

Problematiche nel rilievo e modellazione tridimensionale di oggetti di piccole dimensioni nel campo dei Beni Culturali

Gabriele Bitelli, Fabrizio Girardi

DICAM – Università di Bologna - gabriele.bitelli@unibo.it, fabrizio.girardi@unibo.it

Riassunto

In molti ambiti applicativi (industriale, medico, archeologico, forense, museale, ecc.) si rende necessario il rilievo tridimensionale ad alta precisione di oggetti di piccole dimensioni. Considerando il settore dei Beni Culturali, per esempio, si tratta di un campo di applicazione delle tecniche geomatiche abbastanza ristretto e sostanzialmente nuovo, in quanto le problematiche di documentazione e visualizzazione di beni mobili ed immobili sono in genere indirizzate prevalentemente su oggetti a scala di edificio, porzione di edificio o elementi quali bassorilievi e statue. Qualora si volesse aumentare ulteriormente la scala di indagine e rappresentazione, devono essere adottate delle tecniche di rilievo che possano fornire un'adeguata precisione. museale

Abstract

In many application areas (industrial, medical, archaeological, forensic, museums, etc.) an high precision dimensional survey of small objects becomes necessary. Considering the cultural heritage area, for example, this topic involves a quite small number of geomatic techniques and is essentially new, since the problems of documentation and visualization of objects are generally directed mainly at building scale, portions of it or items such as bas-reliefs and statues. To further increase the scale of investigation and representation, specific techniques should be adopted that can provide adequate precision and accuracy.

Introduzione

Nel lavoro viene affrontata la problematica del rilievo e della modellazione tridimensionale, con alto livello di dettaglio, di oggetti di piccole dimensioni (ci si può qui riferire per semplicità ad un campo di interesse intorno a pochi centimetri); si tratta di un caso che può trovare applicazione in svariati ambiti, che vanno da quello industriale e del design a quello biologico e medico, dall'archeologia ed alla musealizzazione virtuale all'ingegneria forense, ecc.

Considerando il settore dei Beni Culturali, oggi oggetto di importanti ricerche applicative che trovano impulso dallo sviluppo delle nuove tecnologie, sono molto numerose e varie le occasioni in cui operare con oggetti di altissimo interesse e dimensioni molto ridotte: un esempio immediato è quello fornito dai reperti archeologici, ma nell'ambito del restauro, dell'analisi dei materiali, delle indagini non distruttive, gli esempi sono molto frequenti. Comunemente, la documentazione geometrica di un bene culturale mobile di piccole dimensioni è limitata ad una immagine fotografica che riporta elementi metrici minimali per fornire una scala di lettura; non si adottano in genere metodologie per un rilievo rigoroso e metrico, metodologie che potrebbero essere di grandissimo interesse non solo a fini di studio e divulgazione dell'oggetto (si pensi alla problematica della virtualizzazione della fruizione di beni museali) ma anche per scopi diversi quali la duplicazione e riproduzione di copie dell'oggetto (a scala identica al vero o a scala diversa). Di frequente infatti ci si trova di fronte a problematiche legate alla salvaguardia e conservazione dell'oggetto, in termini di accesso e visione da parte del pubblico, di mantenimento in particolari condizioni microclimatiche, di difficoltà di manipolazione a fini di studio e misura, ecc.

Se ci si riferisce poi al contesto della ricerca archeologica, su un sito oggetto di scavi può essere portato alla luce un grandissimo numero di reperti o loro frammenti riconducibili ad aspetti della vita quotidiana, religiosa o economica; su questi ritrovamenti diviene ovviamente critico il problema della catalogazione e fruizione, che spesso riguarda reperti di grande pregio e di dimensioni molto ridotte.

Una soluzione a queste problematiche è rappresentata dalle tecniche di rilievo geomatiche senza contatto e non invasive, tra le quali certamente oggi occorre indicare in primo luogo il laser a scansione e la fotogrammetria.

Il lavoro presentato si inquadra in una più ampia ricerca che vuole indagare le specificità del rilievo a questa scala utilizzando in modo privilegiato le due tecniche sopracitate. E' evidente che le problematiche sono differenti in confronto ad altri ambiti di rilevamento: limitandosi per esempio alla tecnica fotogrammetrica, si pongono questioni di calibrazione ed orientamento esterno ed interno della/e camera/e che sono diverse rispetto alle situazioni più frequenti nella fotogrammetria close-range.

