



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI  
DIPARTIMENTO DI STORIA, SCIENZE DELL'UOMO E DELLA FORMAZIONE

Corso di Dottorato di Ricerca in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo

Ciclo XXIX

Direttore: Prof. Attilio Mastino

***D<sup>3</sup>D***

Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.

Problematiche e metodologie proposte

Tutors

Prof.ssa Elisabetta Garau

Prof. Marco Rendeli

Dottorando

Luca Sanna

ANNO ACCADEMICO 2015-2016





## INDICE

<b>Premessa e ringraziamenti</b>	p. 1
<b>Capitolo 1. IL FRAMEWORK</b>	
1.1 Dalla teoria alla pratica	p. 4
1.2 La necessità di un linguaggio comune	p. 10
1.3 La gestione della documentazione	p. 19
1.3.1 Gli standard	p. 19
1.3.2 I metadati e i paradatai	p. 25
1.4 Il rilievo archeologico e l'impostazione della ricerca	p. 35
1.4.1 Misurare col laser	p. 36
1.4.2 I metodi e gli strumenti	p. 38
1.4.3 Misurare con le immagini	p. 44
1.4.4 I metodi e gli strumenti	p. 49
1.5 Acquisizione e gestione delle immagini	p. 65
1.6 Tanti strumenti per un solo obiettivo	p. 71
<b>Capitolo 2. L'insediamento nuragico di Sant'Imbenia ad Alghero (SS)</b>	
2.1 Inquadramento del sito e struttura della ricerca	p. 73
2.2 Il contesto archeologico del sito di Sant'Imbenia	p. 79
2.3 Il contesto archeologico dell'ambiente 47	p. 81
2.4 La documentazione come anastilosi di un contesto archeologico	p. 86
2.5 La documentazione 3D del sito di Sant'Imbenia: macro scala	p. 88
2.6 La documentazione 3D del sito di Sant'Imbenia: media scala	p. 96
2.6.1 Il rilievo con laser scanner	p. 99
2.6.2 Il rilievo fotogrammetrico	p. 110

2.7	La documentazione 3D del sito di Sant'Imbenia: micro scala	P. 149
2.8	La divulgazione attiva	p. 160
2.9	Il materiale prodotto	p. 167
2.10	Le schede metadati	p. 174

### **Cap. 3: La chiesa e il Monastero di Salvennor (Ploaghe-SS)**

3.1	Il contesto storico	p. 182
3.2	Il contesto monumentale	p. 187
3.3	Il percorso della ricerca e gli strumenti	p. 195
3.3.1	L'analisi delle fonti archeologiche	p. 196
3.3.2	I confronti	p. 205
3.4	La gestione dei dati	p. 209
3.5	L'analisi della stratificazione muraria	p. 248
3.6	Le schede USM	p. 256
3.7	Gli strumenti per la ricostruzione	p. 349
3.8	Le schede metadati	p. 358

### **Cap. 4: Riflessioni conclusive**

<b>Bibliografia</b>	P. 382
---------------------	--------

## **Premessa e ringraziamenti**

La scelta di realizzare una ricerca sulla documentazione archeologica in tre dimensioni si inserisce all'interno di un percorso di studi incentrato sugli aspetti metodologici della moderna ricerca archeologica.

In particolare, dopo una prima parte introduttiva, volta ad analizzare il rapporto tra archeologia ed informatica, si è cercato di esaminare la funzione della documentazione archeologica digitale 3D nella interpretazione di differenti contesti archeologici, per tipologia e cronologia: dalle prospezioni preliminari allo scavo stratigrafico, alla raccolta dei dati all'interpretazione, fino all'utilizzo di questi per una comunicazione diversificata dei risultati.

Si è trattato di un lungo percorso, realizzato parallelamente nell'Ateneo Turritano e come libero professionista, nel tentativo di proporre un modello di gestione del dato tridimensionale, volto ad analizzarne pregi, difetti e abusi all'interno della disciplina archeologica.

È un lavoro che è stato possibile grazie al supporto di colleghi, amici e docenti a cui sono debitore.

La strutturazione e lo svolgimento della ricerca non sarebbero stati possibili senza il costante supporto dei Tutors Prof.ssa Elisabetta Garau e prof. Marco Rendeli. A loro è rivolto il mio ringraziamento per la pazienza dimostrata nei costanti confronti, per il supporto, per i suggerimenti e i preziosi consigli elargiti durante questi anni di lavoro.

Un sentito ringraziamento va al Prof. Maurizio Cattani per la sua attività di revisore e per i suggerimenti, così come al Prof. Andrea D'Andrea per la cortesia dimostrata nell'ospitarmi nei suoi laboratori partenopei, per avermi aiutato a dipanare dubbi e guidato verso la meta. Il suo supporto e i preziosi consigli hanno consentito infiniti approfondimenti e miglioramenti.

Desidero ringraziare il Direttore e tutto il Collegio Docenti del Corso di Dottorato di Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo per i consigli e le osservazioni relative la

ricerca.

Un sentito ringraziamento è rivolto a tutto il personale delle biblioteche che mi hanno gentilmente ospitato: la Biblioteca del Dipartimento di Storia di Sassari, la Biblioteche della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro.

Al Prof. Alessandro Soddu va il mio ringraziamento per i suoi consigli e il suo supporto storico, mai assente.

Ringrazio il Prof. Vincenzo Pascucci e il Prof. Bruno Billeci del Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università di Sassari per la proficua collaborazione con le analisi georadar nella chiesa di San Michele di Salvennor.

Ringrazio il Dott. Vincenzo Palleschi del Laboratorio di Spettroscopia Laser e Applicata dell'Istituto di Chimica dei Composti Organometallici del CNR di Pisa per le immagini realizzate da drone nel sito di Sant'Imbenia e l'amico Giovanni Saturno che invece ha fornito le immagini aeree del sito di San Michele.

Soprattutto voglio ringraziare di cuore i colleghi e amici che mi hanno aiutato in questi anni, in particolare a Barbara Panico, Massimiliano Secci e a Matteo Lorenzini per i continui scambi e confronti sulla disciplina archeologica, rilievo 3D, fotogrammetria, documentazione digitale, ma anche per i bei momenti passati a discutere di musica e altre amenità.

