

Integrazione di dati tridimensionali e campionamento del colore a fini di documentazione e visualizzazione interattiva

M. Callieri, P. Cignoni, F. Ganovelli, C. Montani, P. Pinci, R. Scopigno
Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Pisa, Italy

Le tecniche di visualizzazione grafica tridimensionale accoppiate alle più recenti metodiche per il rilievo delle caratteristiche di forma e colore aprono notevoli possibilità di analisi, studio e documentazione nel settore dei Beni Culturali. Come emerso dai precedenti contributi è oggi possibile campionare la superficie di un'opera d'arte in modo molto accurato e con una risoluzione spaziale molto alta (si parla in entrambi i casi di valori dell'ordine di pochi micron), ottenendo modelli tridimensionali estremamente fedeli all'originale (si veda il contributo di Fontana et al, pp.??). Il contributo di Marras et al. (titolo, pp. ??) ha mostrato come, oltre al rilievo digitale della superficie, sia possibile acquisire informazioni sulle modalità con cui la superficie stessa riflette la radiazione luminosa. In questa sezione vedremo come tale informazione possa essere integrata e fruita dallo studioso per mezzo di uno strumento di visualizzazione 3D.

Le strumentazioni per il rilievo della forma di un oggetto forniscono in genere matrici $n \times m$ di campioni (coordinate XYZ). Una singola ripresa può essere sufficiente per la digitalizzazione di una superficie pittorica di media o piccola estensione, mentre è necessario acquisire più riprese sia nel caso di grandi superfici che di oggetti a tutto tondo. Per questi ultimi è necessario elaborare le singole riprese al fine di comporle in un unico modello digitale 3D. A tale scopo occorre allineare tra loro le riprese, in modo da farle combaciare accuratamente nelle zone di sovrapposizione, e ricostruire una rappresentazione che sia l'unione non ridondante delle varie acquisizioni. Tale fase di elaborazione è in genere molto più dispendiosa in termini di tempo della fase di rilievo 3D e necessita di strumenti software appositi [a1].

Una volta ricostruito il modello digitale 3D dell'opera, le informazioni di colore o riflettanza della superficie potranno essere integrate al modello stesso. Esistono numerose metodiche per l'acquisizione del "colore" di una superficie, che vanno dalla ripresa con una semplice macchina fotografica digitale (*colore apparente*, dipendente dalle particolari condizioni di illuminazione al momento della ripresa), alla più sofisticata ripresa con apparecchiature ad hoc che permettono di acquisire la riflettanza su più bande (si veda il contributo di Marras et al.), fino a quelle metodiche che permettono di modellare correttamente il modo in cui la superficie riflette la radiazione luminosa incidente e che permettono quindi di acquisire la cosiddetta BRDF (funzione bidirezionale di riflettanza della superficie) [a2].

Qualunque sia la metodica di ripresa dell'informazione di colore, il collegamento di tale informazione alla geometria 3D può essere descritto in modo generale dalle seguenti sottofasi:

- Data una matrice $n \times m$ di valori campionati (ad es. una immagine RGB), occorre individuare i parametri caratteristici dello strumento di ripresa utilizzato (focale dell'obiettivo, eventuale deformazione radiale delle lenti) e quelli che caratterizzano la particolare vista da cui è stata ripresa tale immagine (posizione spaziale del punto centrale del piano immagine, direzione di vista, rotazione della camera sul piano immagine). La conoscenza di questi parametri permette di invertire la proiezione prospettica e di ri-proiettare l'informazione contenuta nell'immagine acquisita sulla superficie digitale. Fortunatamente, l'utente non deve misurare tali valori, ma questi possono essere calcolati dall'immagine stessa in modo semi-automatico. Una metodologia software [a3,a4] permette infatti, noto un accurato modello 3D

dell'opera ripresa, di calcolare i parametri che caratterizzano l'immagine per mezzo della semplice selezione di una serie di coppie di punti corrispondenti (nell'immagine e sul modello 3D).