Il caso di studio presentato si riferisce al rilievo e modellazione 3D di impronte e cretule, nel caso specifico calchi degli originali, provenienti dal sito di Tilmen Höyük (Turchia, Anatolia sud-orientale), sul quale il Dipartimento di Archeologia dell'Università di Bologna sta conducendo da anni ricerche sotto la guida del Prof. Nicolò Marchetti. Tilmen Höyük fu un'importante capitale con sede regale nel II millennio a.C., ed in particolare nel periodo tra il 1800 ed il 1600 a.C., e gli scavi hanno riportato alla luce imponenti strutture con un interessante tessuto urbanistico ed un ampio numero di oggetti di varie dimensioni, su cui il gruppo di ricerca del DISTART (ora DICAM) ha compiuto diverse attività di rilevamento a differenti scale di intervento (Bitelli et al. 2006; 2007; 2009)

Oggetto del rilievo

È stata sottoposta a rilievo una serie di impronte moderne di sigilli cilindrici e di calchi eseguiti su cretule antiche (cioè su chiusure in argilla di contenitori e di porte); va osservato che, mentre nel primo caso si opera in un certo senso sull'originale, nel caso delle cretule l'uso dei calchi si è reso necessario perché gli originali sono depositati in museo. I sigilli provengono da contesti diversi e si datano variamente tra 1800 e 1600 a.C. (quello della fig. 1 a destra risale al 1650-1600 a.C.), mentre le cretule costituiscono un gruppo omogeneo rinvenuto nel livello di distruzione della fortezza Q sull'Acropoli e che data al XIX sec. a.C. (Marchetti 2009; 2010). Le impronte antiche su cretule appartengono a sigilli cilindrici di vari stili: geometrico (fig. 1 a sinistra), paleosiriano e paleobabilonese (un'impronta reca anche in caratteri cuneiformi il nome di un funzionario del re di Babilonia Sumulael).

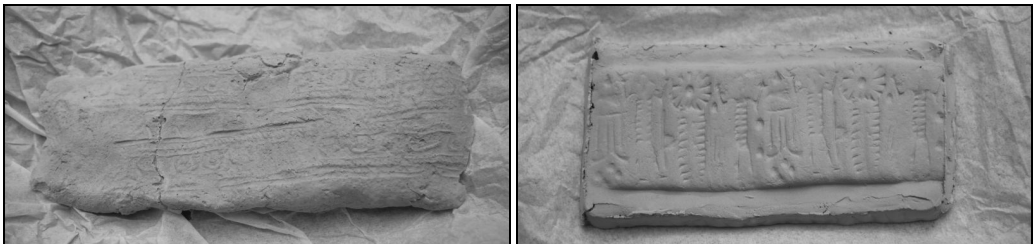


Figura 1 – Esempi di cretula (a sinistra) e di impronta (a destra) che sono state oggetto del rilievo.

Le dimensioni di questi oggetti sono mediamente intorno ai 5-10 cm.

Come si può osservare anche dalla figura, essi sono caratterizzati da minuscole incisioni e decorazioni, che per poter essere rilevate e descritte necessitano di una precisione superiore a quella comunemente adottata nel classico ambito del *close-range*: ci si deve riferire infatti a precisioni sub-millimetriche.

Rilievo mediante laser a scansione

Una tecnica sicuramente funzionale allo scopo di divulgare e superare l'effetto bidimensionale della classica rappresentazione fotografica nel campo dei Beni Culturali, senza dover mettere a rischio lo stato conservativo dell'oggetto, prevede il rilievo e la successiva modellazione tridimensionale tramite l'impiego di laser scanner (Akca et al., 2007).

Per le specifiche richieste al lavoro in oggetto, si possono adottare strumenti appartenenti alla categoria dei laser triangolatori, che permettono di raggiungere precisioni dell'ordine e superiori al decimo di millimetro e che presentano i vantaggi di essere relativamente veloci in fase di acquisizione e di non avere un ingombro eccessivo se fosse necessario il loro trasporto in sito (nel caso di utilizzo in sito è ovviamente necessario provvedere all'alimentazione elettrica).