Vorrei inoltre ringraziare mia madre, per tutto, ma anche chi, durante questo percorso, ha saputo darmi gli stimoli, positivi e non, che hanno portato a questo risultato.





## CAP. 1

### IL FRAMEWORK

#### 1.1 Dalla teoria alla pratica

“È noto che all'archeologia spetta una sorta di primato nell'impiego dei mezzi informatici. È un primato che deriva dall'affermarsi, alla fine degli anni '60, di un'archeologia calata all'interno delle scienze umane, che cerca di interpretare mutamenti e dinamiche dei sistemi culturali ricorrendo ad analisi oggettive di tipi di materiali e di tecnologie e della loro distribuzione. Una volta che si è passati dall'analisi di oggetti privilegiati, quali le opere d'arte, a quella della totalità dei resti lasciati da una cultura antica, il ricorso al calcolo è divenuto un'esigenza primaria poiché l'ampiezza dei dati raccolti e la complessità strutturale delle evidenze richiedevano un approccio meno empirico, metodologicamente reperibile solo nell'ambito proprio delle scienze esatte”.<sup>1</sup>

Sono passati quasi trent'anni dall'editoriale del primo numero di *Archeologia e Calcolatori*, pubblicato nel 1990, e l'archeologia del ventunesimo secolo non ha cambiato i suoi “bisogni primari”, quelli che la vedono misurarsi con la ricostruzione del passato, ma li ha allargati integrando le sfide legate alla tutela del patrimonio culturale, agli aspetti sociali della ricostruzione del passato, alla comunicazione<sup>2</sup>.

L'impatto che la tecnologia ha avuto (e ha ancora) sulla disciplina, da un lato, ha “imposto a studiosi legati a una tradizione scientifica che troppo concedeva alla soggettività”<sup>3</sup> la discretizzazione del dato, fondamentale nei processi di calcolo, e, dall'altro, ha permesso un'evoluzione verso le Information and Communication Technologies (ICT) che coinvolgono significativamente l'intera società.

L'ICT ha elevato notevolmente gli standard della ricerca archeologica, dotando la disciplina di numerosi elementi di contatto con le cosiddette “scienze dure”, con le quali essa si confronta sempre più frequentemente.

Inoltre, al di fuori degli enti di ricerca, dove sempre più spesso l'archeologo si deve misurare con lavori di emergenza e contesti non sempre ottimali dal punto di vista dei

---

<sup>1</sup> CRISTOFANI, FRANCOVICH 1990.

<sup>2</sup> Sull'archeologia del ventunesimo secolo e sugli aspetti che caratterizzano l'archeologia si veda BINTLIFF *et al.* 2006; VOLPE 2014.

<sup>3</sup> CRISTOFANI, FRANCOVICH 1990.

tempi e delle esigenze delle indagini, l'uso delle tecnologie per il rilievo digitale è diventato fondamentale per documentare in tempi brevi e con un'elevata precisione i contesti rinvenuti.

È in atto un vero e proprio processo di mutazione della disciplina che da una parte, grazie agli specialismi indotti dall'uso delle tecnologie, ottiene degli indubbi benefici in termini di conoscenza, quantità e qualità del dato, dall'altra una ricerca basata unicamente su tecnicismi potrebbe causare un impoverimento in termini di comprensione globale e interpretazione dei contesti in un quadro generale storico e geografico.

“Ogni specialismo è, infatti, tanto più forte quanto più è consapevole della propria limitatezza e sollecita confronti, interazioni, integrazioni, in un continuo dialogo tra saperi umanistici e tecnico-scientifici. La globalità richiede una vera inter- multi- e trans-disciplinarietà, da non confondere con una mera sommatoria di specialismi.<sup>4</sup>”

La globalità richiede esperienza e solide basi, punti fermi in grado di dare solidità ad una disciplina che, in questa fase di progresso tecnologico, tende sempre più verso la «liquidità»<sup>5</sup>.

Il presente lavoro parte dal presupposto che la disciplina archeologica e la valorizzazione del patrimonio culturale, in tutte le sue accezioni, siano i due “punti fiduciali” a cui ancorare un ragionamento che, attraverso gli strumenti tecnologici oggi disponibili, permette lo sviluppo attivo di processi di ricerca, comprensione e tutela dei resti del passato.

Le tecnologie, basate su processi e leggi matematiche, hanno permesso, mediante tali basi, di collocare una documentazione archeologica spesso priva di standard e regole all'interno di un sistema di riferimento solido e preciso<sup>6</sup>.

Gli strumenti utilizzati sono stati funzionali all'analisi e alla comprensione dei casi studio su cui si è lavorato con rilievi diretti e indiretti, decimetri, laser scanner e fotogrammetria, producendo una consistente quantità di dati<sup>7</sup>.

La documentazione su supporto cartaceo ha riguardato gli eidotipi, funzionali ai rilievi digitali e le schede relative alle sequenze stratigrafiche, ai rilievi, alle sezioni e tutti gli

---

<sup>4</sup> VOLPE, GOFFREDO 2014, p. 40.

<sup>5</sup> BAUMAN 2011.

<sup>6</sup> D'ANDREA 2006, p. 81.

<sup>7</sup> In tutto sono stati realizzati circa 440 GB di dati digitali tra immagini, elaborazioni fotogrammetriche, fotopiani, rilievi con stazione totale e laser scanner.

elaborati cartografici sono stati sostituiti da modelli digitali il più possibile interoperabili e multiattaforma.

La possibilità di scambiare e condividere grandi quantità d'informazioni attraverso la rete ha consentito un'accelerazione dei processi di diffusione della conoscenza e in archeologia l'unione tra le Information and Communications Technology e la Computer Vision ha permesso la creazione di nuovi modi di trasmettere la cultura.

Nel 2016 circa il 40% della popolazione mondiale ha avuto accesso ai servizi della rete, dei quali l'Europa ricopre circa il 26%; l'Italia conta circa 41,4 milioni di abitanti che quotidianamente si connettono alla rete attraverso almeno un dispositivo<sup>8</sup>.

Sono dati, questi, che aiutano a comprendere come la diffusione di Internet abbia favorito quel processo "evolutivo" che ha permesso alle tecnologie informatiche (IT - Information Technologies)<sup>9</sup> di diventare ICT (Information and Communication Technologies)<sup>10</sup>, sviluppandosi grazie alla maggiore interrelazione con la rete e la conseguente condivisione di dati e informazioni a livello globale<sup>11</sup>.

