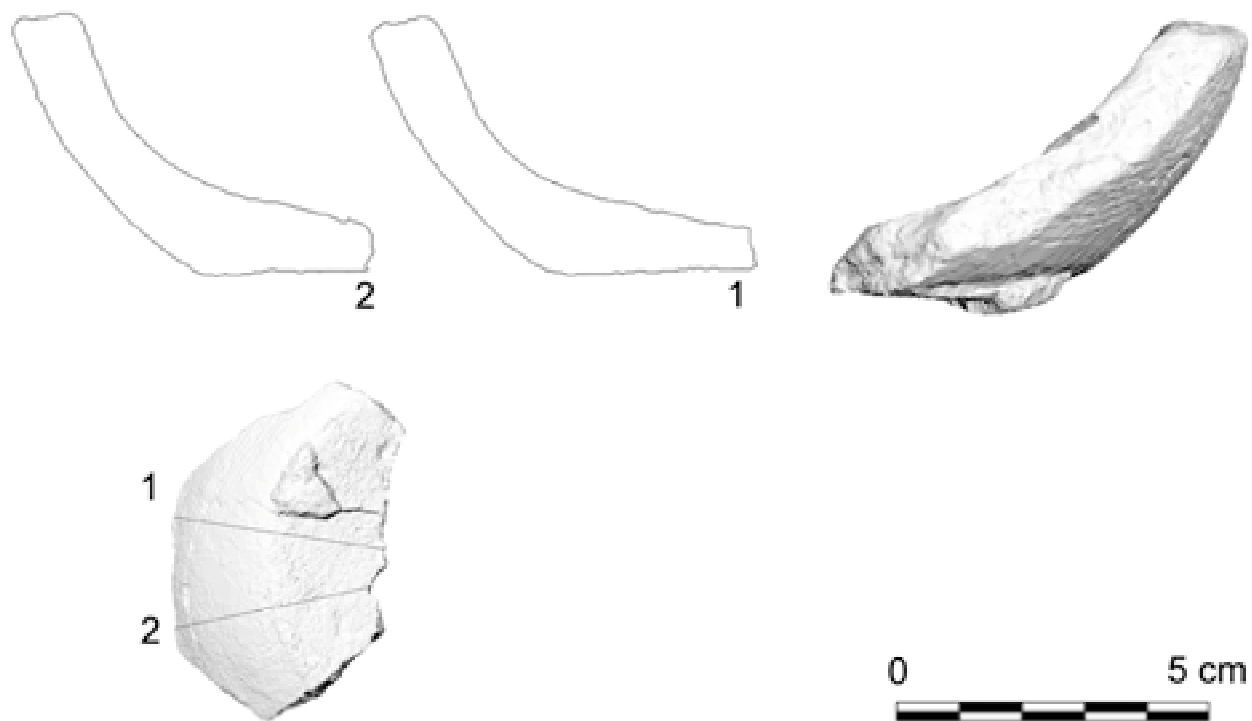


Fig. 1 – Poggio Imperiale. Acroma grezza, Tegame.

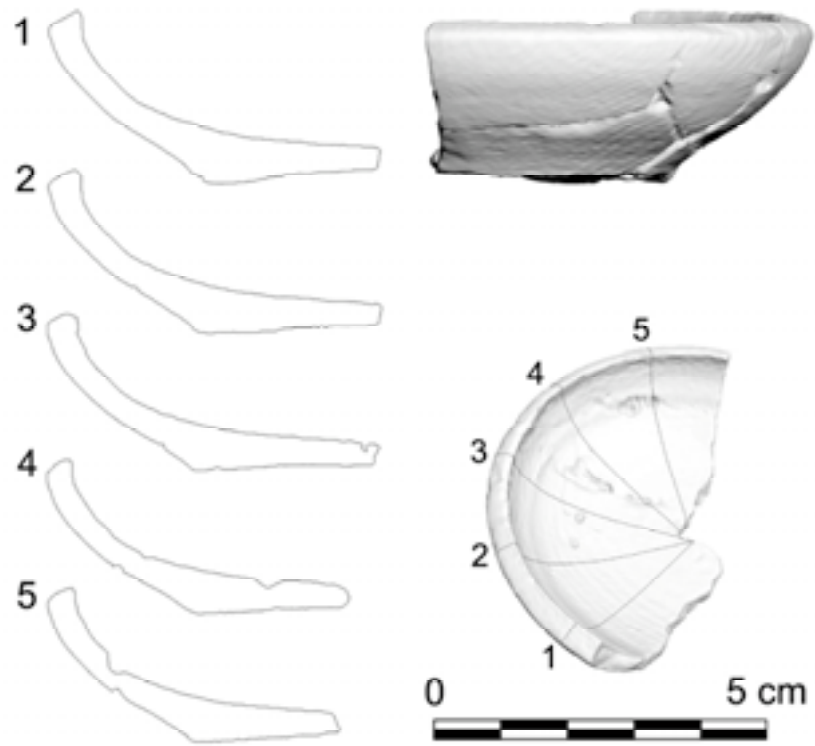


Fig. 2 – Poggio Imperiale. Acroma grezza, Tegame.

