

Tecniche Laser Scanner per il rilievo dei Beni Culturali

La possibilità di creare, mostrare, elaborare ed archiviare una rappresentazione numerica della forma e dell'aspetto di un oggetto esistente trova una classe molto stimolante di applicazioni nell'ambito dei Beni Culturali.

I modelli tridimensionali ricreabili possono essere concepiti come ricostruzioni geometriche importanti dal punto di vista scientifico oppure come prodotti esplorabili in Realtà Virtuale.

Introduzione

Le numerose vicende storiche del nostro paese hanno sviluppato un'infinità di correnti culturali ed hanno favorito la produzione di un ricchissimo patrimonio di interesse architettonico, artistico ed archeologico. Non esiste luogo in Italia che non possieda una maestosa cattedrale o almeno un piccolo affresco, che non sia investigato da celebri scavi archeologici o presenti reperti d'interesse; una moltitudine di situazioni che meritano tutte di essere valorizzate e conservate al meglio, a partire dalla loro catalogazione fino agli interventi di conservazione e restauro.

Requisito fondamentale per la valorizzazione del patrimonio culturale è la sua conoscenza, sia in termini più propriamente storico-artistici che per quanto concerne le caratteristiche fisiche di posizione, forma, colore e geometria. Le discipline del rilevamento hanno affinato nel corso del tempo le tecniche al passo con lo sviluppo tecnologico; da semplici metodologie basate sul rilievo diretto a quelle derivate dalla geometria descrittiva ed infine, oggi, con le grandi potenzialità offerte dalle tecnologie elettroniche ed informatiche.

Le maggiori attese nel settore dei Beni Culturali sono indirizzate alle tecniche laser a scansione terrestre; un sistema in grado di misurare distanze per mezzo di un raggio laser, il quale, mediante opportuni sistemi ottico meccanici in rotazione, viene inviato verso l'oggetto variando gli angoli azimutale e zenitale. La distanza tra il centro strumentale ed il primo punto che il raggio incontra e da cui viene riflesso viene determinata dalla misura del "tempo di volo" che intercorre tra l'emissione e la ricezione; la distanza insieme alla conoscenza dei due angoli di emissione del raggio, consente di determinare per co-

ordinate polari la posizione del punto in questione.

Per georeferenziare le informazioni geometriche ottenute e per concatenare diverse scansioni vengono utilizzati un prisma mobile, che viene riconosciuto anche dallo scanner, ed uno posizionato sulla testa dello strumento. Ogni singola posizione del prisma viene successivamente rilevata con strumentazione topografica tradizionale per generare un frames di rilevamento locale ed anche al fine di consentire un puntuale controllo metrico su questi punti, comparando le due differenti metodologie (topografica e laser scanner). Il software di elaborazione dei dati permette di registrare automaticamente i dati 3D acquisiti dal laser scanner in fase di acquisizione ed al fine di eseguire le principali operazioni di filtraggio di elementi estranei, il trattamento dei disturbi dovuti al rumore di fondo causato dall'imprecisione strumentale e l'elaborazione dei risultati.

Nei paragrafi seguenti si prenderanno brevemente in esame, attraverso due esempi, le problematiche scientifiche alle quali si trova di fronte chi opera nel campo del rilevamento dei Beni Culturali e, soprattutto, il problema legato alla fruibilità dei prodotti realizzabili.

Il parco di Capo Colonna

Lo scopo degli studi multidisciplinari effettuati sulla colonna del Tempio di Hera, presso il sito archeologico di Capo Lacinio, oggi Capo Colonna (Crotone), è stato quello di stabilire se le evidenti differenze tra una forma ideale dell'oggetto e la realtà del manufatto fossero determinati da possibili movimenti della struttura a causa dei cedimenti del terreno, a di-

fetti costruttivi oppure ad una serie di accorgimenti costruttivi, concepiti durante l'ideazione del tempio. Quest'ultima ipotesi induceva a verificare la possibile esistenza delle cosiddette "correzioni ottiche", del tutto simili a quelle già studiate sul Partenone, a partire dalla fine del 1800.

