

## **Documentare, studiare, divulgare: la valorizzazione del Santuario nuragico di Irgoli (NU, Sardegna)**

Laura Lai, Sandro Dettori

Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio (DipNeT), Università degli Studi di Sassari, via E. de Nicola, 9,  
07100 Sassari, tel.079/229236, fax 079/229337, [lail@uniss.it](mailto:lail@uniss.it) - [sdettori@uniss.it](mailto:sdettori@uniss.it)

### **Riassunto**

La restituzione e la ricostruzione tridimensionale di Beni Culturali sono ormai parte integrante delle attività di ricerca archeologiche e storico-architettoniche. I progressi tecnologici e le applicazioni informatiche hanno portato ad un miglioramento qualitativo e quantitativo delle tecniche di indagine 3D. È tuttavia sempre più indispensabile comunicare e divulgare le conoscenze scientifiche acquisite al fine di valorizzare il patrimonio culturale e diffondere le conoscenze. In questo contributo si intende mostrare una “buona pratica” che, alla conoscenza e allo studio specialistico, affianca la comunicazione dei risultati al vasto pubblico utilizzando i modelli 3D prodotti durante le fasi di documentazione archeologica. I dati 3D permettono, infatti, la creazione di prodotti accattivanti e di facile comprensione per la totalità dei pubblici. Il caso di studio proposto è il Santuario nuragico di Janna ‘e Pruna di Irgoli (NU, Sardegna). Il progetto di ricerca ha previsto, al termine delle attività di studio, la realizzazione di due prodotti di valorizzazione e divulgazione scientifica. La rappresentazione fotorealistica del santuario, ottenuta con tecniche di rilievo 3D fotogrammetrico, è stata integrata all’interno di una scheda descrittiva navigabile in formato .pdf, cosiddetto PDF3D, nonché utilizzata per realizzare un tour virtuale di breve durata che accompagna il visitatore all’interno della area sacra nuragica di Janna ‘e Pruna.

### **Abstract**

In recent years, 3D modelling and 3D survey in Cultural Heritage have a significant part in archaeological and architectural research. The improvement in technologies, software and hardware are leading a qualitative and quantitative enhancement for 3D documentation. However, in the opinion of authors, communication and scientific dissemination are essential to involve communities in the knowledge of cultural heritage in order to enhance the awareness of own past and history. In this paper, we intend to show a good practice that, in addition to the specialized study, supports the dissemination of results to the public using the 3D models realized during the archaeological documentation phases. In fact, 3D data can be used to create multimedia, video, virtual tours and other similar products that make scientific aspects easy to understand for non-specialists public. The case study is the Nuragic Sanctuary Janna ‘e Pruna in the territory of Irgoli (Nuoro, Sardinia). In the research project, we planned to realize two dissemination products at the end of the scientific study. The 3D photorealistic sanctuary, obtained from a photogrammetric technique, has been integrated into a navigable descriptive sheet called PDF3D and it has been used to make a short virtual tour that leads visitors to “explore” the sacred area of Janna ‘e Pruna.

### **Introduzione**

Il progetto di ricerca “Il santuario nuragico di Janna ‘e Pruna e di Su Notante di Irgoli: dallo scavo alla restituzione 3D” è stato commissionato dal Comune di Irgoli (NU) al Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, dipartimento multidisciplinare dell’Università di Sassari.

Le attività si sono svolte tra la primavera e l'inverno 2015, con il partenariato della Soprintendenza Archeologica della Sardegna (sede di Nuoro) e grazie al contributo economico della Fondazione di Sardegna (annualità 2014).

Il santuario nuragico oggetto della ricerca è stato portato in luce e reso fruibile grazie a tre campagne di scavo archeologico condotte nel 1994, 2001 e 2003 dirette dalla competente Soprintendenza. In seguito a questi scavi si rendeva necessario documentare lo stato attuale del monumento con rilievi puntuali.

Alla documentazione archeologica si è deciso di affiancare l'elaborazione di prodotti di divulgazione che il Comune potesse utilizzare per la valorizzazione e promozione del monumento, attualmente fruibile e visitabile grazie al servizio di gestione coordinato dall'archeologa Susanna Massetti (Antiquarium comunale di Irgoli).



