

INTEGRAZIONE DI METODOLOGIE DI RILIEVO TERRESTRE AD ALTA RISOLUZIONE PER IL RILIEVO DI FOSSILI

Massimo FABRIS, Vladimiro ACHILLI, Ginevra BOATTO,
Denis BRAGAGNOLO, Andrea MENIN

Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR – Università di Padova,
via Marzolo, 9 – 35131 Padova, Tel.: 049 827 1614, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

Riassunto

Nell'ambito del restauro di piccoli oggetti o di caratteristiche minute (come, ad esempio, fessurazioni) di elementi di dimensioni medio-grandi, è necessario utilizzare sistemi di rilievo 3D ad alta risoluzione per la corretta definizione delle caratteristiche geometriche.

In questo lavoro sono state utilizzate metodologie integrate *laser scanning*, fotogrammetriche digitali terrestri e topografiche classiche per il rilievo tridimensionale di fossili vegetali e animali con lo scopo del restauro conservativo: le nuvole di punti estratte dalle diverse metodiche sono state confrontate per valutare precisioni e limiti di applicabilità delle stesse. I prodotti ottenuti sono stati successivamente utilizzati nella fase di restauro.

Abstract

Restoration of smaller fragments (i.e. from slits) of middle-size and large objects require high resolution 3D survey systems for the correct definition of geometrical features.

In this work, integrated methodologies as terrestrial laser scanning, digital photogrammetry and classical topography were used for the 3D survey of plant and animal fossils with the aim of conservation: the point clouds extracted from the different methodologies were compared in order to provide a precision analysis and to evaluate the application limits. Resulting products were subsequently used during restoration phase.

Introduzione

Le metodologie di rilievo terrestre ad alta risoluzione, quali la fotogrammetria digitale ed il *laser scanning*, vengono applicate per il rilievo 3D anche nei settori archeologico e dei beni culturali con finalità conoscitive e di catalogazione, ma anche per recupero e conservazione di oggetti (Bitelli et al., 2002; Peloso, 2005; Fabris et al., 2007a); i differenti approcci, che forniscono nuvole di punti 3D, sono caratterizzati non solo da differenti procedure operative di acquisizione, ma anche da precisioni e risoluzioni diverse (Boehler et al., 2003; Schulz, Ingensand, 2004; Staiger, 2005).

In questo lavoro vengono descritte e analizzate le fasi relative al rilievo e all'elaborazione dei dati di tre fossili vegetali e un fossile animale dell'Era Terziaria (Eocene Medio, circa **50 milioni di anni fa**) utilizzando metodologie integrate *laser scanning*, fotogrammetriche e topografiche classiche; i fossili in oggetto sono presenti presso il museo di Geologia e Paleontologia del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova e provengono dal sito di Bolca (Verona); lo scopo del rilievo era quello del restauro dei blocchi rocciosi che li contengono: presentavano infatti evidenti fratture e fessurazioni, in parte minute e reticolari, che ne compromettevano gravemente l'integrità. Le fratture e le fessurazioni più grandi erano dovute alle vibrazioni correlate con ogni probabilità all'intenso traffico automobilistico della zona; le minute fessurazioni reticolari erano invece imputabili alle variazioni dimensionali della matrice rocciosa, correlate alle variazioni di temperatura e umidità relativa.

Il rilievo dei fossili

L'acquisizione 3D delle caratteristiche geometriche dei fossili, ancorati alla muratura, è stata effettuata utilizzando Z-Scan, strumento che fornisce nuvole di punti 3D da triplette di immagini, e il *laser scanner* a triangolazione Konica Minolta Vivid 910 (Boatto, Fabris, 2008).

Per i tre fossili vegetali, presenti su lastre affiancate di dimensioni circa 2.5 m in altezza, 0.8 m larghezza e 0.1 m di spessore, sono stati misurati anche punti naturali mediante l'utilizzo della stazione integrata Leica TC 2003: con intersezioni in avanti multiple, in un sistema di riferimento locale, sono state ottenute le coordinate di 60 punti, 20 per ogni lastra.

