



# NUOVI SVILUPPI NELLE TECNICHE DI STEREOFOTOMETRIA 3D DI INCISIONI E RILIEVI. APPLICAZIONI NELLA TOMBA XV DI SOS FURRIGHESOS, SARDEGNA

Carla Mannu \*, Giuseppe Rodriguez \*\*, Giuseppa Tanda \*\*\* e Massimo Vanzi \*\*\*\*

## SUMMARY

Here is proposed a Photogrammetric technique known since a long time as Photometric Stereo, as cheap and easy technique for taking 3Ds of rock art engraving and relieves.

Unlike stereoscopic or monoscopic photogrammetry, this technique uses a standard reflex camera fixed in the same point of view for each shot, under different lighting direction.

The image processing gives back three images: the x and y gradients and the "albedo", which is the surface real color without any shading interference. The 3D surface is recreated from the gradient maps, with good results comparables with the ones taken from the laser scanner, and a very natural appearance thanks to the Albedo recovery color.

The exceptional acquisition aptitude and preservation of the 3D information even under non-ideal conditions and arduous locations is the crux of this technique

This presentation is focused on the considerable improvements recently achieved in application modes, execution times and quality results. As example, here are presented the results in XV grave of the Sos Furrighesos' necropolis in Sardinia.

## RIASSUNTO

Una tecnica fotogrammetrica (Photometric Stereo) nota da tempo viene proposta come metodologia agile ed economica per la documentazione di incisioni e rilievi in 3D.

A differenza delle tecniche fotogrammetriche stereoscopica e monoscopica, la Photometric Stereo utilizza una fotocamera standard fissa per acquisire tipicamente quattro immagini sotto angoli di illuminazione differenti.

L'elaborazione delle immagini restituisce separatamente tre mappe: l'"albedo" (il colore proprio della superficie senza ombreggiature) il gradiente in direzione x ed il gradiente in direzione y. Dalle mappe di gradiente si ottiene la forma 3D della superficie, con risultati confrontabili con quelli di apparecchi a scansione laser. La superficie 3D, ricolorata con l'albedo, fornisce ricostruzioni virtuali di grande naturalezza. Il punto chiave è la estrema semplicità della ripresa e la conservazione delle informazioni 3D anche in condizioni di ripresa non ideali.

La presentazione si concentra sui sensibili miglioramenti conseguiti recentemente nelle modalità applicative, tempi di esecuzione e qualità dei risultati. Sono presentate come esempio le applicazioni alla tomba XV della necropoli a Domus de Janas di Sos Furrighesos, in Sardegna.

## INTRODUZIONE

La documentazione delle incisioni rupestri tramite tecniche di Photometric Stereo, già presentata in precedenza presso questa sede, grazie alle continue sperimentazioni e migliorie apportate nel corso degli ultimi anni, è diventata velocissima. La tecnica è robusta e sul campo è sufficiente acquisire alcune fotografie, da tre in su, puntando al centro della superficie inquadrata ruotando il flash intorno alla superficie senza alcuna calibrazione.

Rimane sempre presente in ricostruzione, a causa dell'utilizzo di flash o luci artificiali come fonte di illuminazione durante gli scatti anziché una luce uniforme e proveniente da distanza infinita, una lieve incurvatura della superficie, che rende la tecnica inadeguata per le riprese di oggetti a tutto tondo o superfici con profonde sporgenze o infossature, mentre rimane efficacissima per bassorilievi ed incisioni presenti.

## STRUMENTAZIONE

Dal punto di vista della strumentazione necessaria, questa potrebbe avvalersi di fotocamere ed impianti di illuminazione altamente sofisticati. Qui, tuttavia, si vuole sottolineare l'esigenza minima per ottenere risultati veloci ed adeguati alla documentazione delle decorazioni incise e scolpite.

In questo caso, occorre una fotocamera utilizzabile in modalità manuale, ovvero che abbia la possibilità di disattivare tempi di scatto, apertura e ISO automatici, un treppiede, un cavetto per lo scatto remoto (meglio ancora se lo scatto è telecomandato, funzione ormai disponibile in moltissimi apparecchi anche di fascia medio-bassa) e una sorgente luminosa, ad esempio un flash commerciale operante in modalità TTL, abbastanza potente da sovrastare la luce ambiente.

\* Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE), Università di Cagliari (Italy), Email ca.mannu@gmail.com

\*\* Dipartimento di Matematica ed Informatica, Università degli Studi di Cagliari (Italy), Email rodriguez@unica.it

\*\*\* Dipartimento di Scienze Archeologiche e Storico-artistiche, Centro Interdipartimentale per la Preistoria e Protostoria del Mediterraneo (C.I.P.P.M.), Università degli Studi di Cagliari (Italy), email gtanda@unica.it - tgiuseppa@tiscali.it

\*\*\*\* Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE), Università degli Studi di Cagliari (Italy), Email vanzi@diee.unica.it

## ELABORAZIONE

Il secondo passo, l'elaborazione al computer della terza dimensione a partire dalle fotografie acquisite sul campo, era fino a poco tempo fa il più grosso svantaggio di questa tecnica: il calcolo della forma dai gradienti richiedeva molti minuti di calcolo.

	Metodo precedente	Metodo attuale
Elaborazione	90 minuti	3 minuti
Creazione plastico	120 minuti	4 minuti

Tab.1 Confronto tempi di calcolo tra i due metodi

La velocizzazione dell'elaborazione della superficie raggiunta ora permette invece di rendere la tecnica molto più usufruibile e competitiva per gli studi archeologici, per la condivisione e la divulgazione:

la ricostruzione 3D viene salvata in formato PLY, apribile con un gran numero di programmi per visualizzazione e rendering 3D, che contiene in assoluto tutta la informazione originale, e consente già ad una consultazione diretta di individuare i dettagli di forma e le peculiarità cromatiche.

Il problema successivo riguardante lo studio delle superfici rimane ancora in sospeso: non si è ancora riusciti a trovare un metodo di estrazione automatica dei disegni. Dai plastici occorre ancora ruotare virtualmente le luci in maniera radente alla superficie per esaltare tutti i dettagli, catturare delle fotografie e, una volta caricate tutte su un programma di elaborazione grafica digitale, disegnarci sopra con l'aiuto di strumenti quali le tavolette grafiche.

Tuttavia, questa fase manuale trasporta virtualmente l'intero reperto nello studio del ricercatore, consentendogli di operare il rilievo in condizioni molto più agevoli, e senza dover sottostare ai vincoli climatici, logistici e temporali tipici del lavoro sul campo. La tecnica, inoltre rimane totalmente "contactless".

Per passare a qualche esempio, con riferimento al Progetto Domus de Janas, la fig.1a e 1b mostrano alcuni degli scatti della "mappa del villaggio" della tomba XV della necropoli di Sos Furrighesos- Anela, scoperta recentemente (Tanda, 2015, CdS). Questo complesso figurativo, rientra in una particolare Categoria di motivi geometrici, la categoria VI.mappe, ben documentate in Valcamonica (Priuli, 1991:319,27-28). Fanno parte della categoria anche i motivi incisi sul pavimento del riparo funerario di Frattale-Oliena (Moravetti 1980:199-226), di cultura Ozieri (IV-III millennio a.C.), le incisioni e gli altorilievi di Sa Icu (Manunza, 1995:76-81 figg.104-109) e di Galtellì (Manca 1993, 16-22). Nella tomba XV

di Sos Furrighesos tali incisioni si presentano ormai semidistrutte, per cui documentazione fotografica qui mostrata è, insieme alle fotografie scattate in fase di scavo e scoperta, l'unica disponibile. Le Fig.2a, 2b e 2c mostrano la sua ricostruzione tridimensionale virtuale, con illuminazione scelta arbitrariamente. Nella 2a si è mantenuta la colorazione originale della superficie, la 2b e 2c presentano invece la superficie spogliata dal colore. La 2b in particolare mostra il problema della bombatura della superficie.

Si osservi come, nelle immagini 1a e 1b e 2a, sia evidenziata tutta la difficoltà della documentazione fotografica convenzionale, a causa della mescolanza tra chiari e scuri dovuti al colore della superficie e ombreggiature dovute ai solchi incisi, mentre una volta tolti i colori, nella fig.2c tutti i solchi risultano decisamente più rilevabili. La figura 3a mostra il rilievo della mappa del villaggio effettuato con l'utilizzo di tavoletta grafica e software di elaborazione grafica.