Figura 1 – Il tempio di Janna 'e Pruna di Irgoli (© Laura Lai)

### Breve descrizione del caso di studio<sup>1</sup>

Il santuario nuragico di Janna 'e Pruna e di Su Notante si trova in prossimità del Monte Senes (862 m s.l.m.) a circa 12 km dal centro abitato di Irgoli (NU, Sardegna).

È ubicato lungo una via di comunicazione naturale che in antico, utilizzando i valichi di Janna (m 560 s.l.m.) e di Janna 'e Pruna (m 590 s.l.m.), collegava due fertili vallate solcate dal fiume Cedrino, a meridione, e dal rio Siniscola, a settentrione. Entrambe le valli costituivano importanti direttrici per i collegamenti fra la costa e l'interno dell'Isola. La rilevanza di questo itinerario è documentata dall'area archeologica di Janna 'e Pruna, ma anche dai numerosi siti archeologici individuati lungo tutto il tracciato che coprono un arco di tempo che va dall'età pre-protostorica fino all'epoca romana e medievale.

Le campagne di scavo stratigrafico hanno svelato un interessante e articolato sito archeologico. Esso è composto da due principali emergenze: a monte, un'area recintata comprendente il tempio circondato da una struttura muraria trapezoidale (*temenos*) e una struttura circolare pavimentata

<sup>1</sup> Per la stesura di questo paragrafo si ringrazia il Dott. Antonio Sanciu e la D.ssa Susanna Massetti per la documentazione messa a disposizione. Si veda anche Massetti, Sanciu, 2013 e Massetti, 1997.

antistante il tempio; a valle, la fonte sacra di Su Notante. Fanno parte dell'area archeologica, ma non coinvolte nella presente ricerca né ancora scavate dagli archeologi, altre due strutture che si trovano tra l'area sacra a monte e la fonte nuragica, inoltrandosi nella piccola valle del Riu Remulis. I reperti archeologici recuperati durante gli scavi stratigrafici del 2001 e del 2003 sono conservati presso l'Antiquarium comunale del paese. Il materiale consente di datare il tempio di Janna 'e Pruna nell'ambito dell'età del Bronzo Finale – prima età del Ferro.

La planimetria del tempio trova confronti con edifici di età nuragica, tra i quali la cosiddetta "Capanna del Capo" del villaggio-santuario di Santa Vittoria di Serri (CA), i complessi cultuali di Sos Nurattolos di Alà dei Sardi (SS) e di Sa Carcaredda di Villagrande Strisaili (OG), l'edificio sacro di Sirilò a Orgosolo (NU) e il santuario di Su Monte di Sorradile (OR), collocati in un arco cronologico compreso tra l'età del Bronzo Recente evoluto e l'età del Bronzo Finale – prima età del Ferro.

La fonte sacra di Su Notante, l'unica parte del sito ad essere stata scavata nel 1994, si trova più a valle (530 m s.l.m.) a circa 100 metri in direzione S-SE. È stata costruita a ridosso della sponda destra del Riu Remulis. Il monumento, realizzato con conci perfettamente squadri di basalto, è stato danneggiato intorno al 1920 dai lavori effettuati nell'area per la realizzazione di una rete di captazione idrica; si conserva solo la porzione ovest della facciata, vera e propria camicia architettonica monumentale che riveste l'affioramento naturale di roccia a cui la fonte si addossa. Nella facciata si apre il pozzetto di captazione della vena sorgiva che è tuttora alimentata.

La fonte sacra di Su Notante trova confronti più o meno stringenti con altre simili strutture nuragiche legate al culto dell'acqua e, in particolare, con la fonte di Santa Lulla di Orune (NU).

### **Cenni generali su potenzialità e utilizzi dei rilievi 3D**

La documentazione grafica è componente indispensabile della indagine archeologica e il rilievo 3D è lo strumento più completo ed efficiente per eseguire tale documentazione. La tridimensionalità sta sostituendo la bidimensionalità grazie alla maggior quantità e qualità dei dati offerti e alle possibilità di utilizzo multidisciplinari<sup>2</sup>.

I progressi tecnologici e le applicazioni informatiche hanno portato ad un miglioramento qualitativo e quantitativo delle tecniche di indagine archeologica. La realizzazione di rilievi mediante tecnologia laser scanning e/o fotogrammetria si utilizza sia negli scavi archeologici al fine di ricostruire le fasi diacroniche dell'area oggetto d'indagine, sia negli studi dell'archeologia dei paesaggi al fine di generare modelli tridimensionali del territorio indagato in Remote Sensing<sup>3</sup>.