La possibilità di accesso ad una rete capillare ed interconnessa a livello globale necessita del supporto di protocolli di comunicazione aperti e integrati, ovvero di standard capaci di far dialogare sistemi diversi (Windows, Mac, Linux) che girano su supporti differenti (PC, Tablet, Mobile Phone).

---

<sup>8</sup> I dati sono stati riportati dalle maggiori testate nazionali e internazionali, e quasi tutte si rifanno ai seguenti siti web: <http://www.internetlivestats.com/internet-users/> e <https://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide/>. Dato acquisito nel febbraio 2017.

<sup>9</sup> Per Information Technologies s'intendono le infrastrutture e processi per creare, elaborare, archiviare dati elettronici.

<sup>10</sup> L'insieme delle tecnologie che forniscono l'accesso alle informazioni attraverso le telecomunicazioni.

<sup>11</sup> L'acronimo ICT viene ormai quasi indistintamente utilizzato per definire entrambi i processi. La stessa Enciclopedia Treccani online così riporta, non facendo alcuna distinzione tra i dispositivi fisici e l'insieme delle tecnologie che forniscono l'accesso alle informazioni attraverso le telecomunicazioni: "ICT (Information and Communication Technologies) Tecnologie riguardanti i sistemi integrati di telecomunicazione (linee di comunicazione cablate e senza fili), i computer, le tecnologie audio-video e relativi software, che permettono agli utenti di creare, immagazzinare e scambiare informazioni. Rilevanti incentivi economici favoriscono questo processo di integrazione, promuovendo la crescita delle imprese attive nel settore." Dato di acquisizione febbraio 2017.

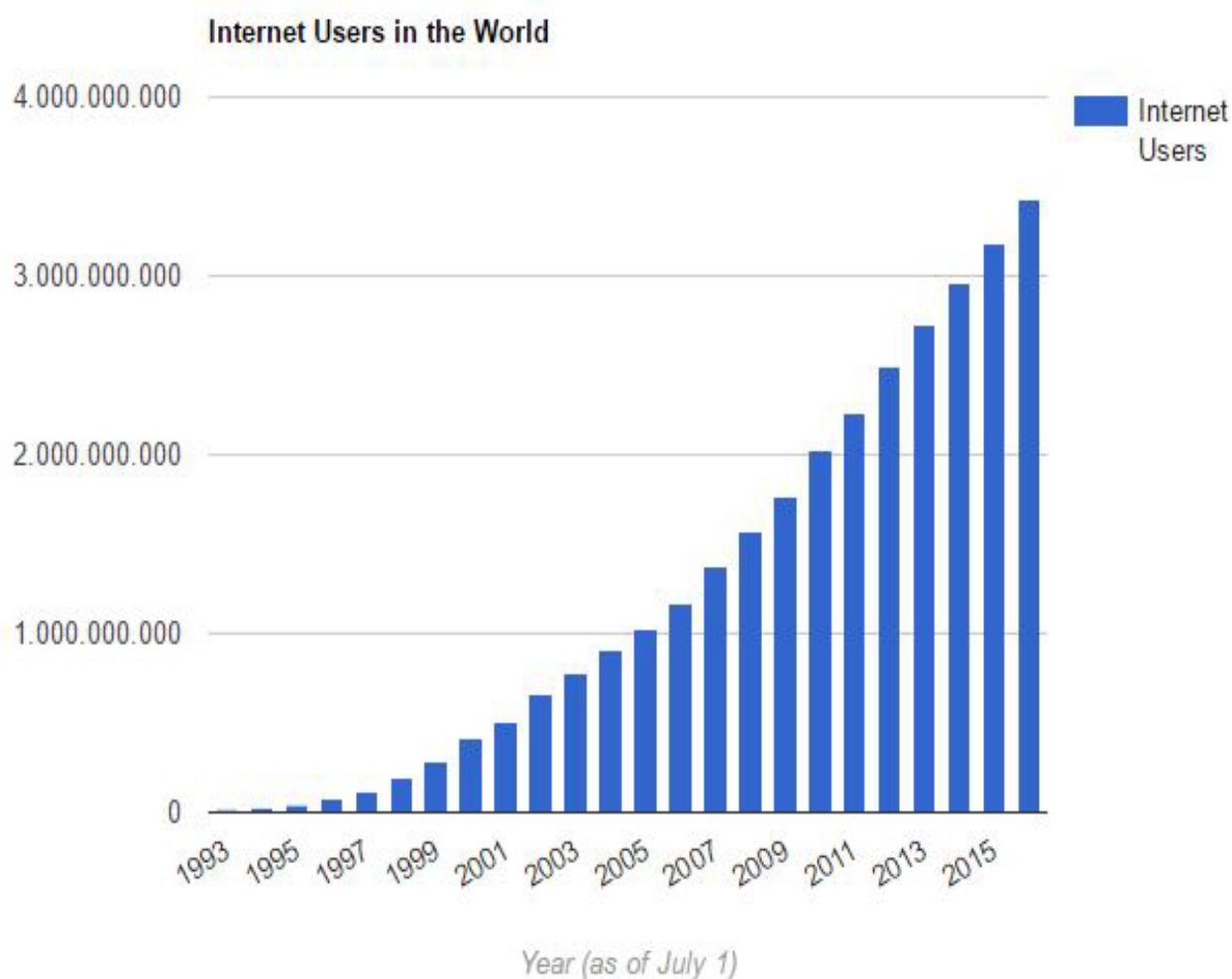


Fig. 1. Dati acquisiti dalla pagina web di *Internet Live Stats*<sup>12</sup> (elaborazione dati realizzata da *International Telecommunication Union (ITU)*<sup>13</sup> e Nazioni Unite, *Population Division*)<sup>14</sup>.

La disciplina archeologica da oltre un ventennio utilizza tali supporti in modo sempre più inclusivo, facendoli propri a discapito (o a vantaggio) di parte del substrato umanistico e dei suoi paradigmi; certamente traendone dei benefici, non solo in termini di precisione e affidabilità del dato su cui basare i palinsesti interpretativi, ma anche rispetto alla comunicazione e all'interconnessione con discipline diverse.

