

## **Rilievo sperimentale 3D ad alta definizione di una delle steli antropomorfe rinvenute nel sito archeologico di Saint-Martin-de-Corléans (Aosta)**

Leandro BORNAZ (\*), Gaetano DE GATTIS (\*\*), Roberto DOMAINE (\*\*), Roberto FOCARETA (\*\*\*), Chiara PORPORATO (\*), Fulvio RINAUDO (\*)

(\*) DITAG, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell' Ambiente e delle Geotecnologie, Corso Duca degli Abruzzi, 24, 011.564 7687/7687/7659, *leandro.bornaz@polito.it*, *chiara.porporato@polito.it*, *fulvio.rinaudo@polito.it*

(\*\*) Assessorato istruzione e cultura, Dipartimento Soprintendenza per i beni e le attività culturali, Direzione restauro e valorizzazione, Piazza Roncas, 12 – 11100, Aosta, Italia, (+39) 0165 27 5904/2708, *g.degattis@regione.vda.it*  
*r.domaine@regione.vda.it*

(\*\*\*) Visionetica, Visual Digital Technologies (Aosta)

### **Riassunto**

La Valle d'Aosta, regione alpina ai piedi del Monte Bianco che da sempre è un importante luogo di passaggio e collegamento tra i paesi a ridosso delle Alpi, ha conservato importanti tracce di insediamenti preistorici e protostorici. I più importanti insediamenti preistorici ritrovati sul territorio sono le necropoli eneolitiche di Champrotard (Villeneuve), Montjovet e Vollein (Quart) e il sito di Saint-Martin-de-Corléans, vasta area di culto che ha restituito monumenti megalitici innalzati dal Neolitico all'età del Bronzo. Anche il "cromlech" del Piccolo San Bernardo potrebbe risalire alla stessa epoca.

La zona megalitica di Saint-Martin-de-Corléans si trova nell'immediata periferia della città di Aosta. Si tratta di un sito risalente al terzo millennio a.C. che era dedicato al culto ed ai riti di sepoltura. In questo sito sono infatti state ritrovate numerose steli antropomorfe, tombe e menhir megalitici.

Le steli antropomorfe rinvenute sono rievocative di quelle ritrovate nel sito del Petit Chasseur a Sion (Svizzera), prova dell'intensità degli scambi culturali e del passaggio delle popolazioni del tempo attraverso il colle del Gran San Bernardo durante tutto il periodo preistorico.

Le steli antropomorfe provenienti dagli scavi del sito archeologico di Saint-Martin-de-Corléans sono le cosiddette statue menhir, raffiguranti in modo sintetico personaggi maschili e femminili variamente abbigliati e provvisti di armi ed ornamenti risalenti ad un'epoca compresa tra la fine del Neolitico e l'Età del Rame, ossia attorno al 3.000-2.500 a.C. Il periodo storico è particolarmente importante poiché tra la fine dell'Età della Pietra e l'inizio dell'Età dei Metalli ha tratto origine la civiltà moderna. Cosa raffigurino le steli (divinità, eroi, antenati) è ancora oggetto di studio e di ricerche.

Le steli antropomorfe di Aosta sono state esposte ai fattori atmosferici quali sole, pioggia e neve per molti anni, aspetto che ha determinato un lento ma costante degrado della loro superficie decorata. Oggi le decorazioni di alcune steli sono appena visibili. La visione di talune di queste è infatti possibile unicamente mediante metodi di illuminazione radenti della superficie decorata, che permettono di evidenziare i disegni ancora presenti attraverso le poche ombre che si formano sulla superficie stessa.

Lo scopo degli archeologi è di conservare la superficie delle steli custodendole in luoghi riparati ed in condizioni climatiche costanti. Per la salvaguardia del patrimonio culturale rappresentato dalle steli antropomorfe del sito di Saint-Martin-de-Corléans è oggi possibile ottenere dei modelli digitali 3D ad elevata risoluzione della parte decorata delle steli stesse.

I sistemi di acquisizione di modelli digitali 3D ad elevata risoluzione nascono in ambito meccanico per il controllo automatico dei manufatti prodotti. Vista la qualità del dato che i sistemi generano, questi sono stati negli anni successivi, utilizzati anche nel campo del rilievo del patrimonio archeologico e culturale. In questi ambiti, infatti, conoscere con sufficiente precisione la forma di un oggetto, consente non solo lo studio dell'oggetto da un punto di vista archeologico, ma offre anche la possibilità di effettuare una sua eventuale riproduzione o sostituzione.