Il modello che si ottiene dall'elaborazione dei dati 3D è misurabile per cui si possono effettuare analisi sulla geometria dell'oggetto, utili a validare eventuali ipotesi formulate o per farne di nuove. I modelli tridimensionali possono altresì essere la base d'appoggio per la visualizzazione di eventuale documentazione prodotta da termografie o da indagini geofisiche quali per esempio il GPR (Ground Penetrating Radar) per la valutazione dello stato degli elementi strutturali ed architettonici a fini conservativi e di restauro.

Censire i manufatti acquisendone la forma e lo stato nelle tre dimensioni della realtà, risulta di sicura utilità in quei siti e per quei monumenti che subiscono forte degrado o che sono esposti a danneggiamenti dovuti a intemperie e/o a eventi naturali.

Oltre che per scopi di rilievo tecnico, studio scientifico e catalogazione, i dati 3D permettono, però, di ottenere prodotti di comunicazione accattivante per il vasto pubblico, spostando dunque il focus dal pubblico degli specialisti al pubblico più eterogeneo dei non addetti ai lavori.

Il rilievo 3D di un reperto o di un sito archeologico, fornisce la base per elaborare ricostruzioni virtuali modellando le parti mancanti validate da dati scientifici e ipotesi archeologiche. E le

<sup>2</sup> Per una sintesi si veda ad esempio Remondino, 2011 e Russo et al., 2011 e la bibliografia dei relativi autori.

<sup>3</sup> Si parla di DTM (Digital Terrain Model) e DEM (Digital Elevation Model). I dati possono essere acquisiti mediante diversi metodi tra cui: rilievi topografici, misure fotogrammetriche, telerilevamento elaborando immagini digitali, riprese laser aviotrasportati (LiDAR) e terrestri.

ricostruzioni, indubbiamente, rafforzano l'esperienza percettiva dei beni culturali in una prospettiva di valorizzazione e promozione.

Si possono poi creare tour virtuali, eventualmente consultabili online o mediante applicazioni di realtà aumentata.

L'oggetto tridimensionale può essere inglobato in una scheda in formato .pdf, il cosiddetto PDF3D, di utilizzo sia specialistico che non specialistico a seconda delle informazioni inserite nella scheda .pdf. Il PDF3D può essere letto, aperto e manipolato su un qualsiasi personal computer grazie al più comune e diffuso software di lettura documenti, Adobe Reader.

La diffusione di viewer 3D nel web consente di rendere disponibili a qualsiasi internauta, siti archeologici navigabili nelle tre dimensioni in modo personalizzato, con il semplice click del mouse (es. Sketchfab.com).

I modelli 3D fotorealistici sono ormai molto diffusi grazie alla versatilità d'impiego e all'immediatezza comunicativa. Le riproduzioni virtuali realizzate con tecniche di rilievo 3D risultano essere altamente scientifiche poiché ripropongono la forma reale e sono conseguenza di una interpretazione archeologica del manufatto.

Non da ultimo, l'elevata accuratezza del rilievo consente in qualsiasi momento la riproduzione fedele di modelli in scala mediante l'utilizzo di stampanti 3D che, sempre più, sono alla portata di tutti (sul mercato o attraverso i FabLabs).

### Tecnologie e metodologie applicate nella ricerca

Per il rilievo tridimensionale del santuario di Janna 'e Pruna e per la fonte di Su Notante è stato utilizzato un approccio fotogrammetrico chiamato *Structure from Motion* (SfM) (Westoby et al., 2012).

L'approccio SfM prevede l'acquisizione di set di fotografie accuratamente scattate all'oggetto di studio. Dopo l'acquisizione delle immagini, incomincia il processo automatico o semi-automatico tipico della SfM mediante software *low-cost* che la implementano. Questa tecnica nasce dall'idea, propria della Computer Vision, di arrivare all'automatismo nella generazione dei modelli 3D, ma allo stesso tempo con la finalità, come in fotogrammetria, di ottenere un output metrico. Tecnicamente la SfM è una procedura nella quale, contemporaneamente, si ottengono i parametri interni ed esterni, ossia automaticamente o semi-automaticamente, viene fatta la calibrazione e l'orientamento esterno di set di foto senza specificare, a priori, una serie di punti di controllo di coordinate