<sup>12</sup> <http://www.internetlivestats.com/>

<sup>13</sup> <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>

<sup>14</sup> <http://www.un.org/en/development/desa/population/>

Year	Internet Users**	Penetration (% of Pop)	World Population	Non-Users (Internetless)	1Y User Change	1Y User Change	World Pop. Change
2016*	<b>3,424,971,237</b>	46.1 %	7,432,663,275	4,007,692,038	7.5 %	238,975,082	1.13 %
2015*	<b>3,185,996,155</b>	43.4 %	7,349,472,099	4,163,475,944	7.8 %	229,610,586	1.15 %
2014	<b>2,956,385,569</b>	40.7 %	7,265,785,946	4,309,400,377	8.4 %	227,957,462	1.17 %
2013	<b>2,728,428,107</b>	38 %	7,181,715,139	4,453,287,032	9.4 %	233,691,859	1.19 %
2012	<b>2,494,736,248</b>	35.1 %	7,097,500,453	4,602,764,205	11.8 %	262,778,889	1.2 %
2011	<b>2,231,957,359</b>	31.8 %	7,013,427,052	4,781,469,693	10.3 %	208,754,385	1.21 %
2010	<b>2,023,202,974</b>	29.2 %	6,929,725,043	4,906,522,069	14.5 %	256,799,160	1.22 %
2009	<b>1,766,403,814</b>	25.8 %	6,846,479,521	5,080,075,707	12.1 %	191,336,294	1.22 %
2008	<b>1,575,067,520</b>	23.3 %	6,763,732,879	5,188,665,359	14.7 %	201,840,532	1.23 %
2007	<b>1,373,226,988</b>	20.6 %	6,681,607,320	5,308,380,332	18.1 %	210,310,170	1.23 %
2006	<b>1,162,916,818</b>	17.6 %	6,600,220,247	5,437,303,429	12.9 %	132,815,529	1.24 %
2005	<b>1,030,101,289</b>	15.8 %	6,519,635,850	5,489,534,561	12.8 %	116,773,518	1.24 %
2004	<b>913,327,771</b>	14.2 %	6,439,842,408	5,526,514,637	16.9 %	131,891,788	1.24 %
2003	<b>781,435,983</b>	12.3 %	6,360,764,684	5,579,328,701	17.5 %	116,370,969	1.25 %
2002	<b>665,065,014</b>	10.6 %	6,282,301,767	5,617,236,753	32.4 %	162,772,769	1.26 %
2001	<b>502,292,245</b>	8.1 %	6,204,310,739	5,702,018,494	21.1 %	87,497,288	1.27 %
2000	<b>414,794,957</b>	6.8 %	6,126,622,121	5,711,827,164	47.3 %	133,257,305	1.28 %

Fig. 2. I dati di crescita della diffusione della rete rispetto alla popolazione mondiale

\* stima al 1 luglio 2016

\*\* Utenti internet = individui che possono accedere a Internet da casa o attraverso qualsiasi tipo di dispositivo e connessione.

Dati acquisiti dalla pagina web Internet Live Stats<sup>15</sup>. Elaborazione dati realizzata da International Telecommunication Union (ITU), Banca mondiale e Nazioni Unite, Population Division.

Il grande cambiamento avvenne tra gli anni '80 e '90 del secolo scorso, quando l'utilizzo delle tecnologie e la familiarità con l'informatica non fu più solo appannaggio dei centri di ricerca o delle istituzioni accademiche perché lo sviluppo dei personal computer costrinse anche gli archeologi ad un cambio di rotta, coinvolgendoli "in quel fenomeno storico e culturale che ha attraversato tutti i settori della società occidentale e che con una espressione particolarmente felice F. Djndjian nel 1996 ha definito "l'informatica senza informatici"."<sup>16</sup>

<sup>15</sup> [www.InternetLiveStats.com](http://www.InternetLiveStats.com)

<sup>16</sup> D'ANDREA 2006, p. 16.

L'utilizzo della stazione totale e del CAD per il rilievo digitale archeologico si sviluppò quando iniziarono a emergere le necessità dei professionisti ai quali era richiesto di svolgere tali attività in contesti estranei all'ambito universitario, con elevata precisione, velocità e riproducibilità del dato raccolto anche per utilizzi diversi dalla documentazione stratigrafica<sup>17</sup>.

L'archeologia computazionale è tutt'oggi in continua evoluzione, con strumenti tecnologici sempre nuovi e performanti, capaci di ampliare le tematiche interne alla disciplina e il dialogo con le "scienze dure", in un rapporto che, se non si può definire paritario, ha di certo sempre più i contorni di biunivocità.

Oggi i dispositivi tecnologici come laser scanner, georadar, analisi di fluorescenza a raggi X (XRF), analisi sul DNA antico, acquisizione di immagini da drone e rilievi fotogrammetrici, ci permettono di documentare un reperto, un'opera d'arte o un monumento in modo più completo, riuscendo a svelare aspetti che fino a pochi decenni fa erano sconosciuti o ignorati dagli studiosi.

Se il complesso di dati acquisibili attraverso l'utilizzo delle suddette tecnologie da un lato incrementa la conoscenza di un sito o di un contesto permettendone la ricostruzione e la divulgazione in modo più completo, dall'altro necessita di un supporto tecnologico definito da procedure standardizzate e interoperabili per tutti i processi di acquisizione e produzione del dato (Input e Output - I/O).

L'utilizzo di formati aperti e di standard rappresenta, infatti, la "miglior pratica" per produrre dati digitali validi. Tuttavia, lo stesso concetto di standard, in archeologia, coinvolge differenti ambiti, legati alla prassi documentale adottata e agli strumenti tecnologici messi in campo: "In ambito archeologico convivono numerosi standard tra loro spesso alternativi sia a livello di modelli di documentazione e registrazione delle informazioni che di modalità di conservazione e preservazione dei dati. Ciò accade non solo per la diversa localizzazione geografica degli interventi, che vincola spesso il processo di descrizione delle attività sul terreno alle direttive imposte dalle autorità locali, ma anche per la diversa sensibilità ed esperienza dell'archeologo che modella il sistema

---

<sup>17</sup> FRONZA *et al.* 2009, pp. 7-25.

di raccolta ed acquisizione delle informazioni sui propri obiettivi e sulla metodologia adottata.”<sup>18</sup>.