L'acquisizione delle triplette di immagini con Z-Scan è stata effettuata con la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds Mark II da 16.7 Megapixel con obiettivo di focale di 28 mm: operativamente, le prese sono state effettuate ad una distanza dall'oggetto di circa 1.5 m e mantenendo il più possibile la perpendicolarità tra l'asse della camera e le lastre, ottenendo una dimensione del *pixel* sulla parete di circa 0.4 mm; le strisciate più alte sono state realizzate per mezzo di opportune piattaforme. Complessivamente sono state acquisite 6 triplette con sovrapposizioni di circa il 40-50% su 3 strisciate.

Il rilievo mediante l'utilizzo del *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910 è stato effettuato nelle stesse condizioni (distanza strumento-parete di circa 1.5 m e spostando in altezza il *laser scanner* per l'acquisizione delle strisciate più alte) utilizzando una lente di focale 14.5 mm: in questo caso sono state ottenute nuvole di punti con risoluzione di 0.8 mm effettuando 42 scansioni su 7 strisciate (sovrapposizione longitudinale e trasversale, tra strisciate successive, di circa il 40-50%).

Il rilievo del fossile animale (un pesce "*Platax subvespertilio*") è stato effettuato analogamente a quanto descritto precedentemente: in questo caso le due lastre rocciose, che identificano lo stesso fossile, presentavano dimensioni più contenute, circa 0.4 m di larghezza e 0.6 m di altezza. L'acquisizione delle triplette di immagini con Z-Scan è stata effettuata ad una distanza camera-oggetto di circa 0.9 m utilizzando la stessa camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds Mark II con un obiettivo di focale di 51 mm; in questo modo è stato possibile ottenere una dimensione del *pixel* sulla parete di circa 0.12 mm, acquisendo complessivamente 4 triplette con sovrapposizione del 40-50%.

Allo stesso modo il rilievo con il *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910 è stato effettuato ad una distanza strumento-oggetto di circa 0.9 m con una lente di focale 25 mm, acquisendo circa 40 scansioni per ogni lastra.

Elaborazione dei dati

Da ciascuna tripletta di immagini relative ai fossili vegetali sono state estratte nuvole di punti con risoluzione media di 1.6 mm mediante il software Z-Scan. Le 6 scansioni così ottenute sono state allineate utilizzando il software Z-Map©, sfruttando le zone di sovrapposizione tra le acquisizioni successive e applicando l'algoritmo ICP (*Interactive Closest Point*, Besl, McKay, 1992): il modello 3D finale è stato ottenuto con errore di mosaicatura massimo di 1.1 mm; quindi è stata effettuata la roto-traslazione nel sistema locale dei punti naturali (che presentano una precisione variabile nell'intervallo 0.01÷0.42 mm) utilizzando 12 dei 60 punti complessivamente misurati.

Il confronto tra il modello finale roto-traslato e i 48 punti naturali che non sono stati utilizzati per la georeferenziazione (*check point*) ha fornito differenze con media di -3.7 mm e deviazione standard di 9.8 mm.

Le nuvole di punti ottenute dal *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910 sono state allineate mediante il software PET© (*Polygon Editing Tool*) con errore massimo di mosaicatura di 0.5 mm.

Le scansioni sono state triangolate estraendo superfici *mesh* più facilmente gestibili, utilizzando il software RapidForm2004©. Successivamente, i due modelli sono stati tra loro allineati, roto-traslando il modello ottenuto con il *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910 sul modello ottenuto con Z-Scan, georeferenziato nel sistema di riferimento dei punti naturali d'appoggio.

L'operazione è stata realizzata nell'ambiente *RapidForm2004*© avvicinando i due modelli su punti omologhi e applicando l'algoritmo ICP per la co-registrazione raffinata: in questo caso è stato ottenuto un errore medio pari a circa 6 mm.

Con riferimento ad una porzione limitata (area A di figura 1) è stato effettuato il confronto diretto tra le due nuvole di punti producendo la mappa delle differenze.