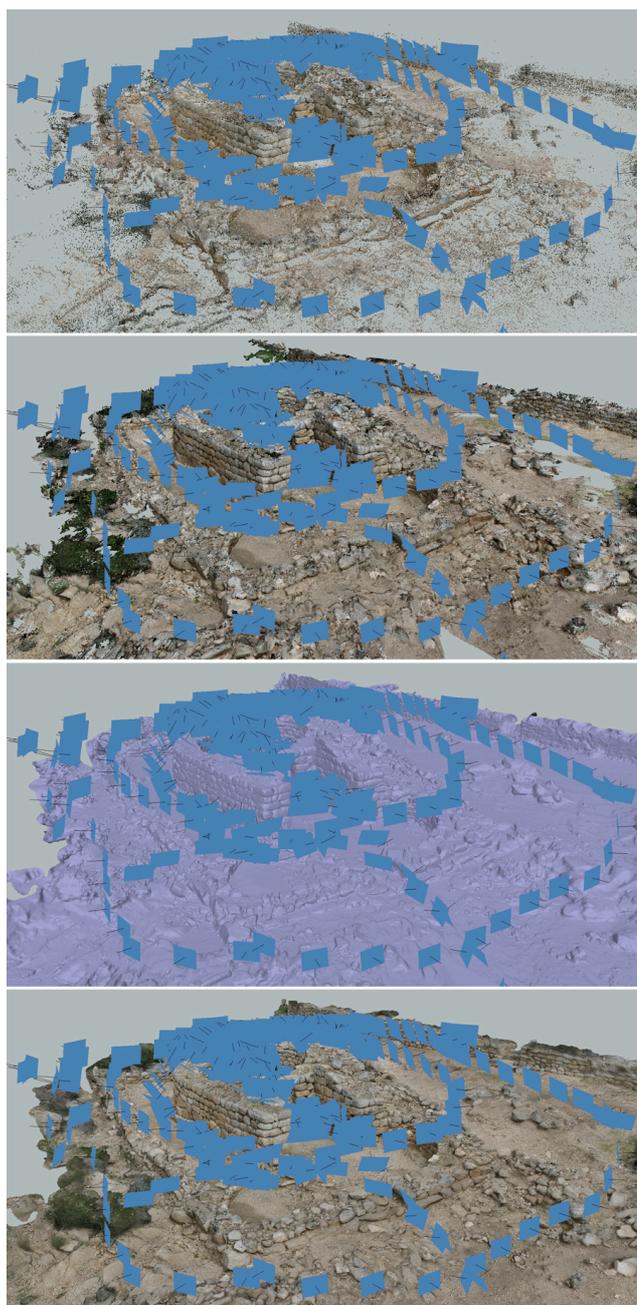


Figura 2 – Processo di restituzione 3D del tempio di Janna 'e Pruna di Irgoli: dalla nuvola di punti alla mesh texturizzata (© Laura Lai)

note<sup>4</sup>. Nella fotogrammetria pura, i due passaggi, calibrazione e orientamento, sono separati e questo consente di intervenire correggendo eventuali errori *step by step*.

Attualmente, la SfM costituisce la più recente innovazione nel mondo dei beni culturali e raggiunge livelli di precisione dei dati paragonabile ai dati laser. Il processing dei dati fotogrammetrici è pressoché immediato grazie ai software in commercio<sup>5</sup>. È basilare l'accurata acquisizione delle immagini, preferibilmente ad alta risoluzione, scattate da varie posizioni per mappare da diversi punti di vista l'oggetto preso in esame. La bontà del dato 3D, dipende, tra gli altri, dalla qualità delle fotografie in termini di risoluzione e nitidezza.

### **Il modello 3D del Santuario nuragico di Janna 'e Pruna**

Il modello 3D dell'area sacra recintata (superficie ca. 700 mq), che comprende il tempio con *temenos* e la struttura circolare pavimentata, è stato elaborato a partire da un set di 324 fotografie scattate con una macchina fotografica reflex dotata di sensore CMOS 23.4x15.6 mm da 14.6 megapixel (Fig. 2). Per il modello 3D della fonte di Su Notante sono state sufficienti 28 fotografie.

#### *Documentazione e studio*

Sui modelli ottenuti, opportunamente ottimizzati e corretti laddove presentavano imperfezioni o piccoli buchi, sono state effettuate misurazioni, osservazioni strutturali e interpretazioni archeologiche sull'ipotetico originario sviluppo del tempio nuragico.

