

ARCHEOMATICA



PROCESSI DI ANALISI DELLA FORMA: PALAZZO TE A MANTOVA

LA RICERCA STORICO-ARCHITETTONICA NEL CONTESTO DEL PIANO DIAGNOSTICO

POMPEI ED ERCOLANO SOTTO UNA NUOVA LUCE

L'EBE DI CANOVA: MODELLO DIGITALE E SVILUPPI APPLICATIVI - SECONDA PARTE

WIKIPEDIA E WEB 2.0: PRODIGI E LIMITI DELLA CONOSCENZA CONDIVISA



In copertina un'immagine della Camera delle Cariatidi Palazzo Te a Mantova. La scansione della camera è stata effettuata con un laser scanner Leica HDS6000, con integrazione del dato di colore.

OPINIONI

6 Tecnologia e Beni Culturali DI CARLO AMADORI

DOCUMENTAZIONE

8 Processi di Analisi della Forma: Superfici Digitali a Confronto nel Processo della Conservazione DI L. FREGONESE, L. TAFFURELLI, F. FASSI



14 L'Information Technology per i Paesi e i Siti storici abbandonati

DI ANTONINO SAGGIO



20 La Ricerca Storico-Architettonica nel contesto del piano diagnostico

DI P. GATTUSO, C. GATTUSO, G. M. CRISCI



26 Documentazione e Modellazione 3D dei Beni Culturali - L'approccio Multi-sensoriale e Multi-risoluzione DI FABIO REMONDINO



RIVELAZIONI



30 Illuminare i Siti Archeologici: Progettazioni, Sperimentazioni e Installazioni a Pompei ed Ercolano DI ALESSANDRO GRASSIA

RESTAURO

40 L'Ebe di Canova: Modello digitale e Sviluppi applicativi - *Seconda parte*

DI F. DE CRESCENZIO, M. FANTINI, F. PERSIANI, V. VIRGILLI, N. SANTOPUOLI, L. SECCIA



L'EBE DI CANOVA: MODELLO DIGITALE E SVILUPPI APPLICATIVI

SECONDA PARTE

di Francesca De Crescenzo, Massimiliano Fantini, Franco Persiani,
Valentina Virgilli, Nicola Santopuoli, Leonardo Seccia

In questo contributo sono descritti i principali aspetti di un articolato progetto di ricerca portato avanti dai laboratori CAILab e V-lab della Seconda Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Il progetto, tuttora in fase di sviluppo, è basato sul rilievo tridimensionale ad alta precisione, mediante diverse tecnologie a scansione laser, di una scultura di Antonio Canova, l'*Ebe* conservata a Forlì.

Nella prima parte dell'articolo - pubblicata sul *Numero zero* di *Archeomatica* - ci siamo occupati della fase di rilievo, mentre ora verranno affrontati gli sviluppi applicativi.



Figura 1 - Modello digitale 3D dell'Ebe di Canova da tre punti di vista.

Se da un lato il modello digitale dell'*Ebe* rappresenta l'*output* del processo di scansione e ricostruzione 3D (figura 1), è bene anche sottolineare come questo non debba diventare l'unico risultato di un progetto. Il modello digitale di un'opera è, infatti, anche il punto di partenza per una serie di sviluppi applicativi volti alla conoscenza, alla conservazione, al restauro ed alla valorizzazione dell'opera stessa.

Come già ricordato, in questo lavoro vengono descritti i contributi che CAI Lab e V-lab hanno portato in occasione della mostra su Canova, allestita a Forlì presso i Musei San Domenico, che ha rappresentato uno dei più importanti eventi culturali proposti in Italia nel 2009. Accanto all'esposizione delle numerose opere scultoree e pittoriche si è pensato di impiegare tecnologie contemporanee (descritte nei prossimi due paragrafi seguenti) per la valorizzazione in particolare della scultura simbolo della mostra: l'*Ebe* di Forlì.

Infine, sono brevemente esposti i primi risultati di uno studio sulle caratteristiche statiche della statua tuttora in corso.

VISUALIZZAZIONE TRIDIMENSIONALE DELL'EBE DIGITALE

Al fine di valorizzare le capacità scultoree di Canova è stato installato, presso una delle sale del piano terra del Complesso Museale, un Teatro Virtuale dove i visitatori hanno potuto osservare, indossando occhiali polarizzati, una sequenza di animazioni tridimensionali dell'*Ebe* digitale (figura 2).