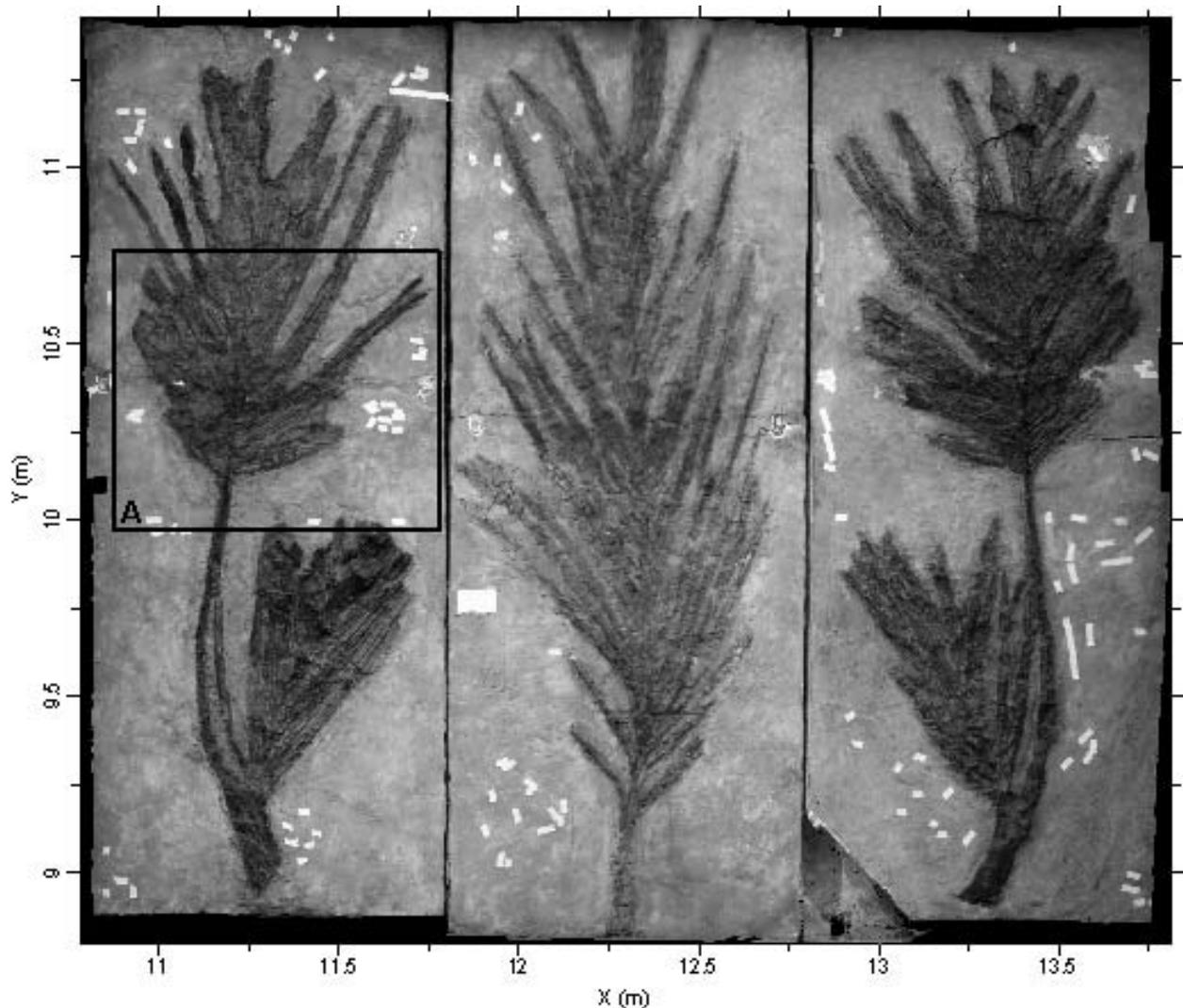


Figura 1 – Ortofoto dei tre fossili vegetali ottenuta dalle nuvole di punti Z-Scan e mediante il software Z-Map©

In figura 2 viene riportata la rappresentazione in *shaded relief* della scansione ottenuta con Z-Scan (a) e di quella generata dal *laser scanner* a triangolazione (b): si nota come i dati ottenuti con il Konica Minolta Vivid 910 appaiano più rappresentativi della reale morfologia dell'oggetto, descrivendo accuratamente i tratti più acuminati dei pannelli, a differenza dei dati Z-Scan che si presentano più "smussati". La mappa delle differenze dei due *dataset* risulta influenzata ancora da piccoli errori di co-registrazione, non completamente eliminati (figura 2c).