Successivamente, i modelli fotorealistici sono stati utilizzati per elaborare la documentazione grafica riprodotte lo stato attuale del sito archeologico, post-scavo, mediante precise tavole tecniche di prospetti, piante, viste assonometriche e sezioni del tempio (Fig. 3).

---

<sup>4</sup> Nel caso del software *low-cost* utilizzato in questa ricerca, Agisoft Photoscan, è possibile, a discrezione dell'operatore, inserire le coordinate. Nel caso specifico, esse non sono state inserite in quanto non rilevate.

<sup>5</sup> A titolo d'esempio: Autodesk 123D Catch (Autodesk Inc., 2012), Bundler (Snably), PhotoModeler Scanner (Eos System Inc.), PhotoScan (Agisoft LLC), Photosynth (Microsoft Corporation) or VisualSFM (Wu).

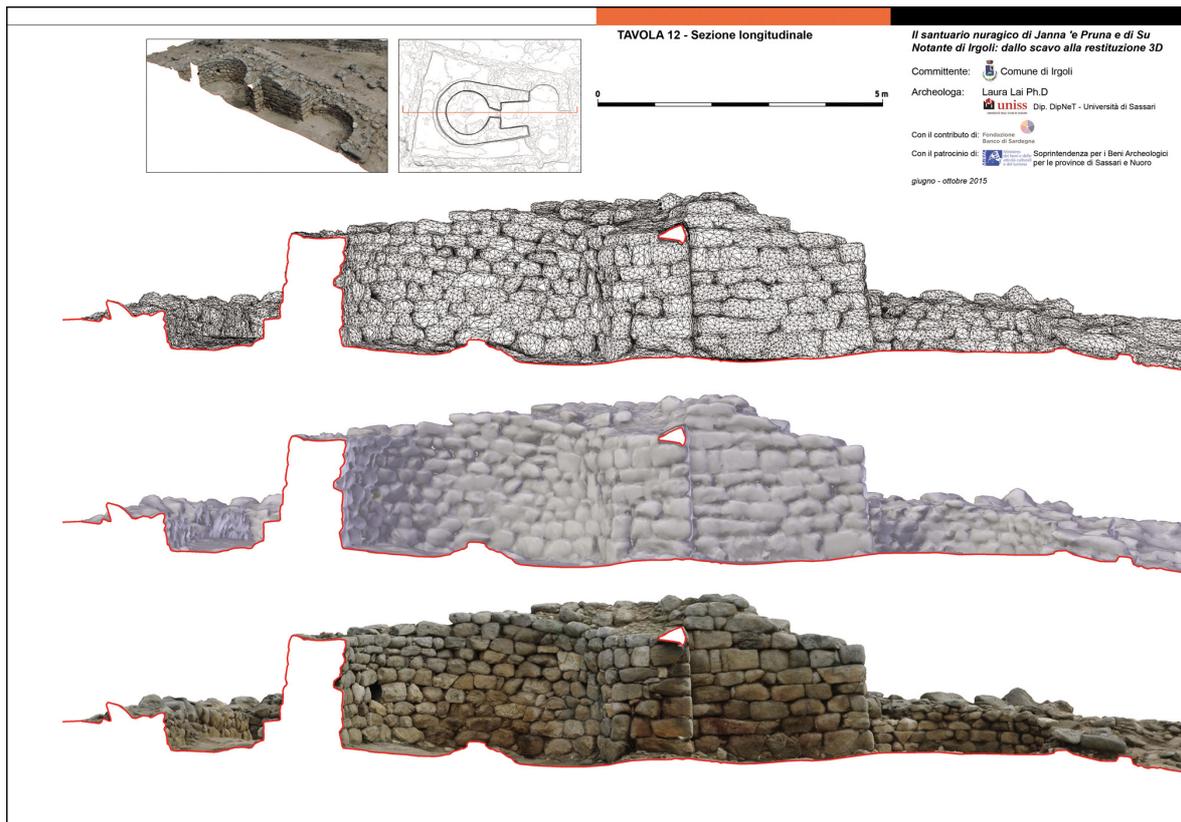


Figura 3 – Tavola tecnica riprodotte la sezione longitudinale del tempio di Janna 'e Pruna di Irgoli (© Laura Lai)

### Divulgazione

Per la realizzazione delle schede PDF3D la geometria e la texture sono state ridotte in modo tale da ottenere documenti digitali “leggeri” e facilmente gestibili con i più diffusi elaboratori anche senza disponibilità di hardware specifici per dati 3D.