Per il caso oggetto di studio è stato impiegato in laboratorio un *desktop* laser scanner della NextEngine avente una precisione di 127 micron, sufficiente quindi ad apprezzare la trama incisa sull'oggetto; è stato impiegato il modulo ad alta definizione HD che, permettendo di aumentare fino a 4 volte la densità dei punti rispetto al modello precedente, ha permesso di portare l'interdistanza fra i punti a circa 60 micron. Lo strumento è dotato anche di un sensore CMOS che permette l'acquisizione dell'informazione colore RGB.

Per oggetti caratterizzati da una forma complessa si sono rese necessarie più scansioni, e le conseguenti nuvole acquisite hanno necessitato una procedura di allineamento e registrazione relativa fra di loro. Questa operazione, composta da due fasi, è stata dapprima eseguita manualmente, mediante l'impiego di punti omologhi individuati dall'operatore, ed infine raffinata tramite procedura automatica ICP.

Il risultato finale consta in un modello digitale tridimensionale (due esempi sono riportati in fig. 2), cui è possibile applicare la *texture*; per un'analisi di tipo interpretativo si è evidenziato tuttavia come una colorazione "sintetica" permetta di apprezzare in maniera sensibilmente migliore l'andamento e la forma delle incisioni. La densità di scansione molto elevata, per dimensioni degli oggetti dell'ordine di 5 cm x 10 cm, consente una descrizione e rappresentazione della superficie ad alta fedeltà, ed una buona lettura dell'apparato decorativo; a titolo di esempio gli oggetti mostrati nella figura 2 sono stati acquisiti rispettivamente con nuvole di 800000 e 700000 punti.

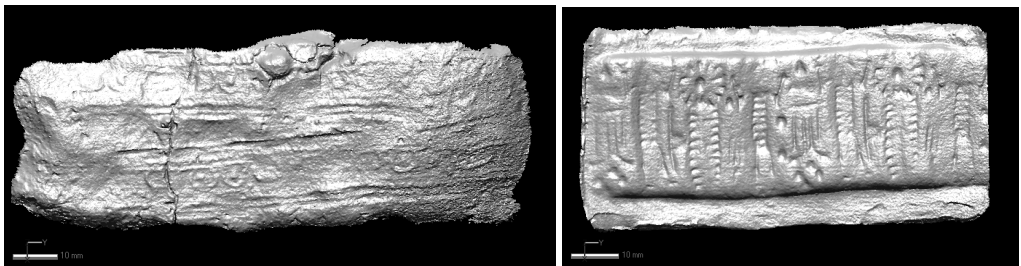


Figura 2 – Modelli tridimensionali di cretula e di impronta ottenuti da scansione (lo scalimetro equivale a 10mm).

Rilievo fotogrammetrico

Un test sulla possibilità di generare modelli digitali di superfici con precisioni analoghe a quelle ottenute con il laser scanner è stato condotto per via fotogrammetrica. A questo proposito nella scelta della strumentazione si è optato per l'impiego di una reflex digitale *full frame* ad elevata risoluzione (24 Mpixel) ed un obiettivo di tipo Macro. Questo tipo di lenti, aventi un comportamento che dal punto di vista ottico si differenzia dai comuni obiettivi usati in ambito fotogrammetrico, è caratterizzato da un funzionamento diverso rispetto ai classici obiettivi zoom: esse forniscono un livello di dettaglio molto spinto della superficie dell'oggetto ad una distanza di messa a fuoco che aumenta in maniera inversamente proporzionale al fattore di ingrandimento. Per

contro, presentano una serie di problematiche di tipo fotografico e fotogrammetrico non indifferenti quali la nitidezza delle immagini, la profondità di campo molto ridotta, questioni di illuminazione dell'oggetto, ed infine problemi legati al sistema di riferimento per le coordinate oggetto e alla valutazione dei parametri di calibrazione, operazione quest'ultima che richiede la messa a punto di reticoli di piccolissime dimensioni. Nella fig. 3 si riporta un esempio di tali reticoli e la curva di distorsione riferita ad un obiettivo Macro di focale 100 mm installato sulla camera digitale *full frame*: è possibile osservare come la curva di distorsione di questa tipologia di obiettivi presenti in genere valori sensibilmente inferiori rispetto ai comuni obiettivi impiegati in ambito *close range*.