Dalle acquisizioni Z-Scan relative al pesce fossile, sono state estratte due nuvole di punti per entrambe le lastre con risoluzione media di 0.5 mm. Ciascuna coppia di ogni porzione è stata allineata con il software *Z-Map*© applicando l'algoritmo ICP per una co-registrazione raffinata: è stato così possibile ottenere il modello finale 3D delle due lastre (figura 3) e le corrispondenti ortofoto (figura 4).

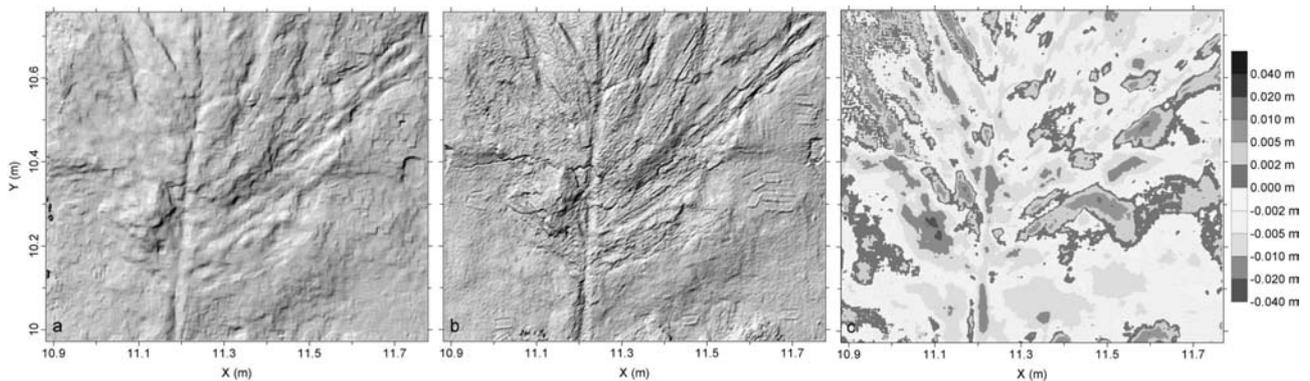


Figura 2 – Rappresentazione in shaded relief della nuvola di punti Z-Scan (a) e di quella ottenuta con il laser scanner a triangolazione Konica Minolta Vivid 910 (b).
Mappa delle differenze tra i due dataset (c)