Il percorso dell'*Ebe* è stato costruito in modo da esaltare alcune prospettive negate a chi guarda la statua nelle sale espositive al primo piano, come, ad esempio, osservare da vicino i particolari della capigliatura, ammirare l'ingrandimento del panneggio o, ancora, avere una inconsueta vista dell'opera dall'alto. Inoltre, in questo sistema non è più il visitatore a muoversi intorno all'*Ebe*, bensì è l'opera che prende vita compiendo una serie di evoluzioni che la proiettano nello spazio seguendo i movimenti suggeriti dallo scultore nella figura dell'*Ebe*, che appare volare eterea. La sequenza ha infatti inizio con l'*Ebe* che virtualmente compare dall'alto e delicatamente raggiunge il centro dello schermo. A questo punto compare il modello digitale del tronco che la supporta, cosicché nella prima fase l'*Ebe* virtuale si muove libera dal basamento.

L'animazione di un'altra scultura del Canova, non presente in mostra perché non prelevabile dal suo sito, segue quella dell'*Ebe* e conclude il ciclo a ripetizione. Si tratta della già citata stele funeraria in memoria di Domenico Manzoni, che è stata rilevata mediante laser scanner *Konica Minolta Vivid 9i* e ricostruita tridimensionalmente. Si intuisce che in questo modo viene offerta agli utenti la possibilità di godere di un'ulteriore opera non presente in mostra se non nella sua forma virtuale. La sequenza dura in tutto quattro minuti circa.

Il sistema installato sfrutta la polarizzazione lineare dei filtri posti sulle lenti di due videoproiettori selezionando i due punti di vista generati al computer per produrre l'effetto stereoscopico. Le due immagini proiettate su uno schermo grigio non depolarizzante di dimensioni 2.5x2 m, vengono nuovamente filtrate dagli occhiali polarizzati indossati dai visitatori.

Il risultato di questo processo è la resa tridimensionale dell'animazione con la percezione della profondità dei modelli digitali proposti: aspetto di particolare rilievo quando si osserva un'opera scultorea.

La sala può contenere circa quindici persone sedute e ciascun utente, prelevando gli occhiali all'ingresso, è autonomo nella fruizione del filmato 3D come in un'installazione video tradizionale.



Figura 2 - Teatro Virtuale installato presso i Musei San Domenico in occasione della mostra "Canova. L'ideale classico tra scultura e pittura". L'immagine sullo schermo appare sdoppiata in quanto sono contemporaneamente visibili le due immagini proiettate dell'*Ebe*. (Foto: Ignazio Raso).

REALIZZAZIONE FISICA DI PARTI DELL'OPERA

Sempre in occasione della mostra su Antonio Canova, sono stati realizzati alcuni modelli fisici di parti significative dell'*Ebe* ed esposti presso una delle sale al piano terra del complesso museale. In particolare, sono stati riprodotti in scala 1:1 la testa ed il piede destro dell'opera canoviana attraverso un processo di *prototipazione rapida*. Per questa operazione è stata utilizzata una stampante tridimensionale *Dimension SST (Soluble Support Technology)*, basata su tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*). Questo processo costruttivo sfrutta l'addizione di successivi strati di materiale termoplastico (ABS) di spessore di 0.254 mm. Inoltre, il sistema è dotato di una stazione di lavaggio per l'eliminazione del supporto solubile che viene depositato durante la fase di lavoro per sostenere le parti in costruzione. Entrambi i modelli sono stati realizzati in una versione alleggerita, cioè con una struttura interna a nido d'ape, al fine di ottenere un risparmio sui costi del materiale e sui tempi di realizzazione. Il volume di lavoro massimo della stampante 3D (203x203x305 mm) ha permesso la stampa del piede destro in un unico pezzo. Per quanto riguarda la testa è stato invece necessario suddividere il modello digitale in due parti. Questa operazione è stata condotta in accordo alla morfologia dell'opera, seguendo l'andamento della fascetta che cinge i capelli, in modo da nascondere la discontinuità del modello fisico finale ottenuto dall'unione delle due parti prototipate. Inoltre, ad entrambi i modelli è stata aggiunta una base di appoggio e, dopo aver verificato l'assenza di fori o di facce triangolari degeneri, sono stati esportati in formato STL, tipico formato di interscambio tra sistemi CAD (*Computer Aided Design*) e sistemi di prototipazione rapida (figura 3).

La possibilità di passare semplicemente da un modello digitale di forma complessa - come nel caso di opere scultoree - ad un modello fisico, permette diverse applicazioni nel campo dei Beni Culturali.