- Una volta noto il modo in cui ogni immagine proietta sul modello 3D, occorre integrare tra loro le immagini allo scopo di ottenere una ricopertura della superficie ottimale e non ridondante (processo detto a volte "mosaicatura" o "patchwork"). Per ricopertura ottimale si intende la produzione di una singola immagine (ottenuta come unione pesata di tutte le immagini disponibili) che: (a) ricopra interamente la superficie dell'oggetto; (b) sia ottenuta scegliendo, per ogni zona della superficie, la porzione dell'immagine che meglio rappresenti tale area; e (c) tale che l'immagine di tessitura risultante sia proiettabile in modo corretto sulla geometria 3D usando le metodologie di texture mapping (deve cioè esistere una parametrizzazione che leghi la geometria 3D all'immagine di tessitura).
- Infine è necessario uniformare il contenuto cromatico delle sezioni di immagini diverse che siano associate a zone adiacenti di superficie [a4] in quanto la tessitura risultante deriva dalla giustapposizione di sotto-regioni di immagini generalmente ottenute in condizioni di illuminazione non perfettamente controllata ed uniforme.

Ricostruita una unica texture map a partire dalle p immagini disponibili, la superficie può essere convertita in un qualsiasi formato grafico 3D (ad es. VRML, ply, 3ds, etc) e visualizzata con un viewer. Nel nostro caso, abbiamo realizzato un programma di visualizzazione proprietario per superare alcune limitazioni dei software di visualizzazione di superfici con tessiture disponibili sul mercato (bassa efficienza, ridotta flessibilità ed espandibilità).

Il nostro sistema, denominato Easy3Dview, permette di manipolare e visualizzare superfici abbastanza complesse (fino a qualche milione di facce triangolari) su comuni PC dotati di scheda grafica 3D. Il sistema, mostrato nelle figure 1 – 6, fornisce tutte le funzionalità standard:

- Selezione della vista: l'utente può semplicemente ruotare l'oggetto, per vederlo da ogni posizione; può operare delle azioni di zooming, per analizzare da vicino sotto regioni della superficie (Fig.2); può operare azioni di panning (spostamento sul piano di visualizzazione, ossia alto-basso, sinistra-destra dell'oggetto visualizzato).
- Selezione della posizione della sorgente luminosa: in modo interattivo l'utente può variare la posizione della sorgente di illuminazione virtuale, e la superficie è ombreggiata conseguentemente (Fig.3); tale funzione permette di realizzare in modo interattivo e continuo tutte le possibili illuminazioni a luce radente che l'esperto può avere necessità di generare, per mettere maggiormente in evidenza particolari, microfratture o corrugazioni della superficie.
- Selezione della modalità di visualizzazione: la superficie potrà essere visualizzata per punti, in wireframe (solo gli spigoli dei triangoli sono visualizzati), per come superficie ombreggiata (vedi Fig.1-3), o applicando l'informazione di colore codificata nella immagine di tessitura (Fig.4).
- Selezione delle caratteristiche di riflettività della superficie: variazione a piacere del parametro di riflettività speculare della superficie a piacere; una maggiore riflettività speculare mette maggiormente in evidenza la presenza di micro-corrugazioni o fratture esistenti sulla superficie (Fig.5).
- Infine, uno strumento di misurazione permette di calcolare misure lineari accurate; in modalità di misurazione, l'utente seleziona una coppia di punti ed il sistema produce le coordinate spaziali di tali punti e la loro distanza, nell'unità di misura definita per il modello corrente (nell'esempio di Fig.6. la lunghezza della spada è riportata in micron, essendo il modello del dipinto di Masolino definito in tale unità di misura).

Una descrizione verbale purtroppo non rende completamente l'idea delle potenzialità di analisi e studio fornite dall'accoppiare l'uso di strumenti interattivi di visualizzazione alla disponibilità di accurati modelli tridimensionali dell'opera oggetto di studio. Il salto di qualità

rispetto alla comune metodica di studio (basata sulla disponibilità di semplici foto dell'oggetto) é notevole, ed in alcuni casi le tecniche 3D permettono analisi addirittura più accurate di quanto possibile per ispezione visiva diretta dell'opera. Va detto inoltre che l'ispezione visiva di una opera di valore é in genere possibile, per limitati periodi di tempo, solo ad un operatore del settore (ad esempio, ad un restauratore nella fase di analisi pre-restauro), mentre le tecniche 3D consentono tale tipo di accesso a qualsiasi persona, a qualsiasi distanza e per un tempo del tutto indefinito. L'accesso all'opera d'arte può divenire quindi generalizzato, a costo zero e senza alcun rischio per l'opera stessa.