Gli strumenti in grado di acquisire modelli tridimensionali ad elevata precisione sono molti e si basano su principi di acquisizione anche molto differenti.

Il presente articolo descrive il rilievo sperimentale 3D ad elevata risoluzione di una delle 41 steli antropomorfe rinvenute nel sito archeologico di Saint-Martin-de-Corléans. Lo strumento utilizzato per il rilevamento è un laser a scansione considerato di terza generazione, l'HANDYSCAN 3D, recentemente acquistato dal gruppo di ricerca DITAG del Politecnico di Torino. In contemporanea al rilevamento laser ad alta definizione è stato realizzato un completo rilevamento fotogrammetrico della stele in modo da poter creare un modello 3D a colori reali dell'oggetto stesso. Il modello 3D così ottenuto è quindi stato elaborato con tecniche di modellazione di superficie 3D per cercare di mettere in evidenza le decorazioni presenti ed agevolarne quindi la lettura e l'interpretazione.

## Abstract

The Aosta Valley still preserves important traces of prehistoric and protohistoric settlements in the aeneolithic necropolises of Champrotard (Villeneuve), Montjovet and Vollein (Quart), partly associated with groups of rupestrian engravings. Megalithic monuments erected from the Neolithic Period to the Bronze Age have been found in the outskirts of Aosta, in Saint-Martin-de-Corléans, in a wide area that was once used for worship purposes. The Little St-Bernard Pass "cromlech" could also date back to the same age.

The Saint-Martin-de-Corleans megalithic area, on the outskirts of Aosta, was a place of worship and then of burial from the third millennium B.C. onwards, with alignments of anthropomorphic stelae, megalithic tombs and menhirs. The anthropomorphic stelae, most likely representations of gods or of ancient heroes, are reminiscent of those of the Petit Chasseur in Sion, proof of the intensity of cultural exchanges over the Great St. Bernard Pass during the whole prehistoric period. The decorations of some stelae are at present barely visible. It is just possible to see some decorated parts using a specific shaving lighting system.

The aim of the archaeologists was to preserve the surface of the stelae by arranging them in sheltered areas. At the same time, it was very important to carry out a 3D high resolution survey of the decorated part of the stelae. The aim was to prevent the decoration of the stelae from being lost in the future.

The paper describes the acquisition phases and the obtained results of a 3D HandyScan High accuracy survey on one of the 41 anthropomorphic stelae found in the megalithic area of Saint-Martin-de-Corleans, on the outskirts of Aosta. In addition, a complete photogrammetric survey was carried out in order to check the possibility of applying a realistic photo mapping of the object to the acquired 3D model.

## Introduzione

Le steli antropomorfe, assieme ad alcuni menhir ed alcune tombe megalitiche, sono state rinvenute nell'area megalitica di Saint Martin de Corléans nel 1969, alla periferia della città di Aosta, durante gli scavi per la costruzione di alcuni palazzi residenziali (45°44'7.04"Nord, 7°17'51.19"Est, Datum WGS84).



Figura 1 – L'area megalitica di Saint Martin de Corléans (a sinistra) e due delle steli ritrovate oggi esposte nel Museo Archeologico Regionale di Aosta (a destra)

Le steli rinvenute presentano decorazioni in bassorilievo risalenti al periodo neolitico del bronzo (2500 – 3000 a.c). Purtroppo, per svariate ragioni, le decorazioni di alcune delle steli sono oggi difficilmente visibili ad occhio nudo. Solo grazie ad una illuminazione radente della superficie delle steli, che crea giochi di luce ed ombra, è oggi possibile ammirare la complessità e la bellezza dei disegni che le caratterizzano (vedi figura 2).

Il rilevamento della superficie di una delle steli ha come intento la verifica della possibilità di migliorare la lettura delle decorazioni stesse attraverso metodologie di modellazione tridimensionale di superficie.

Le attuali decorazioni in bassorilievo presentano una dimensione che mediamente è dell'ordine di 1 mm o inferiore. Risulta quindi necessario utilizzare metodologie e strumenti del rilevamento in grado di rilevare con altissima precisione la superficie della stele stessa.