Sono state realizzate due distinte schede descrittive, rispettivamente una per la fonte de Su Notante e una per l'area sacra con tempio.

Come detto precedentemente, le schede sono un prodotto interessante sia per specialisti che per non specialisti che vogliono semplicemente “sapere di più” sul sito.

Le schede sono state strutturate graficamente in modo che la porzione più grande fosse riservata ad accogliere il box che ingloba il modello 3D navigabile e la porzione minore fosse occupata dal box di testo. Quest'ultimo racconta i caratteri salienti del sito archeologico, fornendo informazioni su datazione, struttura e materiale costruttivo, funzione, ubicazione e fonti bibliografiche da consultare per approfondire la conoscenza (Fig. 4).

Il modello 3D inglobato nella scheda è navigabile e renderizzabile a piacimento utilizzando gli effetti messi a disposizione dal software gratuito Adobe Reader. È inoltre possibile prendere misure e visualizzare sezioni verticali e orizzontali a discrezione dell'utente.



Figura 4 – Scheda PDF3D del tempio di Janna 'e Pruna di Irgoli. In alto a sinistra si vedono i tools 3D del software gratuito Adobe Reader vers. XI (© Laura Lai)

Oltre alle schede PDF3D, è stato realizzato un breve video che accompagna il visitatore alla scoperta del tempio nuragico e, allo stesso tempo, illustra il processo di modellazione 3D, dalla nuvola di punti alla mesh texturizzata.

Il percorso di animazione della telecamera e il montaggio dei *frames* del video sono stati realizzati all'interno del software *open source* Blender. Il percorso è stato studiato per mostrare l'insieme del monumento, i dettagli architettonici, ma anche per suggerire quale poteva essere l'imponenza e l'importanza del complesso sacrale.

Lungo il tour sono stati inseriti pochi brevi testi che forniscono informazioni elementari sulla struttura costruttiva dell'area sacra e del tempio e sulla datazione cui si fa risalire il sito grazie agli scavi stratigrafici (Fig. 5).

Il video dura 3:28 minuti ed è accompagnato da una musica rilasciata gratuitamente dal compositore sotto licenza Creative Commons.

Alla fine del progetto di ricerca questo prodotto multimediale è stato caricato sulla piattaforma YouTube ([https://youtu.be/v93\\_cNi6WRk](https://youtu.be/v93_cNi6WRk)), nel sito istituzionale del Comune di Irgoli e diffuso attraverso i social networks.



Figura 5 – Un frame del tour virtuale elaborato per promuovere il sito nuragico di Janna 'e Pruna di Irgoli (screenshot da YouTube.com)

### Conclusioni e futuri sviluppi

Il rilievo e la modellazione 3D sono ormai parte integrante delle attività di ricerca archeologiche e storico-architettoniche. In molti casi, però, manca un'acquisizione dei dati e una lettura degli stessi con un approccio "archeologico" e l'informazione ottenuta dalla tridimensionalità si limita a visualizzazioni e animazioni grafiche.

I modelli fotorealistici che si ottengono dai rilievi 3D, siano essi da tecniche laser scanning o fotogrammetriche o dalla combinazione di entrambe, hanno un intrinseco valore comunicativo ed è dunque auspicabile che essi siano utilizzati per la divulgazione scientifica.

È opinione di chi scrive che l'archeologo debba acquisire sempre più dimestichezza con queste tecnologie e debba, al contempo, affiancare all'esigenza di studio e documentazione scientifica, quella della comunicazione dei risultati di tali ricerche al vasto pubblico.

Con questo contributo, si vuole stimolare l'impiego sistematico di questa "buona pratica" avviata in precedenti Studi. Nel 2011, con lo studio scientifico sull'eremo medievale di S. Alberto di Asciano (SI), vennero effettuati rilievi laser scanning e al termine della ricerca si elaborò, come prodotto divulgativo, un semplice tour virtuale con poche annotazioni testuali (Campana et al., 2012 e 2014).