Bibliography

- [a1] M. Callieri, P. Cignoni, F. Ganovelli, C. Montani, P. Pinci, R. Scopigno, "VCLab's Tools for 3D range data processing", 4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (VAST2003) and First EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage, Brighton (UK), 5-7 November 2003, pp. (in press)..
- [a2] H. P. A. Lensch, J. Kautz, M. Goesele, W. Heidrich and H.-P. Seidel, "Image-Based Reconstruction of Spatial Appearance and Geometric Detail", In *ACM Transactions on Graphics*, 22(2), 2003, (to appear).
- [a3] R. Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision", Proceedings CVPR '86 (IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami Beach, FL, June 22--26, 1986), IEEE Publ. 86CH2290-5, pp. 364-374, IEEE, 1986.
- [a4] M. Callieri, P. Cignoni, R. Scopigno, "Reconstructing textured meshes from multiple range and RGB maps", *Vision, Modeling and Visualization 2002*, Int. Conf., Erlangen, Germany, November 20 - 22, 2002, pp. 419-426.

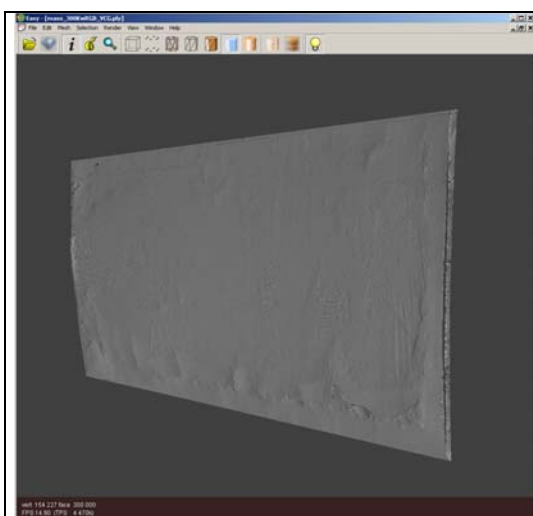


Fig. 1: Visualizzazione del modello tridimensionale di un dipinto su tavola di Masolino

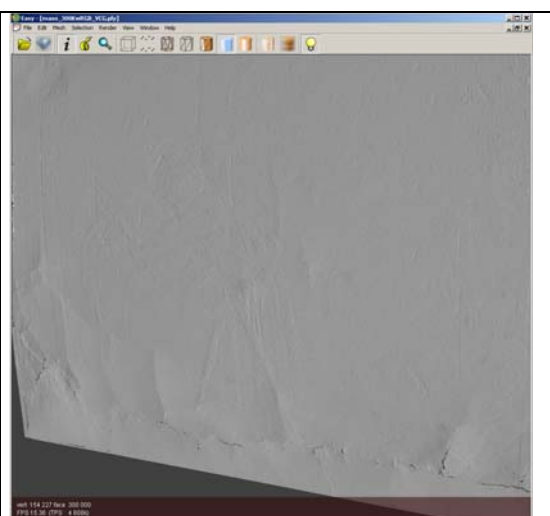


Fig. 2: Le tecniche di visualizzazione 3D permettono di cambiare a piacere il fattore di scala e la vista, focalizzando l'analisi su ogni particolare di interesse dell'opera.