Oggi il mercato degli strumenti di acquisizione propone differenti soluzioni tecnologiche (LIDAR, olografia, fotogrammetria, ...) per ottenere modelli tridimensionali ad elevata precisione e densità. Molti di questi strumenti sono però utilizzabili solamente all'interno di laboratori dedicati e difficilmente sono adoperabili direttamente sul sito nel quale si trovano gli oggetti di interesse.

Nel caso in esame, non essendo la stele trasportabile, è necessario utilizzare uno strumento che possa essere impiegato anche in sito garantendo comunque elevate precisioni e densità di acquisizione.



Figura 2 – La stele antropomorfa illuminata con luce diffusa (a sinistra) e illuminata con luce radente (in centro). A destra è possibile vedere un dettaglio della superficie decorata della stele con differenti tipi di illuminazione (diffusa in alto e radente in basso)

### L'HandyScan3D ( CREAFORM)

Lo strumento che è stato utilizzato per il rilevamento della stele antropomorfa è l'HandyScan3D. Si tratta di un sensore laser a scansione ad intersezione basato sul principio di visione stereoscopico classico della fotogrammetria. Questo strumento è prodotto dalla Creaform, un centro tecnologico Canadese per il *reverse engineering*. E' considerato un laser ad alta risoluzione di terza generazione ed è stato presentato come l'unico strumento auto posizionante al mondo. La precisione di acquisizione è 0.1 mm mentre la densità è dipendente dalla dimensione dell'oggetto o della porzione di esso che si vuole memorizzare.

Il sensore è dotato di due telecamere rigidamente connesse tra loro, una serie di led luminosi e da un proiettore laser a lama di luce.



Figura 2 – L'unità di acquisizione HandyScan3D (980 g, 160 x 260 x 210 mm, ISO accuracy: 20  $\mu$ m + 0.2L/1000)

Il principio di acquisizione strumentale è semplice perché si basa sul classico principio stereoscopico fotogrammetrico ma alcune soluzioni tecnologiche adottate in questo strumento rappresentano una grande innovazione nel campo del rilevamento dei beni architettonici ed archeologici.

L'HandyScan3D è uno strumento di dimensioni e peso ridotti e, quindi, facilmente trasportabile ed utilizzabile e permette l'acquisizione di modelli tridimensionali complessi di dimensioni qualsiasi.

### L'acquisizione dei dati

Prima di iniziare con l'acquisizione dei dati lo strumento deve essere calibrato geometricamente e radiometricamente.



Figura 4 – Calibrazione geometrica (a sinistra) e calibrazione radiometrica (a destra) dello strumento

La calibrazione geometrica è effettuata utilizzando un apposito piatto di calibrazione in dotazione con lo strumento. Questa operazione serve a ricalibrare l'orientamento relativo delle telecamere dello strumento, che può variare durante il trasporto o a causa di variazioni ambientali, e permette di ottenere la massima precisione possibile. La calibrazione geometrica serve a fissare la scala del rilevamento.

La calibrazione radiometrica permette invece di ottimizzare i parametri fotogrammetrici delle due telecamere e della potenza della luce laser in funzione della luminosità dell'ambiente nel quale si opera e del tipo di materiale che si vuole acquisire. La calibrazione radiometrica avviene in modo assistito acquisendo una parte dell'oggetto di interesse con caratteristiche superficiali omogenee. Se l'oggetto che si vuole rilevare presenta zone di materiale, colore ed illuminazione differenti, per ottenere il modello 3D completo e corretto dell'oggetto, è necessario ripetere la calibrazione radiometrica per ogni parte, ed acquisire ognuna di esse in fasi differenti.

Prima di iniziare la vera e propria acquisizione dell'oggetto è inoltre necessario disporre sullo stesso alcuni target di riferimento (piccoli adesivi riflettenti di forma circolare e diametro di 6mm). Questi specifici punti rappresentano il sistema di riferimento nel quale avviene il rilevamento. L'inter-distanza dei target deve essere di circa 6 cm, valore che è stabilito in funzione delle caratteristiche strumentali, in particolare dal campo stereoscopico di acquisizione delle telecamere.