La documentazione archeologica, soprattutto se realizzata con strumenti digitali, deve muovere i passi verso una standardizzazione dei modelli di acquisizione, registrazione e conservazione del dato con modelli adattabili a qualsiasi contesto, senza limiti cronologici o geografici, realizzati con formati capaci di garantire interoperabilità e accesso da qualsiasi supporto tecnologico.

Nell'applicazione pratica della ricerca sul campo tutto questo può andare a supporto dell'archeologo, che, grazie all'acquisizione di un record preciso e confrontabile, potrà ricavarne vantaggio durante le fasi di analisi e interpretazione dei contesti indagati<sup>19</sup>.

Condividere in rete le schede digitali, i rilievi, i modelli 3D, le immagini e tutte le informazioni raccolte durante una campagna di indagini archeologiche mediante degli standard, gioverebbe ad una disciplina sempre più aperta al confronto scientifico ma spesso in ritardo rispetto alle tecnologie disponibili.

Per un possibile futuro, non troppo remoto, dell'archeologia, sarebbe auspicabile poter reperire on line la documentazione di scavo e confrontarla con contesti simili, incrociare dati e implementare la ricerca senza alcun vincolo legato al luogo di pubblicazione e al supporto, con una condivisione di piattaforme dati e know-how.

Oggi esistono le tecnologie, le infrastrutture di rete, i grandi progetti capaci di raccogliere e condividere “oggetti” culturali digitali con standard elevati di scientificità: si dispone di tutto quanto è necessario per poter concretamente passare dalla teoria alla pratica.

## **1.2 La necessità di un linguaggio comune**

È noto in archeologia l'assioma secondo cui un reperto, una volta rimosso dal proprio contesto senza un'adeguata documentazione, perde gran parte delle sue informazioni divenendo non più caratterizzante o valutabile<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> D'ANDREA 2006, p. 81.

<sup>19</sup> BEZZI *et al.* 2015, pp. 5-20.

<sup>20</sup> GIANNICHECKDA 2007.

Schede US, USM, fotografie, materiale cartografico e rilievi prodotti durante un'indagine archeologica costituiscono l'unica traccia il più possibile oggettiva che si conserva dopo un'azione distruttiva conseguente alla rimozione delle unità stratigrafiche e, nei casi in cui non vi sia alcuna forma di valorizzazione del sito, sono gli unici testimoni di quei frammenti di storia antica emersi dallo scavo<sup>21</sup>.

La documentazione suddetta consente di definire l'estensione di un deposito, la provenienza e le dimensioni di un reperto, la sua geo-localizzazione, fornendone la descrizione e l'interpretazione; in base al livello di dettaglio con cui si sono riportati i dati relativi allo scavo e al ritrovamento è possibile un maggiore o minore livello di precisione nel ricostruire la storia di un oggetto archeologico.

Il dettaglio e la precisione con cui è possibile oggi gestire la documentazione archeologica generata da processi computazionali complessi e applicazioni grafiche 2D/3D impone il ricorso a formati interoperabili e utilizzabili da applicativi differenti, che necessitano di norme atte a uniformare le caratteristiche dei file prodotti grazie a standard internazionali che, attualmente, sono stati definiti a livello europeo dalle linee guida della direttiva INSPIRE (2007/2/EC del 14 marzo 2007)<sup>22</sup> e recepite dall'Italia mediante il D.Lgs. 32/2010 con norme di attuazione riferibili agli standard ISO/TC211<sup>23</sup> e all'Open Geospatial Consortium<sup>24</sup>.

Benché differenti organismi nazionali e internazionali stiano operando nella definizione di standard comuni per tutte le attività di documentazione del patrimonio culturale, le reti e gli archivi di enti locali e regionali, che solo di recente permettono l'accesso ad alcune risorse, essenzialmente cartografiche, tendono a creare degli ostacoli mediante le proprie infrastrutture, che sono ancora troppo frammentarie, disorganizzate e disomogenee anche tra le singole regioni italiane<sup>25</sup>.

---

<sup>21</sup> CARANDINI 2000.

<sup>22</sup> Commissione Europea, Directive 2007/2/ec of the European parliament and of the council, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002>, ultima consultazione giugno 2017.

<sup>23</sup> ISO, ISO/TC 211, Geographic information/Geomatics, <https://committee.iso.org/tc211>. Ultima consultazione giugno 2017.

<sup>24</sup> Open Geospatial Consortium, OGC, [www.opengeospatial.org/](http://www.opengeospatial.org/), Ultima consultazione giugno 2017.

<sup>25</sup> Un ottimo supporto cartografico ad alcune fasi della ricerca è giunto dalla cartografia messa a disposizione dal Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna all'indirizzo <http://www.sardegnaoportale.it/>.



L'adozione di standard sta rendendo l'archeologia una disciplina capace di dialogare con le scienze, di trasformare i vecchi paradigmi metodologici in una nuova disciplina, caratterizzata da un sempre maggiore livello di dettaglio e analisi del dato, e di generare nuove domande e conseguentemente ulteriori risposte, elaborando modelli capaci di sostituirsi ai precedenti<sup>26</sup>.

Si tratta di un percorso verso un obiettivo comune, che permetta all'archeologia di entrare in una dimensione più scientifica pur mantenendo intonso il suo profilo umanistico.

Il percorso che la disciplina archeologica ha iniziato negli anni '60 del secolo scorso oltrepassando i modelli matematico-processuali proposti dalla New Archaeology con approcci più moderni e altrettanto efficienti<sup>27</sup> – in cui anche l'incertezza del documento, spesso elemento caratterizzante di una disciplina legata a modelli antropologici imperfetti o poco inclini ad assecondare analisi statistiche<sup>28</sup> – contribuiva considerevolmente alla rappresentazione dei «dati, delle tecniche e delle conoscenze»<sup>29</sup>.

È grazie alle teorie sviluppate negli anni '60 con la New Archaeology che l'informatica iniziò ad essere utilizzata nello studio della Preistoria britannica<sup>30</sup> per analisi statistiche e spaziali, sposando le teorie di Lewis Binford<sup>31</sup> secondo il quale l'archeologo non doveva interpretare i contesti che indagava basandosi solamente sulla propria esperienza, bensì avrebbe dovuto elaborare le sue interpretazioni secondo dati quantitativi e statistici suscettibili di verifica<sup>32</sup>.