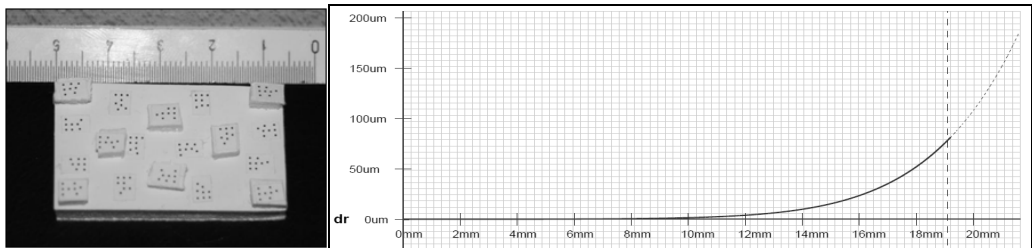


Figura 3 – Reticolo di calibrazione e curva di distorsione di obiettivo Macro.

Un modello digitale della superficie è stato ricavato da una serie di coppie stereo, opportunamente orientate sulla base di punti d'appoggio determinati con una precisione molto spinta (circa 10 micron) grazie ad una robusta geometria di presa composta da circa 40 fotogrammi; l'orientamento è stato effettuato con il software Australis di Photometrix. La generazione del DSM, realizzata in ambiente Socet Set Ngate, ha prodotto risultati accettabili in termini di residui di orientamento ma ha messo in evidenza le criticità precedentemente menzionate; uno dei fattori maggiormente limitanti in questo processo è rappresentato dal ridotto intervallo della profondità di campo, che va ad influire sulla possibilità di collimare in maniera precisa i punti d'appoggio. Per ovviare a questo problema e quindi ampliare tale intervallo bisogna scendere a compromessi con la nitidezza dell'immagine, che a sua volta influisce sul funzionamento degli algoritmi di *image matching* al fine di generare il modello della superficie.

In fig. 4 è possibile osservare il DSM ottenuto per via fotogrammetrica sull'impronta mostrata in figura 1; sebbene esso presenti una densità molto inferiore a quella ottenuta dal laser scanner (160000 punti contro 700000), è comunque possibile apprezzare la geometria delle incisioni.



Figura 4 – DSM ottenuto tramite fotogrammetria.

Nella figura 5, sull'area tratteggiata, si riporta il confronto fra il DSM ottenuto per via fotogrammetrica e quello prodotto dal laser: la zona colorata in bianco evidenzia come per una buona parte della superficie la differenza fra i due modelli rientri in un *range* di ± 0.5 mm. Sebbene questo valore non sia sufficiente per analisi approfondite sulla geometria dell'oggetto, essa permette comunque di ottenere un modello tridimensionale della superficie che può essere considerato

accettabile nel caso di modellazioni a scopo di rappresentazione. Un fattore molto critico, accanto alla fase di acquisizione è evidentemente quello della procedura di *matching* adottata nella stazione fotogrammetrica digitale: è ben noto che ad oggi sono ancora molto carenti gli esempi di procedure ottimali che possano fornire modelli digitali ad altissima fedeltà per applicazioni close-range, ed a maggior ragione nel caso di prese convergenti e di particolari configurazioni geometriche che si discostano molto dalle tradizionali situazioni della fotogrammetria classica.

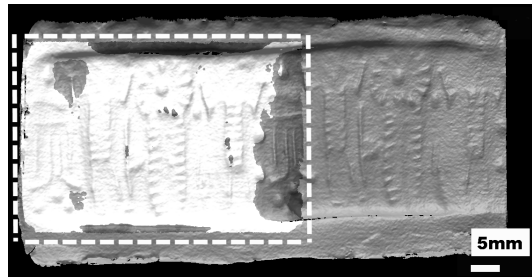


Figura 5 – Nell’area tratteggiata è stato eseguito il confronto fra le superfici derivate da rilievo laser e da fotogrammetria macro: la zona bianca mostra l’intervallo di scostamento compreso fra +0.5 mm e -0.5 mm.