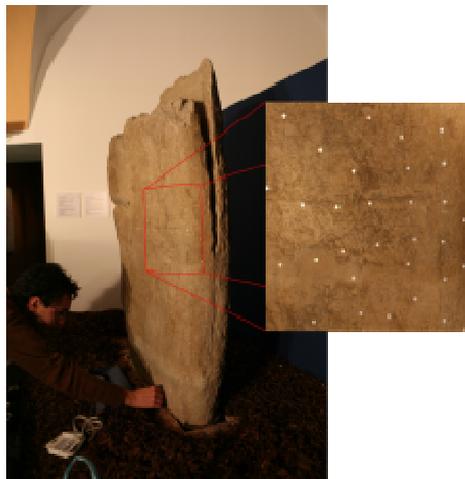


Figura 5 – Posizionamento dei target di riferimento dello strumento

Durante l'acquisizione dei dati i led luminosi illuminano alcune delle mire posizionate sull'oggetto, il software di gestione dello strumento ne calcola la posizione tridimensionale in un sistema di riferimento locale tramite la stereoscopia realizzata dalla presenza delle due camere e calcola la posizione dello strumento nello stesso sistema di riferimento.

Prima dell'acquisizione finale del modello 3D viene inoltre definito, da parte dell'utente, il volume in cui l'oggetto (o una parte di esso) è contenuto. Questo volume è suddiviso in *voxel* che rappresentano un elemento di volume in uno spazio tridimensionale. Il *voxel* ha dimensioni differenti a seconda del volume scelto ed a seconda della risoluzione impostata (il software consente di selezionare 3 gradi di risoluzione differenti a parità di volume acquisito) e rappresenta la densità di acquisizione finale del modello.

A seconda della densità di punti che si vuole acquisire è quindi necessario agire sul volume acquisito e sulla risoluzione del volume stesso.



Figura 6 - Distribuzione L'Handyscan durante la fase di acquisizione dei dati (a sinistra). Il software di acquisizione durante le fasi di rilevamento (a destra)

Nel caso in esame l'oggetto è stato suddiviso in dieci porzioni ognuna delle quali è stata acquisita separatamente. In particolare la superficie decorata della stele è stata suddivisa in 9 porzioni di dimensione ridotta (circa 30 cm di lato) per ottenere un'elevata risoluzione dei modelli, mentre la parte posteriore della stele è stata acquisita in un unico modello di dimensione maggiore e, quindi, a densità e risoluzione minori.

Stabiliti le porzioni di oggetto da acquisire separatamente e la risoluzione del volume di lavoro, calibrato lo strumento geometricamente e radiometricamente, è possibile procedere con la vera e propria fase di acquisizione e memorizzazione dei dati. L'acquisizione avviene in tempo reale ed è gestita da un software installato su un PC portatile collegato allo strumento. Il software di acquisizione consente di vedere a video, in tempo reale, i dati acquisiti in modo da permettere la corretta e completa descrizione dell'oggetto e provvede autonomamente alla determinazione della superficie tridimensionale acquisita sottoforma di *mesh* 3D.

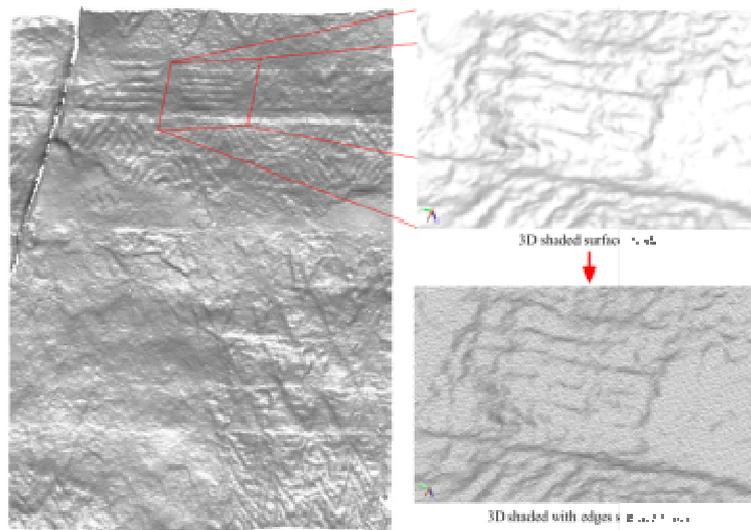


Figura 7 – Dettaglio di uno dei modelli 3D ottenuti

Il tempo impiegato per l'acquisizione completa della stele è di circa 6 ore. La densità media dei punti acquisiti è di circa 1 pto/ 2 mm.