Del tempio classico oggi rimane un'unica colonna di ordine dorico, la penultima verso nord del fronte orientale, alta circa 8,30 metri (fig. 1); il profilo del capitello è stato attribuito dal Mertens al filone siceliota della prima metà del V sec. a.C., come testimonia il tempio di Athena a Siracusa. Considerando che nell'antichità il recinto del tempio distava dal mare oltre mezzo miglio e che nel corso del tempo franamenti e movimenti sismici ne hanno raccorciato la distanza dalla spiaggia, oggi ruderi e colonna si trovano quasi a ridosso del mare.

L'obiettivo del lavoro era di sottoporre la colonna del tempio ad un vero rilievo scientifico in grado, oltre che di mostrarne le dimensioni reali, di metterne in evidenza le deformazioni e la forma geometrica. Dopo un sopralluogo per determinare lo stato del manu-



Figura 1

fatto e l'ambiente circostante, intorno al monumento sono state individuate 13 stazioni di ripresa poste ad una distanza compresa tra i 5 ed i 20 metri dalla colonna. Le riprese laser sono limitate nello stesso modo delle riprese fotografiche: sono state rilevate con il laser 3D infatti solo le parti della colonna che risultavano fotografabili dalla stazione di ripresa. A questo scopo la realizzazione di scansioni diverse è servita a coprire eventuali lacune.

Per georeferenziare le informazioni così ottenute e per concatenare le diverse scansioni sono stati utilizzati un prisma mobile, che viene riconosciuto anche dallo scanner, ed uno posizionato sulla testa dello strumento. Ogni singola posizione del prisma è stata rilevata con strumentazione topografica tradizionale per generare un frames di rilevamento locale oltre che a consentire un puntuale controllo metrico su questi punti, confrontando le due differenti metodologie (topografica e laser scanner).

Il software di elaborazione dei dati¹ ha permesso di registrare automaticamente i dati 3D acquisiti dal laser scanner in fase di acquisizione ed, al fine di eseguire le principali operazioni di filtraggio di elementi estranei, il trattamento dei disturbi dovuti al rumore di fondo causato dall'imprecisione strumentale e l'elaborazione dei risultati.

I vari modelli ottenuti sono stati trasformati da nuvole di punti (fig.2) in superfici mesh (fig.3), allo scopo di generare un modello triangolato attendibile; in scala esatta su schermo permette di eseguire misure di alta precisione ed è esportabile in formato CAD.

Lo strumento fornisce

grandi vantaggi nella modellazione tridimensionale e nella realizzazione di prodotti esplorabili in realtà virtuale, su cui è possibile compiere operazioni geometriche come l'estrazione di profili e sezioni. A questo scopo è stata rilevata una sezione longitudinale della colonna del tempio; la ricostruzione della sezione è stata, poi, realizzata in modo puntuale e manuale con supporto CAD.

Per la verifica dei valori dimensionali si è fatto riferimento alla dimensione del diametro della colonna a varie altezze (fig.4). Le misurazioni sono risultate di Ø 1.8863 all'imoscapo², di Ø 1.7566 dopo un metro e mezzo, di Ø 1.6424 a 3 metri, di Ø 1.6424 a 4,5 metri, di Ø 1.4895 a 6 metri e di Ø 1.3896 a 7 metri; è dimostrato in questo modo un assottigliamento della colonna verso il capitello.

Quindi, dallo studio del rapporto del centro in cui sono stati iscritti i diametri della colonna all'imoscapo e all'altezza del capitello e dallo studio delle sezioni verticali è stato possibile riconoscere che l'asse della colonna è inclinato di un 1° verso est, in direzione del mare (fig.5). Queste analisi hanno dato sicura conferma alle indagini geofisiche realizzate sul basamento, a testimonianza delle condizioni precarie della colonna destinata ad un triste destino senza mirati interventi di restauro e di mantenimento.