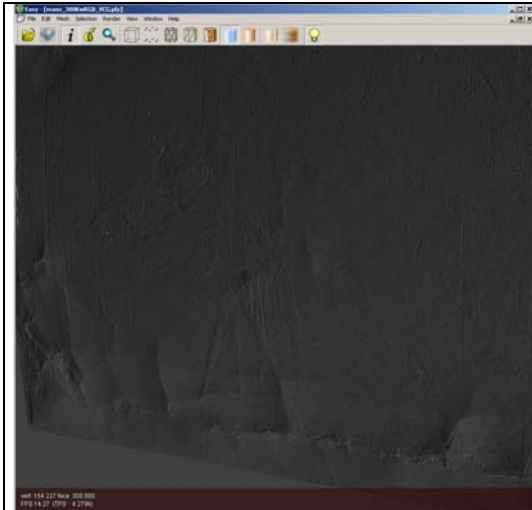


Fig. 3: E' possibile variare interattivamente la posizione della sorgente luminosa virtuale e realizzare in modo estremamente semplice immagini a luce radente.

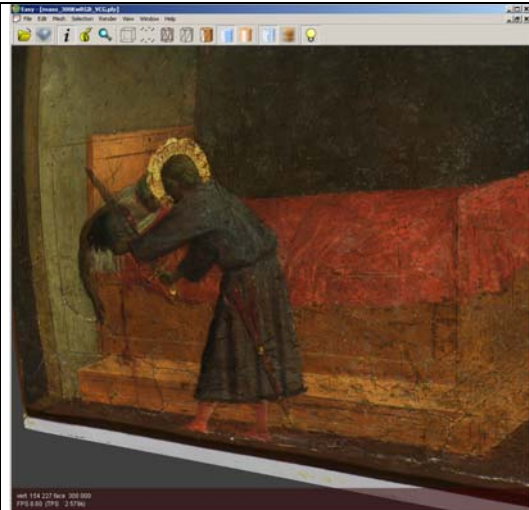


Fig. 4: L'informazione relativa al colore può essere collegata alla geometria (texture mapping) e visualizzata.

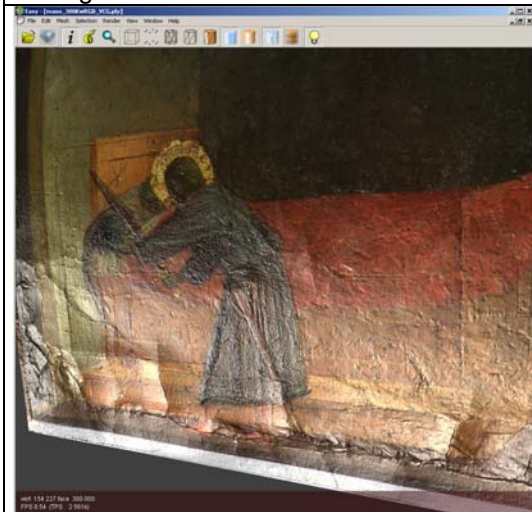


Fig. 5: E' possibile variare a piacere, sempre in modo interattivo, il coefficiente di riflettività della superficie per rendere più evidente in analisi a luce radente la corrugazione della superficie o il sollevamento di lembi della superficie pittorica.

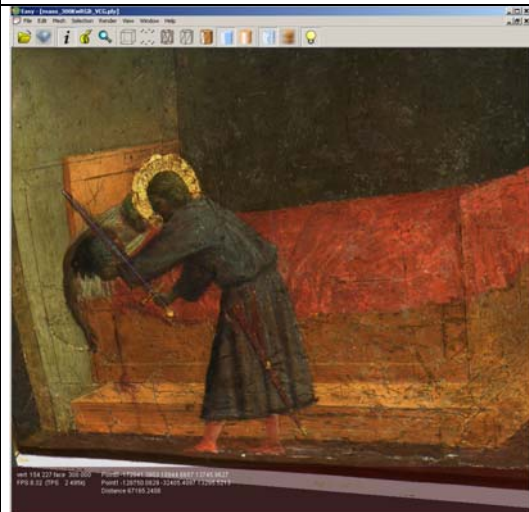


Fig. 6: Infine, poiché disponiamo di un modello 3D geometricamente accurato e non di una semplice immagine 2D, è possibile calcolare misure lineari in modo automatico. In figura si mostra come con la funzione di misura di Easy3Dview sia stata calcolata la lunghezza della spada (segmento evidenziato dalla linea tratteggiata) e le posizioni spaziali dei due estremi, riportate nella parte bassa della finestra usando una scala di misura in micron (la lunghezza della spada è quindi di 67 mm).