#### Trattamento dei dati

Il trattamento dei dati laser è stato effettuato utilizzando in parte software commerciali (Raindrop Geomagic) ed in parte un software scientifico in fase di sviluppo da parte del DITAG del Politecnico di Torino (LSR 2004).

In particolare, il software universitario LSR 2004 è stato utilizzato per la filtratura dei singoli modelli e per il corretto allineamento, mediante un approccio di triangolazione basato su stime statistiche, delle singole scansioni.

Il modello finale ottenuto è un modello 3D completo sottoforma di superficie continua della stele antropomorfa rilevata composto da 3'254'339 vertici e 6'410'393 facce tridimensionali per una superficie totale di ~ 4 m<sup>2</sup>.

La densità finale del modello è pari a 1 punto ogni 2 mm con una precisione nel rilevamento di 0.2 mm.

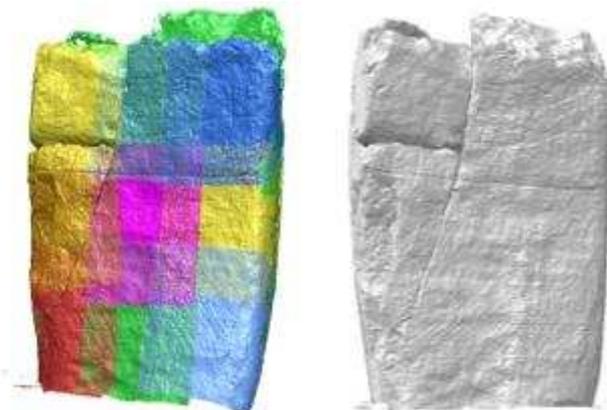


Figura 8 – La stele durante la fase di allineamento dei singoli modelli 3D (a sinistra) e il modello 3D finale ottenuto ad elaborazioni concluse (a destra)

### **Prodotti finali**

Oltre al rilevamento laser scanner è stato effettuato un completo rilevamento fotogrammetrico della stele con la camera fotografica digitale Canon Eos 5D dotata di obiettivo calibrato con focale fissa di 28 mm.

Il rilievo fotogrammetrico ha permesso di ottenere il modello 3D a colori reali della stele per mezzo della ri-proiezione sulla superficie delle immagini stesse.

Questo tipo di prodotto rappresenta oggi il più importante output ottenibile con questo tipo di strumenti e permette agli esperti del settore di effettuare analisi complete ed esaustive dell'oggetto.



Figura 1 – Modello 3D a colori della stele e immagine della stele acquisita

Gli autori, in accordo con gli specialisti del museo archeologico regionale, stanno studiando una metodologia di modellazione 3D che permetta di mettere in evidenza le decorazioni presenti ed agevolare, quindi, la lettura dei decori presenti

### **Conclusioni**

L'HANDYSCAN 3D rappresenta uno strumento innovativo e di grande precisione nella digitalizzazione di modelli tridimensionali. La facilità d'uso ed i costi ridotti sono vantaggi non trascurabili. A discapito di questi, l'HANDYSCAN 3D necessita il posizionamento sull'oggetto che si vuole rilevare di un numero sufficiente di mire, il cui numero è funzione della grandezza della superficie da acquisire.

Il modello digitale ottenuto, grazie alla versatilità dei software di visualizzazione e indagine tridimensionale, agevola sensibilmente la lettura delle decorazioni permettendo la visione dell'oggetto senza particolari artifici luminosi.

### **Riferimenti Bibliografici**

Bornaz L., Peretti L., Porporato C., Rinaudo F. , *New Trends on High Resolution Survey in Cultural Heritage Metric Survey Applications for Restoration*, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006), 30 ottobre – 4 novembre 2006

L. Bornaz, A.Lingua, F. Rinaudo, *Terrestrial laser scanner. Increasing Automation for Engineering and Heritage Applications*, GIM International N° 3 Volume 17

Museo archeologico di Aosta: [www.regione.vda.it/cultura/beni\\_culturali/musei/museo\\_archeologico/default\\_i.asp](http://www.regione.vda.it/cultura/beni_culturali/musei/museo_archeologico/default_i.asp)