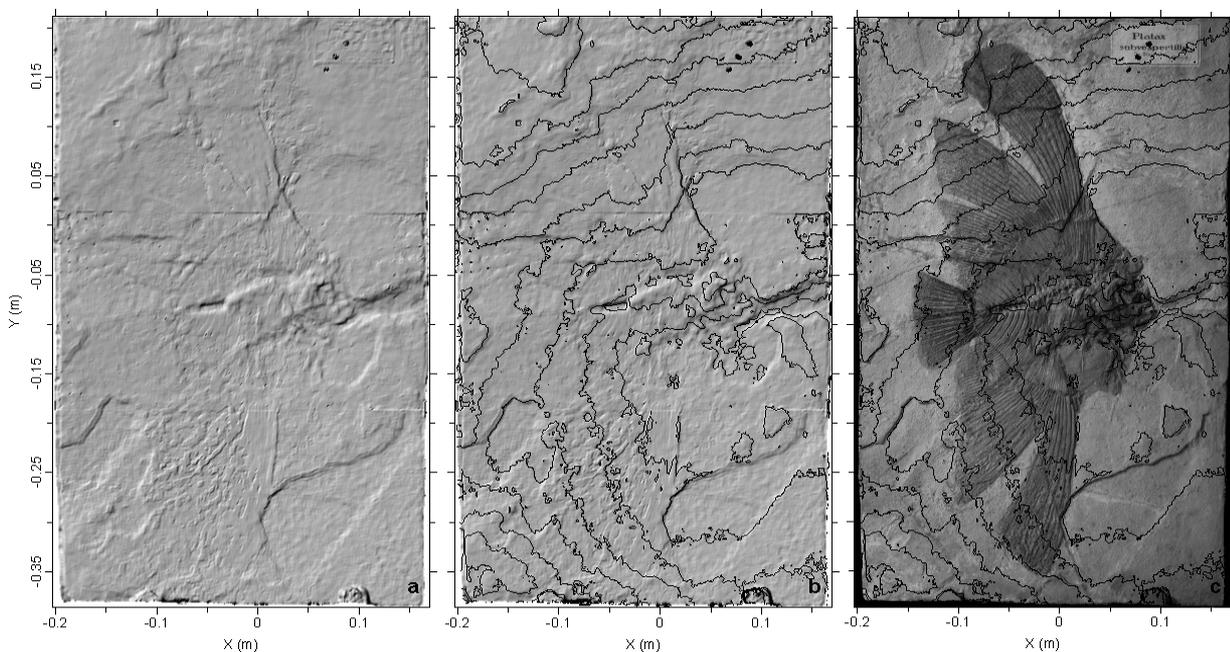


Figura 3 – Rappresentazione del modello finale 3D di una lastra del pesce fossile (a) sovrapposta alle curve di livello (b) e alla relativa ortofoto (c) (Z-Scan)

L'allineamento delle nuvole di punti ottenute con il *laser scanner* Konica Minolta Vivid 910 e relative sempre al pesce fossile, è stato effettuato con il software PET con errore massimo di mosaicatura di 0.1 mm.

Anche in questo caso, analogamente a quanto visto precedentemente, è stata effettuata un'ulteriore co-registrazione, per ciascuna lastra, tra le nuvole di punti ottenute da Z-Scan e quelle estratte mediante il *laser scanner* a triangolazione.

L'allineamento, realizzato con il software *RapidForm2004*©, ha permesso di sovrapporre i due *dataset* con errore medio di circa 7 mm per la prima lastra e 8 mm per la seconda, ottenendo le rispettive mappe differenza (figura 5).

Si osserva come le differenze siano piuttosto basse nella parte centrale delle mappe mentre aumentano considerevolmente ai bordi, soprattutto nelle estremità superiori e inferiori.