Negli anni seguenti, la pratica è stata portata avanti in occasione del progetto di ricerca condotto con la Soprintendenza Archeologica di Sassari e Nuoro presso il nuraghe Oes di Giave (SS) (Lai, Sordini, 2014; Lai et al., 2015). Tutta la filiera venne migliorata, si realizzò un modello 3D del nuraghe combinando rilievo laser scanning con rilievo fotogrammetrico SfM e si iniziò a rappresentare "pietra per pietra" piante, prospetti e sezioni sfruttando la possibilità di elaborare la geometria 3D in ambiente CAD. Per il progetto del nuraghe Oes, vennero realizzati sia PDF3D che video, tuttavia il PDF mostrava il modello del nuraghe non texturizzato e privo di informazioni e descrizioni aggiuntive. Il video, invece, anch'esso condiviso sulla piattaforma YouTube, mostrava sia il lavoro di documentazione eseguito sia le caratteristiche e la maestosità del monumento archeologico. Il progetto suscitò curiosità e interesse sia nel pubblico specialistico che in quello non specialistico.

Il contributo presentato vuole dimostrare che con le tecniche fotogrammetriche e i software oggi sul mercato (*low cost e open source*) è possibile divulgare in modo immediato, efficace e accattivante. Il caso di Janna 'e Pruna dimostra che ciò è possibile intervenendo con opportune rielaborazione sui modelli 3D realizzati durante la campagna di scavo archeologico e operando consapevoli

compromessi tra corposità dei dati 3D e esigenze di visualizzazioni ottimizzate per il web e per comuni pc. Ci si auspica, dunque, che nelle indagini e negli scavi archeologici l'utilizzo delle tecniche di rilievo 3D da parte degli archeologi vada di pari passo con la scelta, da parte degli stessi archeologi, di comunicare i risultati delle ricerche anche mediante l'elaborazione di schede PDF3D o di brevi tour tour, valorizzando – anche per questi fini – i rilievi già disponibili, realizzati durante lo scavo.

Un'altra potenziale opportunità volta a coinvolgere i fruitori di un bene culturale in maniera attiva è la piattaforma di condivisione online di contenuti 3D Sketchfab.com nella quale un utente può manipolare a proprio piacimento i modelli. È intenzione degli autori caricare su questa piattaforma anche i modelli del tempio di Janna 'e Pruna e della fonte sacra di Su Notante.

Infine, si ritiene che un ulteriore passo vada fatto in direzione della ricostruzione 3D, ovvero della ricostruzione ipotetica dei siti archeologici. Con la collaborazione del Dott. Sanciu della Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari, Olbia-Tempio e Nuoro e della archeologa D.ssa Susanna Massetti di Irgoli, è stata avviata la ricerca di confronti e la raccolta dei dati di scavo archeologico per verificare la possibilità di proporre una ricostruzione ipotetica del tempio di Janna 'e Pruna.

### **Bibliografia essenziale**

Campana S., Bianchi G., Fichera G.A., Lai L., Sordini M. (2012), “3D Recording and Total Archaeology: from Landscapes to Historical Buildings”, *International Journal of Heritage in the Digital Era (IJHDE)*, 1(3): 443-460

Campana S., Lai L., Sordini M., Fichera G. (2014), “Modellazione 3D e Archeologia dell'Architettura: l'eremo di Sant'Alberto di Asciano”, *Archeomatica*, 2: 6-11

Lai L., Sordini M. (2014), “3D Documentation of a Megalithic Building in Sardinia”, *Proceedings of the 18th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2013 (CHNT 18)* – Vienna, s.p.

Lai L., Sordini M., Campana S., Usai L., Condò F. (2015), “4D Recording and Analysis: the Case Study of Nuraghe Oes (Giave, Sardinia)”, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(4): 233-239

Massetti S., Sanciu A. (2013), *L'area archeologica di Janna 'e Pruna e l'Antiquarium Comunale di Irgoli*, collana Sardegna Archeologica: Guide e Itinerari, 51, Carlo Delfino Editore, Sassari

Massetti S. (1997), “Irgoli (Nuoro). Località Su Notante. Fonte e strutture di età nuragica”, *Bollettino di Archeologia*, 43-45: 192-195

Remondino F. (2011), “Heritage Recording and 3D Modelling with Photogrammetry and 3D Scanning”, *Remote Sensing*, 3: 1104-1138

Russo M., Remondino F., Guidi G. (2011), “Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico”, *Archeologia e Calcolatori*, 22: 169-198

Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M. (2012), “Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications”, *Geomorphology*, 179: 300-314