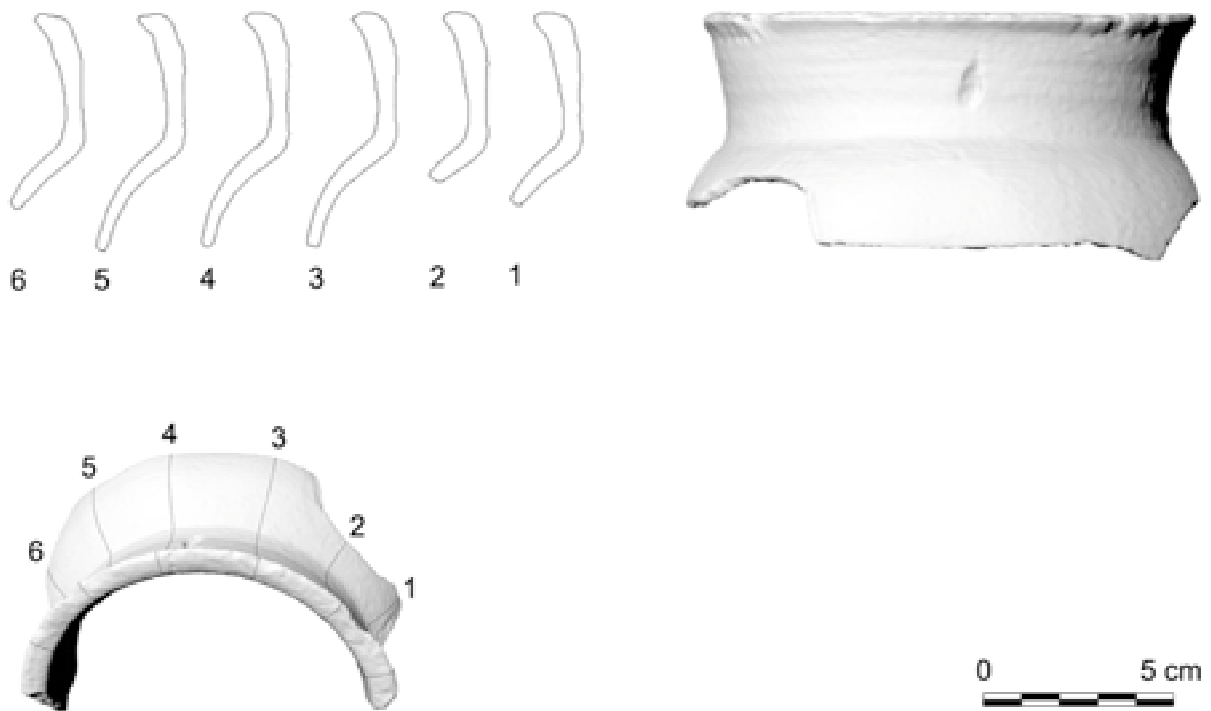


Fig. 3 – Poggio Imperiale. Acroma grezza, Olla.