Il rilievo 3D consente di valutare in caso di sovrapposizioni quali siano le incisioni postume e quindi effettuare una stratigrafia valida della roccia. Le fig.4a e 4b mostrano una delle fotografie scattate sul campo dell'orante della tomba XV della necropoli di Sos Furrighesos. In particolare, nella 4b si nota distintamente che l'incisione orizzontale è stata marcata successivamente a quella verticale.

## CONCLUSIONI

In conclusione, ripetendo quanto già detto al termine della prima presentazione di questa metodologia di ripresa, questa seconda presentazione riporta l'ulteriore esperienza sul campo che ha portato alla sperimentazione e perfezionamento di tecniche 3D di Photometric Stereo in campo archeologico. Non vi è ambizione alcuna di proporre tale metodologia come alternativa alle molto più raffinate e popolari metodiche esistenti, quali la scansione laser. Al contrario, la conoscenza diretta dei limiti intrinseci della Photometric Stereo, essenzialmente collegati alla distorsione delle volumetrie in condizioni di ripresa reali, induce a restringerne il campo di applicazione al settore specifico delle incisioni o decorazioni in bassorilievo.

In tale ristretto ambito, tuttavia, le prestazioni qualitative e metriche della tecnica e la rapidità di calcolo raggiunta sono di assoluta eccellenza.

La capacità di separare forma da colore e di estrarre questo ultimo in forma non alterata da ombreggiature aggiunge alla metodologia proposta la capacità di realizzare ricostruzioni assolutamente realistiche dei reperti e utilizzare la tecnica per lo studio dei rilievi e delle stratigrafie.

## BIBLIOGRAFIA

- BARSKY S., PETROU M.  
2003 *The 4-source photometric stereo technique for three-dimensional surfaces in the presence of highlights and shadows*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25(10), pp. 1239-1252.
- DESSI R., MANNU C., RODRIGUEZ G., TANDA G., VANZI M.  
2015 *Recent improvements in photometric stereo for rock art 3D imaging*. In Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage.
- DESSI R.  
2014 *Algoritmi Ottimizzati per la Photometric Stereo Applicati all'Archeologia*. Bachelor's Thesis in Electrical and Electronical Engineering, University of Cagliari. Scaricabile su: <http://bugs.unica.it/~gppe/did/tesi/14dessi.pdf>
- MANCA G.  
1993 *Gallè. Cippi rupestri e petroglifi*, in "Sardegna Antica. Culture Mediterranee" 3, pp. 16-17.
- MANUNZA M.R.  
1995 *Dorgali. Monumenti antichi*. Oristano.
- MORAVETTI A.  
1980 *Riparo sotto roccia in località Frattale (Oliena-Nuoro)*. Atti della XXII Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Sardegna centro-settentrionale 21-27 ottobre 1978, pp. 199-226.
- PRIULI A.  
1991 *La cultura figurativa preistorica e di tradizione in Italia*, Pesaro.
- TANDA G.  
1984 *Arte e Religione della Sardegna Preistorica nella Necropoli di Sos Furrighesos-Anela*. Chiarella Ed., Sassari.
- 2000 *La tomba XV di Sos Furrighesos, Anela (SS)*. In Atti del Congresso Internazionale: L'Ipogeismo nel Mediterraneo: Origini, Sviluppo, Quadri Culturali, 23-28 maggio 1994, pp. 931-933.
- TANDA G., cds  
2015 *La casa nell'ideologia funeraria in Sardegna, tra il Neolitico Recente e l'Età del Rame*, in AA.Vv., omaggio a Antony Bonanno, Università di Malta.
- VANZI M., TANDA G., MANNU C.  
2013 *Stereofotometria per la documentazione in 3D di incisioni e rilievi. Applicazioni nell'arte preistorica della Sardegna*. Atti del XXV Valcamonica Symposium, pp. 155-160.
- WOODHAM R.J.  
1980 *Photometric method for determining surface orientation from multiple images*. Optical Engineering, 19, 1, pp. 139-144.



Fig.1 a-b - Fotografie della roccia antistante la tomba XV della necropoli di Sos Furrighesos, Anela, Sardegna.



Fig. 2 a - Ricostruzione 3D.



Fig. 2 b - Dettaglio della bombatura generale della superficie.



Fig. 2c - Ricostruzione 3D senza colorazione superficiale.



Fig. 3a - Rilievo preliminare dell'incisione della "mappa del villaggio".



Fig. 4a - Tomba XV della necropoli di Sos Furrighesos, Anela, Sardegna.



Fig. 4b - Ricostruzione 3D.