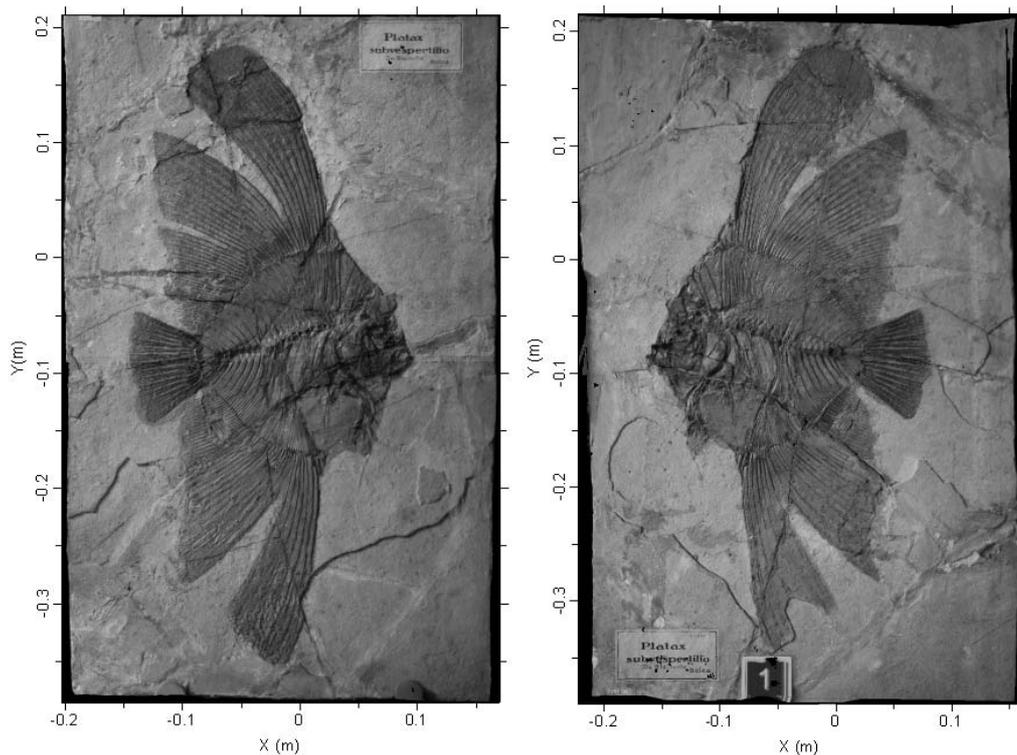


Figura 4 – Ortofoto delle due lastre che contengono il fossile animale ottenute dalle nuvole di punti Z-Scan e mediante il software Z-Map

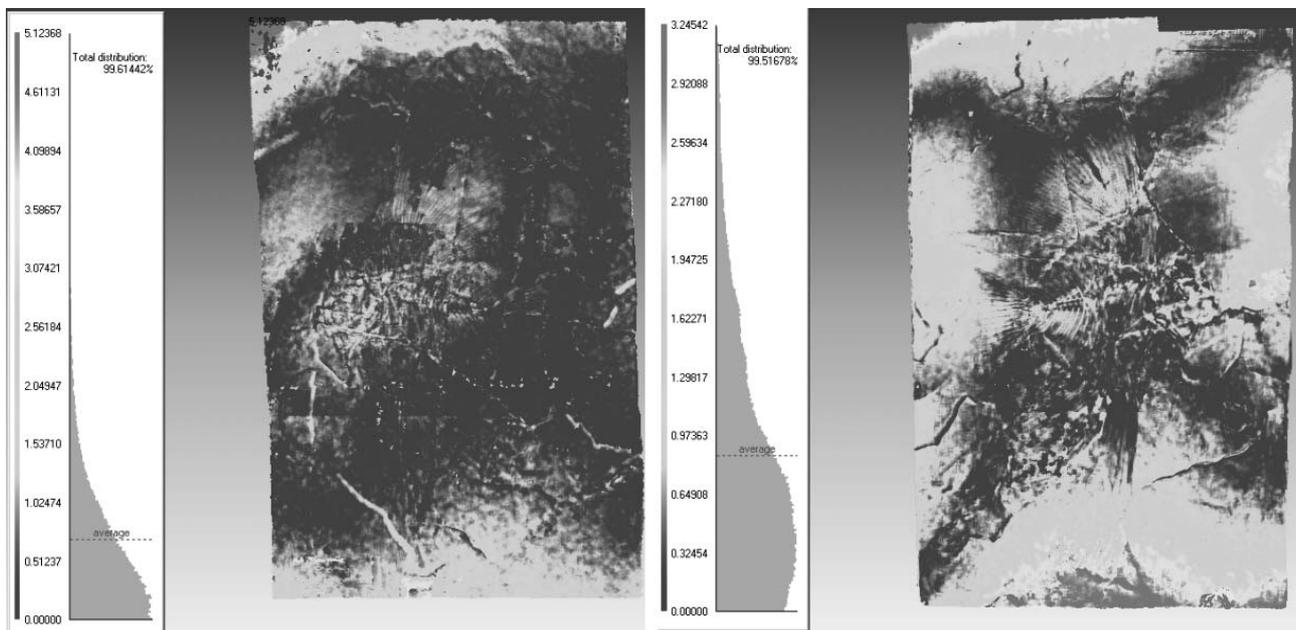


Figura 5 – Mappe delle differenze ottenute dal confronto dei dataset estratti per ciascuna lastra del pesce fossile

Questo può essere dovuto a problemi di allineamento per la presenza di errori non completamente eliminati, oppure al manifestarsi di distorsioni nell'acquisizione con il *laser scanner* a triangolazione Konica Minolta Vivid 910 come evidenziato in situazioni confrontabili (Fabris et al., 2007b).