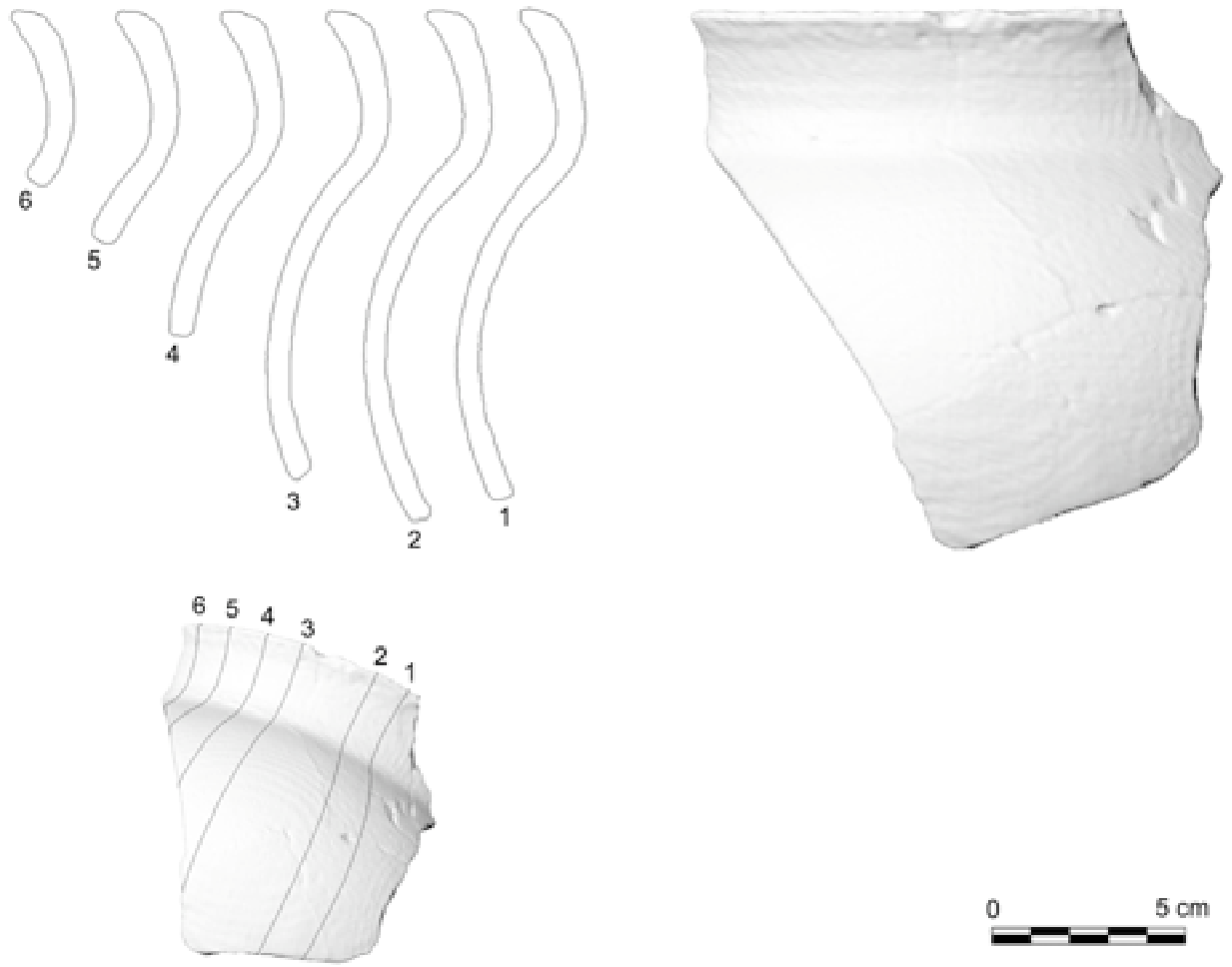


Fig. 4 – Poggio Imperiale. Acroma grezza, Olla.

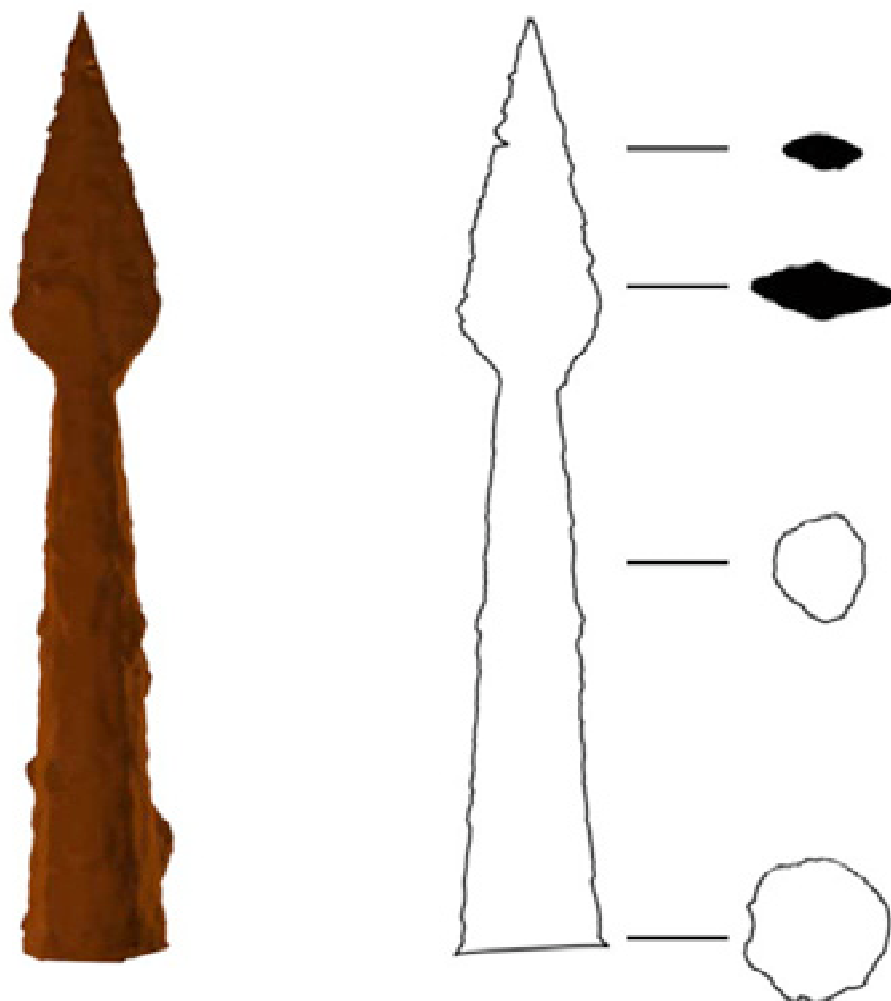


Fig. 5 - Castello di Miranduolo. Punta di lancia.



Fig. 6 - Convento del Carmine. Raddrizzamento dei motivi decorativi, geometrici, vegetali, zoomorfi e araldici, presenti sulle maioliche senesi.