Tomba della Pellegrina

La possibilità offerta dai sistemi Scanner Laser di rilevare la geometria 3D degli oggetti reali in modo più dettagliato ed accurato di quanto sia possibile con i sistemi tradizionali,

e di produrre modelli numerici attendibili e rigorosi, ha suscitato grande interesse nel campo dei Beni Culturali per gli aspetti legati alla modellazione tridimensionale ed alla realizzazione di prodotti esplorabili in realtà virtuale e con qualità metriche. Una volta che un oggetto viene registrato in tutti i suoi elementi ad alta risoluzione attraverso uno scanner laser tridimensionale, si possono utilizzare delle tecnologie "immersive" per studiare o promuovere un Bene Culturale attraverso una vista virtuale a

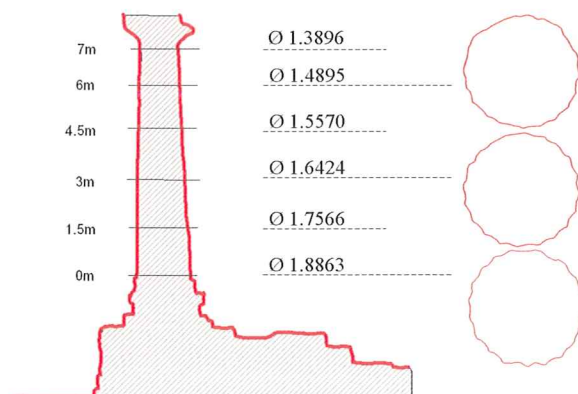


Figura 4

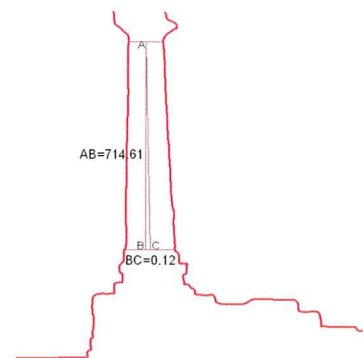


Figura 5

scopo di restauro, recupero, controllo delle deformazioni strutturali del bene architettonico e catalogazione. Infatti, in ogni modello 3D, le caratteristiche reali piccole e visibili solo a una distanza ravvicinata, possono essere esaminate interattivamente, permettendo lo studio di dettagli interessanti come segni di strumenti di lavorazione o particolari di superfici. Inoltre, luoghi che devono essere chiusi al pubblico per ragioni di conservazione possono essere ancora studiati e visitati una volta che ne è stato creato un modello 3D. Questo tipo di motivazioni hanno spinto alla realizzazione di un rilievo completo della monumentale Tomba della Pellegrina (Chieti) (fig.6); una delle maggiori tombe di età ellenistica dell'intero territorio chietino. La tomba, di complessa struttura, presenta un lungo dromos³ largo circa un metro, in forte pendenza con accesso ad est che si apre su