In questo senso l'informatica aiutava il raggiungimento di quel tentativo di far avvicinare l'archeologia alle cosiddette “scienze esatte”.

Successivamente, con la Post Processual Archaeology si cerca di superare l'impostazione della New Archaeology restituendo alla disciplina la sua connotazione umanistica. “L'ambizione di trasformare l'archeologia in una scienza esatta, di compiere osservazioni oggettive e di ricavarne leggi universali viene quindi bollata come una chimera basata su un impianto filosofico riduttivo e complessivamente ingenuo”<sup>33</sup>.

---

<sup>26</sup> KUHN 1962.

<sup>27</sup> Tra questi hanno avuto grande importanza per l'archeologia l'approccio post-processuale, marxista, la Gender Archaeology, l'archeologia neo-evoluzionista e l'archeologia cognitiva.

<sup>28</sup> CRESCIOLI *et al.* 2000.

<sup>29</sup> REILLY, RAHTZ 1992.

<sup>30</sup> CLARKE 1968.

<sup>31</sup> BINFORD, BINFORD 1968.

<sup>32</sup> TERRENATO 2000, p. 206.

<sup>33</sup> TERRENATO 2000, p. 206.

Il panorama teorico cambia quando, a metà degli anni '80 del secolo scorso, i *mainframe* cedono il passo ai micro computers e l'informatica esce dal ristretto monopolio dei centri di ricerca che disponevano di potenti elaboratori<sup>34</sup>.

Tuttavia sono gli anni '90 del Novecento che vedono l'archeologia assumere quella connotazione moderna che supera i paradigmi precedenti cercando di arrivare ad un compromesso tra processualismo e post processualismo, in cui l'informatica assume un ruolo attivo nella ricerca sul campo, con l'obiettivo di creare dei modelli storico - matematici capaci di realizzare delle simulazioni socio - insediative dei territori studiati. Senza entrare nel dettaglio del percorso evolutivo dei sistemi operativi che oggi rappresentano l'anima dei nostri personal computer, possiamo dire che il grosso cambiamento avvenne a partire dal 1995-98 con l'avvento dei sistemi operativi *user friendly* come Windows 95/98 per PC e MacOS 8 per sistemi Macintosh, ossia con la loro semplificazione e con la possibilità di operare direttamente sui processi informatici senza l'interfaccia di tecnici, spesso poco inclini alle problematiche storico-archeologiche.

Per l'altra "piccola" rivoluzione, quella dell'Open Source con i primi sistemi Unix – Linux equiparabili agli OS proprietari, dovremo aspettare l'inizio del XXI secolo con la diffusione di Internet, l'abbassamento dei costi dell'*hardware* disponibile e la nascita di una sempre più ampia *community* che supporta e sviluppa le diverse distribuzioni<sup>35</sup>.

Lungo questo percorso è ancora la rete a dettare le regole e la diffusione di Internet veloce offre la vera svolta. Quando il World Wide Web nacque, il 6 agosto 1991<sup>36</sup>, venne concepito per la condivisione di informazioni in formato di ipertesto e in pochi anni crebbe esponenzialmente<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> Per una visione generale sugli aspetti che caratterizzano i movimenti dell'archeologia teorica si veda D'ANDREA 2006.

<sup>35</sup> Se da una parte i Sistemi Operativi Linux con interfaccia grafica seguono le distribuzioni Windows – Apple, la prima versione stabile del Debian 1.1 "Buzz" viene diffusa il 17 giugno 1996, dall'altra è con i primi software CAD e GIS che anche Linux entra a pieno titolo nella ricerca archeologica grazie alle distribuzioni Ubuntu nel 2004 e ArcheOS (ARChEological Operative System) Nato nel 2004 da un progetto di ricerca presentato dal gruppo di lavoro Arc-Team durante il convegno CAA 2004 – Beyond the artifact – Digital interpretation of the Past, BEZZI *et al.* 2015.

<sup>36</sup> In questa data l'informatico inglese Tim Berners-Lee pubblicò il primo sito web, che tra l'altro venne visualizzato per la prima volta solo 17 giorni dopo.

<sup>37</sup> Concettualmente il "sistema ipertestuale" si può far risalire agli studi di Vannevar Bush, poi pubblicati nell'articolo *As We May Think* (BUSH 1945).

A metà degli anni '90 del secolo scorso, grazie agli investimenti infrastrutturali nelle telecomunicazioni<sup>38</sup> e all'entrata in scena di PC di "nuova generazione", ebbe inizio la diffusione dei primi browser per la navigazione, che hanno dato vita a quel processo di condivisione dati, anche scientifici, che oggi ha rivoluzionato il modo di fare ricerca<sup>39</sup>.

“L'idea era avere una rete dove chiunque potesse facilmente avere accesso a qualunque informazione, e dove aggiungere informazioni fosse altrettanto facile.”<sup>40</sup>.

La nascita del web ha innescato un cambiamento sociale capace di stravolgere il modo di fare ricerca scientifica e successivamente la stessa disciplina archeologica.

Sono tessere del medesimo mosaico, intrinsecamente connesse tra loro, che hanno permesso la realizzazione di tutte le innovazioni apportate, in questi ultimi anni, ai metodi di documentazione archeologica<sup>41</sup>.

Il grande uso (e abuso) nell'utilizzo dei software GIS, avvenuto nel primo decennio del XXI secolo<sup>42</sup>, ha destato un grande interesse da parte della comunità scientifica sulle potenzialità dell'informatica, aprendo così le porte alla multimedialità e alle ricostruzioni tridimensionali.

Nello stesso periodo assistiamo, da una parte, ad un consistente calo del costo dei sistemi di *remote sensing*, come i laser scanner terrestri (TLS), dall'altra, all'applicazione di tecniche di rilievo fotogrammetrico mediante lo sviluppo degli algoritmi *shape/structure from motion* che danno notevole impulso alle tecniche di rilievo 3D, sostituendo in alcuni casi il rilievo 2D tradizionale.