Conclusioni

Il caso di studio mette in evidenza come il laser scanner al momento sia la metodologia più indicata a generare modelli tridimensionali di oggetti di piccole dimensioni, soprattutto quando questi costituiscono set particolarmente numerosi come nel caso dei reperti archeologici. Questa considerazione prende in considerazione una serie di fattori, quali la velocità di acquisizione e di trattamento del dato. D'altra parte è stato fatto un test che presenta come soluzione alternativa e/o integrativa l'applicazione della fotogrammetria tramite ottiche Macro, che sebbene abbia messo in evidenza alcune problematiche in fase di generazione del DSM, merita un approfondimento, in quanto, con una tecnica a basso costo e facilmente applicabile in contesti diversi, i risultati potenzialmente raggiungibili sono confrontabili con strumentazioni laser di costo elevato.

Ringraziamenti

Si ringrazia la missione archeologica dell'Università di Bologna, ed in particolare il suo Direttore Prof. Nicolò Marchetti, per avere dato la possibilità di condurre questa sperimentazione nell'ambito di una lunga collaborazione multidisciplinare; si ringrazia il Prof. Clive Fraser dell'Università di Melbourne ed il suo gruppo, in particolare i Dr. Ida Jazayeri e Christos Stamatopoulos per il supporto nella messa a punto di tecniche di calibrazione di obiettivi macro per camere digitali.

Bibliografia

- Akca, D., Gruen, A., Breuckmann, B., Lahanier, C. (2007) "High definition 3D-scanning of arts objects and paintings", Optical 3-D Measurement techniques VIII, 50-58.
- Bitelli G., Girelli V.A., Remondino F., Vittuari L. (2006) "Surface modelling of complex archaeological structures by digital close-range Photogrammetry". *BAR - British Archaeological Reports International Series*, 1568, ISBN 1841719986, Oxford, 321-326
- Bitelli G., Girelli V.A., Guarnieri A., Vittuari L. (2007) "Accurate survey of the Stela from Tilmen Höyük by Laser Scanning technique". In Belli O., Ö. Bilgi, G. Umurtak and Ş. Dönmez (eds.), Refik Duru'ya Armağan - Studies in Honour of Refik Duru, ISBN: 978-975-807-183-8, Ege Yayınları, İstanbul, 169-173

- Bitelli G., Girelli V.A. (2009) “Metrical use of declassified satellite imagery for an area of archaeological interest in Turkey”, *Journal of Cultural Heritage*, ISSN 1296-2074, Elsevier, vol. 10S, 35–40
- Jazayeri I., Fraser C.S., Cronk S. (2010) “Automated 3D object reconstruction via multi-image close-range photogrammetry”, *Proceedings ISPRS Commission V Symposium, Newcastle Upon Tyne*, 305-310
- Marchetti N. (2009) “The 2007 Joint Turkish-Italian Excavations at Tilmen Höyük”, in 30. kazı sonuçları toplantısı, 26-30 Mayıs 2008, Ankara. 3. cilt, T.C. Kültür Bakanlığı, Ankara, 387-398,
- Marchetti N. (2010) “A Preliminary Report on the 2007 and 2008 Excavations and Restorations at Tilmen Höyük”, in P. Matthiae, F. Pinnock, L. Nigro, N. Marchetti (edd.), *Proceedings of the 6th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East, May, 5th-10th 2008, “Sapienza” - Università di Roma, Harrassowitz, Wiesbaden, Vol. 2, 369-383*
- Stamatopoulos C., Fraser C.S., Cronk S. (2010) “On the self-calibration of long focal length lenses”, *Proceedings ISPRS Commission V Symposium, Newcastle Upon Tyne*, 560-564
- Yanagi H., Chikatsu H. (2010), “3D Modeling of small objects using macro lens in digital very close range photogrammetry”, *ISPRS Commission V Symposium, Newcastle Upon Tyne*, 617-622
- Yanagi H., Honma Y., Chikatsu H. (2008), “Performance evaluations of macro lenses for digital documentation of small objects”, *ISPRS Commission V Congress, Beijing*, 159-164