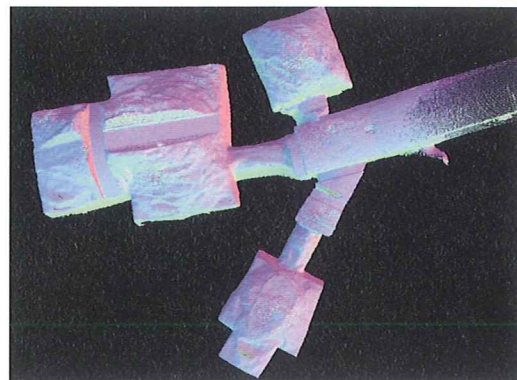


Figura 6

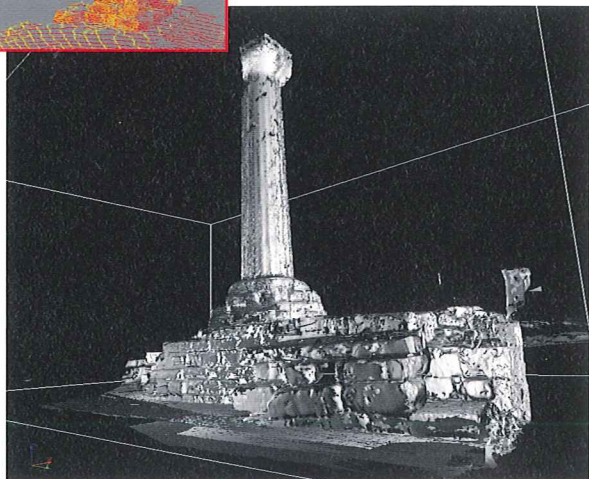
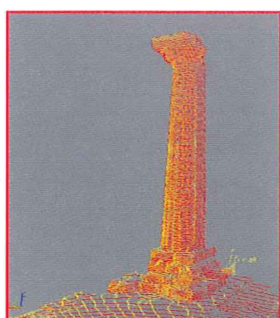


Figura 2, 3

quattro nicchiotti e due celle; sul fondo si apre la grande camera (5,25X4,25 ca.) di forma rettangolare con due ampie cavità nella parte anteriore.

Modellazioni tridimensionali di questo tipo favoriscono la realizzazione di ambienti di realtà virtuale (VR) dei quali si possono individuare due tipi di utilizzo: quello passivo, in cui l'utente esegue una navigazione, ad esempio all'interno della tomba secondo un percorso prestabilito e non modificabile; attivo, in cui l'utente esplora l'ambiente muovendosi con discontinuità nello spazio 3D tramite appositi comandi. I risultati sono molto buoni pensando, ad esempio, ad un ambiente di realtà virtuale dove esistono molte possibilità di progettazione: nel caso di una tomba chiusa al grande pubblico o per problemi di conservazione difficilmente accessibile, le ricostruzioni realizzate diventerebbero elemento ideale da collocare in museo per un turismo virtuale. La simulazione visiva che ne risulta punta, quindi, ad una rappresentazione esatta del mondo reale usando i modelli generati dai sensori.

Un ulteriore campo applicativo di questo tipo di elaborazioni è quello che si rivolge alla fruibilità dei musei anche per persone disabili con difficoltà di deambulazione ed in particolare modo per i non vedenti per i quali possono essere ricreati ambienti od oggetti particolari. Si consideri anche il grande pubblico dei "piccoli" per cui l'esperienza tattile risulta fondamentale, si tratti di giocattoli quanto di apprendimento. La realizzazione del modello geometrico di uno dei sarcofagi ritrovati all'interno della tomba (fig.7) è stato pensato per un altro tipo di applicazione molto

interessante: l'ambito del restauro virtuale di un manufatto. Diversamente dal restauro "tradizionale" che viene eseguito su un oggetto oppure su di una struttura (procedimento di solito non reversibile), il restauro virtuale è applicato direttamente sulla copia digitale (ed è quindi reversibile). Per esempio, permette di interagire direttamente sui dati informativi, senza provvedere ad interventi spesso traumatici per la copia originale; oppure in alcuni casi, elementi che sono stati aggiunti durante gli anni possono essere rimossi ed il modello 3D numerico può essere esaminato nel contesto storico corretto.

Recentemente, inoltre, tecniche su cui la "real-scene" viene visualizzata sul modello geometrico hanno suscitato molto interesse (fig.8). Alcuni sistemi commerciali di ripresa 3D forniscono sfortunatamente immagini di qualità visiva molto limitata. Attraverso macchine fotografiche esterne, perciò, si possono acquisire immagini a colori ad alta risoluzione, tenendo sempre in considerazione la posizione e l'orientamento del supporto fotografico nel sistema di coordinate del modello geometrico. Inoltre, la continua evoluzione tecnica dei dispositivi digitali favorisce l'applicazione di strumentazioni sempre più performanti.

Il grande vantaggio di operare in questo modo è legato al fatto che se ci sono richieste di modifica delle immagini o di applicare correzioni globali (contrasto, luminosità), queste possono essere applicate facilmente alla struttura: i singoli fotogrammi 2D vengono mappati sul modello 3D in base al riconoscimento di punti. Nell'ambito del restauro possono essere molto utili anche le fotografie al-

l'infrarosso.