Per motivi di sicurezza - o quando occorre proteggere un'opera esposta al degrado a causa di agenti atmosferici o inquinanti - l'originale può essere musealizzato e sostituito dalla sua copia. Copie di opere d'arte, realizzate in diverse scale, possono essere impiegate per fini promozionali o commerciali, o essere destinate all'esposizione, temporanea o permanente, in mostre e musei. Un modello fisico può essere anche un valido supporto per la conoscenza e la divulgazione di opere d'arte nei confronti di persone non vedenti o ipovedenti, cui viene data la possibilità di toccare la copia senza nessuna preoccupazione legata all'eventuale degrado.



Figura 3 - A sinistra: modello digitale del piede destro e modello fisico prima dell'operazione di lavaggio (è visibile il materiale scuro di supporto depositato durante il processo di stampa). A destra: suddivisione del modello digitale della testa (seguendo l'andamento della fascetta che cinge i capelli) e modello fisico esposto presso i Musei San Domenico.

Nel caso di reperti di elevato valore, la copia realizzata può essere utilizzata per la progettazione dell'imballaggio più idoneo per il trasporto dell'opera nelle condizioni di massima sicurezza. Infine - nel campo del restauro - le copie possono essere utilizzate per testare e validare un intervento conservativo prima di intervenire direttamente sull'opera, oppure possono essere realizzate le parti mancanti o gravemente danneggiate di una scultura.

STUDIO SULLE CARATTERISTICHE STATICHE

Lo studio delle problematiche statiche di un manufatto è un'operazione complessa, che va sempre suddivisa in varie parti: inizialmente, occorre un completo esame della situazione attuale del bene oggetto di studio (anche attraverso indagini strumentali), sempre però alla luce della sua storia attentamente ricostruita. In questo modo, è normalmente possibile arrivare ad una prima valutazione diagnostica (ad esempio, perché certe lesioni si concentrano solo in alcune zone) che l'analisi strutturale eseguita con metodi numerici potrà confermare o mettere in discussione, suggerendo approfondimenti o eventualmente nuove ipotesi. In ogni caso, occorre ricordare che un modello numerico, anche se apparentemente ben costruito, è sempre una semplificazione di una situazione reale molto più complessa (si pensi, ad esempio, al problema di come rappresentare la variazione delle caratteristiche meccaniche del marmo di una statua dalla superficie alle regioni interne), per cui i risultati andranno attentamente considerati e validati, evitando di accettarli in modo acritico.

In questa sede vengono riassunti alcuni risultati preliminari ottenuti dall'analisi FEM (*Finite Element Method*) volta a caratterizzare, da un punto di vista quantitativo, il comportamento strutturale dell'*Ebe*.

Al fine di ridurre il costo computazionale, il modello digitale dell'*Ebe*, ottenuto dall'elaborazione dei dati derivanti dalla semplificato costituito dalla mesh superficiale è stato quindi importato e rielaborato nel modellatore FEM per crearne il corrispondente modello solido. Sono state quindi eseguite, attraverso un codice di calcolo ben conosciuto in ambito scientifico (*Nastran*), le analisi strutturali per valutare lo stato tensionale in funzione dei carichi dovuti alla forza peso (figura 4). Dall'analisi dei primi risultati è emerso, come era prevedibile, che nelle caviglie della statua (dove le sezioni sono minori) si concentrano gli sforzi maggiori. In particolare, si può notare il comportamento del piede destro, il cui tallone appare scarico e circondato da una zona nella quale gli stress crescono (questa situazione presenta interessanti analogie con l'analisi a vista della superficie marmorea). Si può infine evidenziare come anche il tronco d'albero su cui poggia la statua assolve un ruolo fondamentale dal punto di vista statico, avvalorando quantitativamente le conoscenze pratiche di scultori esperti come Canova.