Tentare di ricostruire dei contesti archeologici mediante un processo di ricerca sul campo che, attraverso l'utilizzo delle tecnologie, permetta l'acquisizione, l'analisi e l'interpretazione di una sequenza stratigrafica è uno degli obiettivi di questa ricerca. Per fare ciò è necessario dotarsi di una “cassetta degli attrezzi” composta da tre importanti

---

<sup>38</sup> Uno dei primi Internet Service Provider italiani fu Video On Line, società fondata a Cagliari dall'editore Nicola Grauso nel 1993, venduta poi a Telecom Italia nel 1996 da cui nacque successivamente Tin.it (Telecom Italia Net).

<sup>39</sup> Per una visione alternativa delle Tecnologie dell'informazione e della comunicazione e sulla storia del World Wide Web si rimanda al lavoro di Carlo Gubitosa dal titolo *Hacker, Scienziati, Pionieri*, 2007, Stampa Alternativa/Nuovi Equilibri.

<sup>40</sup> Tratta dall'intervista che il quotidiano “La Repubblica” fece a Tim Berners Lee il 14 novembre 2011 nella ricorrenza dei 20 anni dalla nascita del Web. L'intervista integrale è reperibile al link visualizzato nell'agosto 2017: [http://www.repubblica.it/tecnologia/2011/11/14/news/intervista\\_berniers\\_lee-24969134/](http://www.repubblica.it/tecnologia/2011/11/14/news/intervista_berniers_lee-24969134/)

<sup>41</sup> Per un quadro esauriente sulle innovazioni in ambito di documentazione archeologica si rimanda al numero 24 di “Archeologia e Calcolatori” (2013).

<sup>42</sup> VALENTI, NARDINI 2004, pp. 341-358.

elementi: una solida esperienza nel campo del rilievo e della documentazione; una conoscenza delle metodologie applicabili ad ogni singolo contesto analizzato; un adeguato set di strumenti e di tecnologie funzionali al lavoro che si vuole intraprendere. Il percorso metodologico-ricostruttivo seguito per questa ricerca si è basato non solo sul rapporto tra quantità e qualità dei contenuti raccolti, ma anche sulle motivazioni che hanno portato all'utilizzo delle tecnologie virtuali e agli obiettivi da raggiungere con un lavoro di questo tipo<sup>43</sup>.

Se l'archeologia computazionale in un primo momento si è dovuta confrontare con l'utilizzo e l'adeguamento di software generici derivati da altre discipline, oggi essa è completamente uscita dalla sua fase embrionale, divenendo parte integrante della metodologia archeologica<sup>44</sup>.

Il suo sviluppo, al netto degli imprescindibili aspetti filosofici, ha permesso da una parte l'aumento della precisione, accuratezza e integrità del dato archeologico, con conseguente innalzamento del livello di analisi e creazione di nuovi modelli, dall'altra, ha incentivato la creazione di sistemi immersivi capace di aumentare l'impatto della comunicazione anche a beneficio della valorizzazione, consentendo, seppur virtualmente, una fruizione del patrimonio archeologico un tempo impensabile<sup>45</sup>.

Se un oggetto prelevato dal terreno ha la possibilità di diventare un "oggetto archeologico" dipende dal contesto e dalle modalità del processo di recupero<sup>46</sup>, allo stesso modo l'interpretazione di un sito complesso dipenderà dai modelli interpretativi costruiti grazie alle modalità del processo di documentazione.

Tuttavia dopo tanti anni di attività sarebbe auspicabile creare uniformità nel tipo di dato prodotto e nelle procedure di acquisizione, elaborazione, interpretazione in tutto il settore archeologico, cosa che purtroppo tutt'oggi è relegata ad alcune nicchie della ricerca, riferibili essenzialmente al filone *open source* e *open data*<sup>47</sup>.

A dispetto dei numerosi sforzi fatti negli ultimi anni, l'adozione di standard riconosciuti tarda ancora a decollare nelle discipline archeologiche, sia in relazione allo scambio di dati testuali, in cui si verificano i casi più eclatanti e frequenti di incompatibilità nella

---

<sup>43</sup> FORTE, BELTRAMI 2000, pp. 273-300.

<sup>44</sup> Per un quadro generale sull'archeologia computazionale si veda D'ANDREA, NICCOLUCCI 2000.

<sup>45</sup> CRESCIOLI, D'ANDREA, NICOLUCCI 2000.

<sup>46</sup> HODDER 1999.

<sup>47</sup> AZZENA 2009; GATTIGLIA 2013.

nomenclatura e nei formati, sia nelle modalità di concepire la documentazione di scavo, senza un'omogeneità nell'utilizzo delle medesime schede e dei modelli rappresentativi di planimetrie e immagini fotografiche. È necessaria, infatti, l'adozione di un linguaggio comune.

L'attività svolta nei due casi studio compresi in questa ricerca ha seguito un percorso che aveva come punto di partenza la volontà di realizzare una documentazione completa e utile alla comprensione dello scavo, realizzata secondo standard internazionali per l'elaborazione dei documenti digitali e modelli schedografici ministeriali dell'ICCD; il traguardo era invece quello di trasformare tale materiale in strumenti funzionali all'interpretazione dei processi acquisiti anche per ricostruire, divulgare e comunicare l'archeologia in tutte le sue forme.

Con questo inquadramento l'acquisizione dei dati per mezzo di laser scanner e fotogrammetria diviene, oltre che normale strumento di rilievo ormai pienamente integrato nella quotidiana attività di documentazione archeologica, anche la base scientifica su cui implementare un sistema informativo capace di supportare un'approfondita analisi del monumento.

La creazione di un oggetto digitale permette, attraverso i diversi step di acquisizione, elaborazione, post elaborazione, di verificare mediante strumenti software, quali, per esempio, il confronto delle superfici o le simulazioni d'irradiazione solare, le anomalie presenti su una struttura, le sequenze stratigrafiche ecc.<sup>48</sup>.

Le stesse nuvole di punti, adeguatamente semplificate (decimate), possono prestarsi a differenti utilizzi, se sezionate o modellate nelle loro superfici, per documentare planimetricamente il sito o realizzare una piattaforma tecnologica utile alla comunicazione low level dell'archeologia in modo immediato e chiaro, anche ad un pubblico di "non addetti ai lavori", a persone con disabilità motorie o a bambini.

Il presente lavoro nasce dall'esperienza maturata in oltre due decenni di ricerca, sperimentazione e attività diretta sul campo, collaborando con l'Università degli Studi di Sassari, operando come libero professionista e costruendo in tal modo le basi di un metodo condizionato dal pragmatismo che, per esempio, il cantiere urbano impone.