Riassumendo, si può affermare che i modelli geometrici realizzabili con scanner laser tridimensionale, potranno avere diversi usi:

- un alto grado di realismo può essere raggiunto mediante le tecniche ed il contesto in cui i manufatti sono stati scoperti o per ricreare il modo in cui sono stati usati;
- le sculture virtuali potranno essere apprezzate sullo schermo di un computer da ogni angolazione possibile, permettendo, quindi, di ammirare i singoli particolari;
- la computer grafica può essere utilizzata per restaurare "virtualmente" le parti danneggiate di un manufatto;
- grazie all'animazione si potrebbero illustrare alcuni trucchi di prospettiva impiegati dagli scultori nell'antichità;

- sappiamo dai testi e dalle scarse tracce residue che statue molte antiche erano originariamente dipinte a colori brillanti.

Modelli computerizzati potrebbero essere usati per ricreare le texture e le cromaticità originali, visibili anche ad un esame molto ravvicinato. Con un tale sistema di illuminazione, i visitatori potrebbero accendere la luce per vedere come effettivamente appariva in origine la statua, e spegnerla per apprezzarla nel suo stato attuale. Inoltre, lo stesso sistema di illuminazione potrebbe essere usato per proiettare contorni ed altri profili sulle statue danneggiate per facilitare il processo di restauro

- Un modello digitale può essere usato per realizzare accurati duplicati di una scultura ad ogni scala. In genere le copie di piccole dimensioni di sculture importanti non risultano accurate perché basate su un'interpretazione dell'artista contemporaneo. Accurate copie digitali potrebbero essere usate sia per la ricerca sia a scopo meramente commerciale, considerando il fatto che non sempre si possono effettuare calchi di oggetti particolarmente delicati, con la disinvoltura di un tempo.

Uno dei prossimi obiettivi sarà quello di prevedere l'integrazione, in un unico ambiente VR, di modelli ottenuti da laser scanner e modelli 3D realizzati mediante software fotogrammetrici. In questo caso la fotogrammetria digitale verrà utilizzata per creare il modello 3D degli elementi principali a partire da sequenze di immagini a colori. All'interno di tale modello verranno poi inseriti i modelli 3D a più alta risoluzione ottenuti da rilievi con laser scanner.

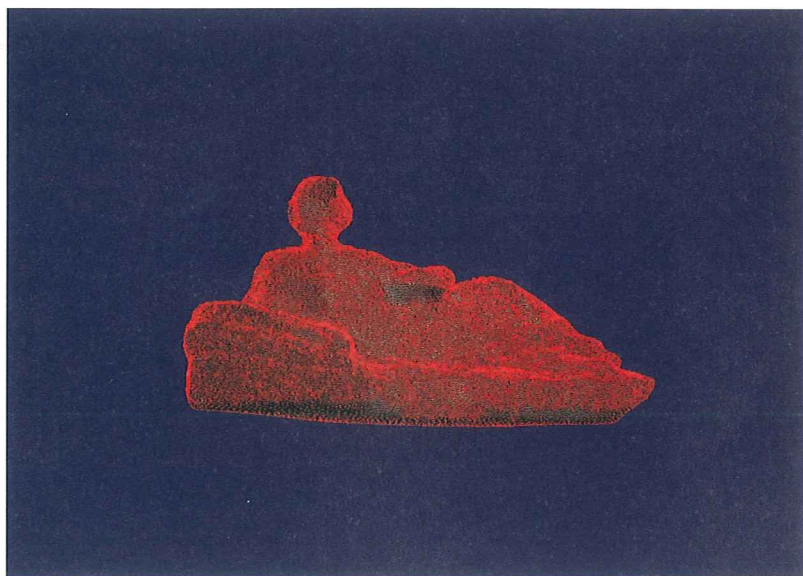


Figura 7



Quanto volete spendere per un palmare serio?