CONCLUSIONI

In conclusione, con il progetto di ricerca descritto in questo contributo è stato realizzato un rilievo morfometrico completo dell'*Ebe forlivese* di Canova, che crediamo debba costituire un

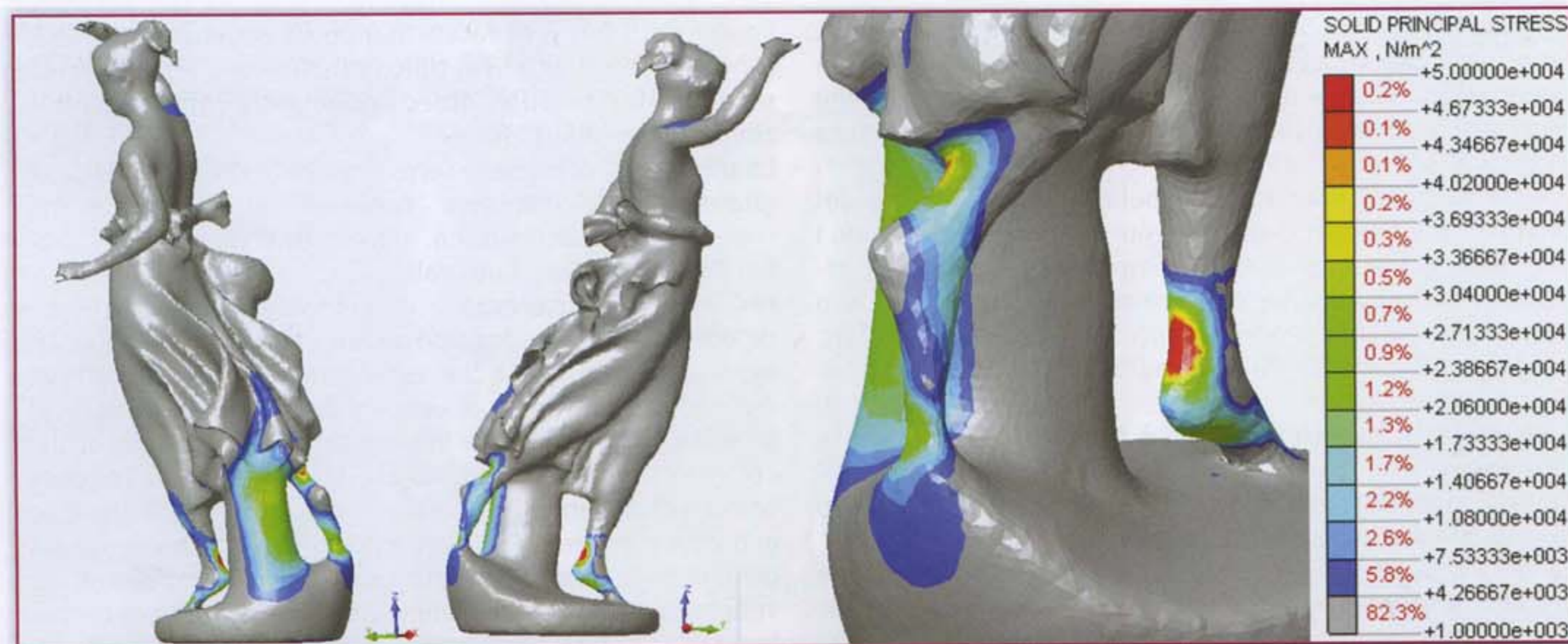


Figura 4 - Andamento degli stress massimi principali della statua e particolare delle caviglie.

punto di partenza importante per le valutazioni sugli aspetti storico-artistici e conservativi, le indagini sulla statica, i futuri monitoraggi e la valorizzazione.

Attualmente, si sta approfondendo lo studio sulle caratteristiche statiche della statua (ad esempio, variando l'inclinazione dell'opera per analizzare come cambia la distribuzione delle tensioni), anche in vista della sua collocazione definitiva all'interno del nuovo complesso museale di San Domenico o di eventuali altri spostamenti. Contemporaneamente, è iniziato lo studio su come migliorare la precisione e l'accuratezza dei dati 3D mediante l'analisi degli errori che si commettono in fase di acquisizione, particolarmente evidenti per superfici marmoree. Inoltre, si sta studiando un nuovo sviluppo del progetto di ricerca per integrare il dato di superficie già rilevato con informazioni ottenute mediante una serie controllata di indagini radiografiche.

Infine, stimolati dalla suggestione trasmessa dall'allestimento temporaneo della mostra, che raccoglie pezzi di straordinario valore in una probabilmente irripetibile sovrapposizione spaziale e temporale, è stato proposto - sfruttando in modo integrato sistemi di scansione laser sia a triangolazione ottica che a tempo di volo - di conservare integralmente la *memoria geometrica* almeno di una delle sale, ad esempio di quella con le statue dell'*Ebe forlivese* e di S. Pietroburgo. In questo modo, grazie al Teatro Virtuale, che dovrebbe diventare un allestimento stabile all'interno del museo, si potrà consentire anche in futuro l'esperienza di un rapporto diretto con la straordinaria *ricchezza spaziale* di questa mostra, che così potrà diventare almeno in parte un *museo virtuale* permanente, continuando ad affascinare nel tempo altri visitatori.