Conclusioni

Nel lavoro sono state utilizzate metodologie di rilievo terrestre 3D ad alta risoluzione per il rilievo di fossili: sono state acquisite immagini con Z-Scan e nuvole di punti con il *laser scanner* a triangolazione Konica Minolta Vivid 910 di tre fossili vegetali ed un fossile animale con lo scopo di produrre modelli tridimensionali utili nella fase di restauro conservativo.

Il confronto tra il modello dei fossili vegetali, ottenuto con Z-Scan ed estratto da ogni singola tripletta di immagini acquisite, e le coordinate di 48 punti naturali misurate con la stazione integrata Leica TC 2003 in un sistema di riferimento locale ha fornito valori delle differenze piuttosto elevati. Anche il confronto tra i dati Z-Scan e le nuvole di punti ottenute con il *laser scanner* a triangolazione, caratterizzate da risoluzioni comparabili, hanno fornito valori delle differenze di qualche millimetro, precisione superiore a quella delle singole metodologie.

In particolare, sono state evidenziate problematiche dovute ad una imperfetta co-registrazione dei singoli modelli: in questo senso, ulteriori *test* dovranno essere effettuati utilizzando differenti software e differenti procedure.

In ogni caso, i risultati ottenuti hanno confermato l'applicabilità delle metodologie di rilievo terrestre 3D ad alta risoluzione nel caso di acquisizioni di fossili; i prodotti ottenuti sono stati successivamente utilizzati nella fase di restauro, tuttora in corso.

Bibliografia

- Besl P., McKay N. (1992), "A method for registration of 3-D shapes", *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 14, 2: 239-256
- Bitelli G. (2002), "Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali", *Atti della 6^a Conferenza Nazionale ASITA*, 1: IX-XXIV
- Boatto G., Fabris M. (2008), "Rilievo 3D della Tensa Capitolina mediante metodologia laser scanning", in F. Ghedini, *Il carro dei Musei Capitolini. Epos e mito della società tardo antica*, 215-221
- Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A. (2003), "Investigating laser scanner accuracy", *Proceedings of the 19th CIPA Symposium*, Antalya, Turkey, 30 september – 4 october, 2003, http://www-group.slac.stanford.edu/met/Align/Laser_Scanner/laserscanner_accuracy.pdf
- Fabris M., Achilli V., Bragagnolo D., Menin A., Salemi G. (2007a), "Filling lacunas in terrestrial laser scanning data: the "Cavallo ligneo" of the "Palazzo della Ragione" (Padua, Italy)", *proceedings of the XXI International Symposium CIPA 2007*, October 1-6, 2007, Athens, Greece: 301-306
- Fabris M., Achilli V., Boatto G., Menin A., Salemi G. (2007b), "Analisi ed integrazione di differenti metodologie di rilievo, classiche, laser scanning e fotogrammetriche terrestri finalizzate al rilievo architettonico ad alta risoluzione", *Atti della 11^a Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 6 – 9 Novembre 2007, 1: 1045-1050
- Peloso D. (2005), "Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali", *Archeologia e Calcolatori*, 16: 199-224
- Schulz T., Ingensand H. (2004), "Influencing Variables, Precision and Accuracy of Terrestrial Laser Scanners", *Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying*, Bratislava, Slovakia, 11 – 13 November, 2004, http://www-group.slac.stanford.edu/met/Align/Laser_Scanner/SchulzT_TS2_Bratislava_2004.pdf
- Staiger R. (2005), "The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS)", *Proceedings of From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8*, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005, http://www.fig.net/pub/cairo/abstracts/ts_38/ts38_05_staiger_abs.pdf