Un palmare per l'uso in campagna deve resistere alle intemperie, alla sporcizia e agli urti. Proteggere un palmare commerciale e aggiungere sufficienti capacità di memoria e batterie, può costare alla fine come comprare un palmare che è stato appositamente progettato e costruito per questo scopo, come il PDA Recon, prodotto dalla Trimble pensando a chi l'avrebbe utilizzato in condizioni d'impiego gravose. È un palmare indistruttibile, che costa come un palmare da ufficio o da svago. A partire da 1,200 EURO.



Distributore nazionale ufficiale
della divisione GIS e Mapping Trimble

CRISEL Srl - Clivio di Cinna, 196 - 00136 Roma
tel 06 35498681/35451927 - fax 06 35498686
e-mail: info@crisel.it - web: <http://www.crisel.it>





Figura 8

Note:

- 1 Nella fase di acquisizione dei dati si è utilizzato il software 3D-Extractor; per l'elaborazione dei dati il software Reconstructor
- 2 Parte inferiore della colonna in corrispondenza del collegamento tra il fusto e la base.
- 3 Entrata a corridoio, che porta nella camera funeraria di una tomba a corridoio o a tholos

I rilievi sono stati eseguiti con il sistema Callidus 3.1 distribuito da Trimble (www.trimble.it) Italia. Si ringrazia per la consulenza tecnica e la fornitura delle strumentazioni Giusy Italiano di Trimble Italia, Pasquale Esposito di Geosystem Group di Roma (www.geosystemsgroup.it), la società Terraing Consulting S.p.a. di Terni. Si ringrazia inoltre l'Università degli Studi del Molise nella persona del Prof. P.Mauriello, la Soprintendenza Archeologica per la Calabria nelle persone della Dott.ssa

Lattanzi e del Dott.R.Spadea; la Soprintendenza ai Beni Archeologici di Roma nella persona dell'Arch. Filatici; L'Istituto Centrale per i Restauro di Roma nelle persone dell'Arch. Capponi, dell'Arch. Tedesco e della Dott.A.Montedoro.

Si ringrazia, inoltre, il Comune di Chiusi ed il Dott. Mario Iozzo della Soprintendenza Archeologica della Toscana per la grande disponibilità e la fattiva collaborazione sempre dimostrate nei nostri confronti.

BIBLIOGRAFIA

- Bitelli G., 2002, *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali*, Geomatica e l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale, 6° Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, IX-XXIV
- Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F., 2002, *Il trattamento dei dati Laser Scanner nelle applicazioni terrestri*, Geomatica e l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale, 6° Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, 483-498
- Cignoni P., Montani C., Scopigno R., 1998, *A comparison of mesh simplification algorithms*, Computer&Graphics, 22 (1), 37-54
- Greco E., *Archeologia della Magna Grecia*, Editori Laterza, 1992, pp.46-47/272
- Greco E., *Magna Grecia*, Guide archeologiche Laterza, Editori Laterza, 1981, pp.104-110
- Guglielmotti E., *Potere euristico dei modelli: il Tempio di Poseidone a Paestum*
- Martin R., *Manuel d'architecture grecque*, I, Matériaux et techniques, Paris, 1965, pp.297-306
- Mauriello P., Patella, *Resistivity anomaly imaging by probability tomography*, in Geophysical Prospecting, 47, 1999, pp. 411-429
- Mertens D., *L'architettura del mondo Greco in Occidente*, in I Greci In Occidente, Catalogo della mostra a Palazzo Grassi, Bompiani, 1996, pp.315-346
- Sgrenzaroli M., Wolfart E., 2002, *Accurate Texture-Mapped 3D Models for documentation Survey and Presentation Representation Purposes*, Proceeding of the CIPA WG 6 on Scanning of Cultural Heritage Recording, Corfù, Greece, 148-155

Autori

DOTT. ROBERTO GABRIELLI
roberto.gabrielli@itabc.cnr.it

DOTT.SSA DANIELA PELOSO
daniela.peloso@itabc.cnr.it

Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Salaria km 29,300 - c.p.10
00015 Monterotondo (Roma)