RIFERIMENTI

- S. A. Curuni, N. Santopuoli, 2007, *Pompei, Via dell'Abbondanza. Ricerche, restauri e nuove tecnologie*, Edizioni Skira, Milano.
- F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, N. Santopuoli, L. Seccia, V. Virgilli, 2008, *Monitoring of the conservation state of the internal wall surfaces of Room with Golden Vault in the Domus Aurea*, in *Proceedings of the International Workshop - In Situ Monitoring of Monumental Surfaces*, Florence, 27-29 ottobre 2008, pp. 77-86.
- S. Androsov, F. Mazzocca, A. Paolucci (a cura di), 2009, *CANOVA. L'ideale classico tra scultura e pittura*, Silvana Editoriale, Milano.
- M. Balzani, M. Fabbri, F. Persiani, L. Seccia, F. De Crescenzo, M. Fantini, V. Virgilli, 2007, *L'Ebe di Antonio Canova nella Pinacoteca Civica di Forlì: studio di fattibilità per l'applicazione di tecnologie avanzate di rilievo, prototipazione e realtà virtuale*. In "Restauro. Economia della Cultura - Salone dell'Arte del Restauro e della Conservazione dei Beni Culturali e Ambientali", Catalogo della Fiera del Restauro di Ferrara 2007, 22-25 marzo 2007, Acropoli s.r.l., Bologna, pp. 222-226.
- R. Scopigno, 2005, *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*. *Laser Scanner e GPS: Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali*, 4, pp. 41-68.
- C. Cassani, 2008, *Strumenti per una nuova tecnologia per il rilevamento architettonico ed archeologico*, in "Il cantiere della conoscenza, Metodologie e strumenti per la conservazione ed il restauro", a cura di R. A. Genovese, Arte Tipografica Editrice, pp. 155-167.
- L. Martini, 2008, *Storia e teoria del restauro delle opere d'arte* a cura di N. Santopuoli, Felici Editore, Pisa.
- S. Bracci, F. Falletti, M. Matteini, R. Scopigno (a cura di), 2004, *Exploring David. Diagnostic tests and state of conservation*, Giunti, Firenze.
- A. Borri (a cura di), 2005, *La stabilità delle grandi statue: il David di Michelangelo*, DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile, Roma.

NOTE

1. In questa sede presentiamo soltanto alcuni risultati sulla distribuzione degli stress massimi principali, particolarmente utili quando si studia un materiale fragile.
2. La scansione dell'Ebe di San Pietroburgo si svolgerà in collaborazione con la società Protesa SpA di Imola, appartenente al gruppo Sacmi.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano in modo particolare:

Avv. Pier Giuseppe Dolcini (Presidente della Fondazione Cassa dei Risparmi di Forlì), Dr. Gianfranco Brunelli (Coordinatore generale della Mostra su Canova), Dr.ssa Luciana Prati (Dirigente Pinacoteca Civica, Servizi Pinacoteca e Musei, Comune di Forlì), Prof. Marcello Balzani (Responsabile Scientifico e Direttore del DIAPReM, Università di Ferrara), Ing. Cesare Cassani, Dr. Anthony Vianna (Leica Geosystems/Hexagon Metrology), Dr. Renato Figini, Sig. Daniele Molina (Konica Minolta Sensing Europe B.V. Italy Branch Office).

ABSTRACT

Canova's Ebe: digital model and application developments - 2nd part
In this paper the main aspects of a complex research project, performed by the CAILab and V-lab laboratories of the Second Engineering Faculty of the Bologna University, are described. This project is being developed exploiting some different laser scanning technologies, with the goal to obtain a 3D survey of the sculpture called Ebe of Antonio Canova that is conserved in Forlì.

AUTORI

FRANCESCA DE CRESCENZO
MASSIMILIANO FANTINI
FRANCO PERSIANI
VALENTINA VIRGILLI
II FACOLTÀ DI INGEGNERIA, CAILAB, UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

NICOLA SANTOPUOLI
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA VALLE GIULIA, SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

LEONARDO SECCIA
SECCIA@CIRAM.UNIBO.IT
II FACOLTÀ DI INGEGNERIA, CAILAB E CIRAM, UNIVERSITÀ DI BOLOGNA