---

<sup>48</sup> Tra le più complete sperimentazioni svolte su ricerche che hanno coinvolto tali tecnologie si segnalano i seguenti contributi: VALENTI 2008; AMICO *et al.* 2010; GABELLONE 2016; SANTORIELLO 2016.

Se la finalità scientifica dell'archeologia è ricostruire la storia, il raggiungimento di quest'obiettivo passa unicamente attraverso un processo di acquisizione dati, processamento e successiva interpretazione, “riconoscendone il sistema di appartenenza e conseguentemente elaborando quadri storici che [...] saranno pur sempre incompleti, talvolta anche errati, ma verificabili negli elementi alla base della loro formulazione; in definitiva: trasparenti”<sup>49</sup>.

La metodologia della ricerca archeologica, come quella scientifica, prevede “un processo di osservazione deliberata e controllata”<sup>50</sup>, attraverso una serie di operazioni che devono essere “esplicite e sistematiche”.<sup>51</sup>

Si tratta di un percorso nel quale i documenti (i reperti prodotti dall'uomo e dal suo rapporto con l'ambiente che lo circonda) acquisiti durante un'indagine archeologica vengono processati attraverso i modelli dettati dalla metodologia archeologica e successivamente interpretati<sup>52</sup>.

Le fasi di documentazione e interpretazione passano dunque attraverso un'elaborazione che permette di ordinare e “contare” le fonti archeologiche su cui stiamo basando la nostra lettura del passato; maggiore sarà la precisione e l'affidabilità del dato, più dettagliata sarà la nostra analisi e successiva interpretazione.

Tuttavia interpretare un contesto archeologico non può limitarsi a un mero esercizio di “calcolo”, esso è un complesso processo di analisi in equilibrio tra documenti archeologici, il più possibile affidabili, e modelli interpretativi legati alle società che hanno abitato e modificato il territorio nel tempo, secondo regole non costanti e oggi non sempre comprensibili.

Il minimo comune denominatore di tale processo è lo scambio d'informazioni e l'accrescimento della conoscenza da più fonti possibili. L'utilizzo di formati standard e d'interscambio tra le varie discipline scientifiche diviene perciò il passaggio obbligato attraverso il quale è possibile gestire, condividere, manipolare, convertire, trasmettere e conseguentemente interpretare il contesto archeologico.

---

<sup>49</sup> VALENTI 2012, p. 10.

<sup>50</sup> KAPLAN 1964.

<sup>51</sup> BERCHMANS, RIMANO 2002, p. 745.

<sup>52</sup> MANACORDA 2004, p. 4.

Gli strumenti che oggi contribuiscono attivamente a tale processo sono diversi. Sul campo vengono acquisiti i dati che potranno essere utilizzati per realizzare piattaforme GIS, si effettuano operazioni di telerilevamento finalizzate al rilievo 3D e a tutto ciò che da questo si può ottenere, ad esempio indagini georadar, prelievi di campioni per analisi di DNA antico o ricostruzioni paleoambientali. Si raccoglie quindi una considerevole quantità di informazioni che devono essere integrate e soprattutto incrociate tra loro.

Le soluzioni tecnologiche disponibili sono sempre più orientate all'interscambio, questo anche grazie all'unificazione del linguaggio di programmazione dei moderni sistemi operativi e all'utilizzo di standard e formati che permettono di far comunicare un georadar non solo con un PC, ma anche con uno smartphone, lo stesso che governa in remoto il laser scanner e che fa volare un drone<sup>53</sup>.

Tale rivoluzione tecnologica è possibile grazie ad un linguaggio comune, costruito sull'utilizzo di standard e dati aperti che stanno permeando i vari settori della società, della pubblica amministrazione e delle istituzioni, compresa quella universitaria, nell'ottica di un maggiore coinvolgimento dei cittadini nei processi gestionali del territorio con trasparenza, responsabilità e partecipazione.

La disponibilità di tali archivi permette una maggiore integrazione della disciplina archeologica con la programmazione territoriale, col vantaggio di rendere la metodologia ancora più rigorosa a partire dall'origine controllata del dato utilizzato e fino al suo costante aggiornamento, necessario per un corretto sviluppo della piattaforma di ricerca<sup>54</sup>.

Le schede ministeriali, i diari di scavo, la documentazione fotografica e planimetrica continuano ad essere la base di qualsiasi indagine archeologica, sia su supporto cartaceo sia digitale, sempre più frequente; accanto a questa, grazie anche ai costi sempre più accessibili delle tecnologie, è possibile produrre una maggiore quantità di dati derivanti dall'integrazione con tecnologie geofisiche, remote sensing, ricostruzioni 3D, ecc., rendendo la documentazione archeologica ancora più completa.

---

<sup>53</sup> I moderni OS riescono a dialogare tra loro grazie alle numerose analogie che contraddistinguono i diversi Kernel e conseguentemente alle architetture, software e hardware, che su esso si possono costruire. Per una dettagliata illustrazione dei diversi Sistemi Operativi si veda CORBET *et al.* 2010 e SILBERSCHATZ *et al.* 2013.

<sup>54</sup> La Regione Lazio, per esempio, mette a disposizione ben 303 dataset di dati aperti che riguardano ambiti diversi quali ambiente e meteo, cultura, territorio e urbanistica (<https://dati.lazio.it/>), così come la Regione Autonoma della Sardegna, che propone un archivio con 790 dataset (<http://opendata.regione.sardegna.it/>) o la stessa Presidenza del Consiglio dei Ministri (<http://www.dati.gov.it/>), che ha messo in rete il catalogo nazionale dei metadati relativi ai dati rilasciati in formato aperto dalle pubbliche amministrazioni italiane.

“La documentazione è piuttosto che un fine dell’archeologo (sia esso uno scavatore che un curatore) un mezzo, il più semplice possibile, per registrare e gestire le informazioni appartenenti ad un oggetto o ad una collezione di oggetti archeologici.”<sup>55</sup>.

### 1.3 La gestione della documentazione

#### 1.3.1 Gli standard

Poco più di dieci anni fa Maurizio Forte ribadiva la necessità di standard condivisi asserendo che: “Nel processo/tentativo di standardizzazione dei dati archeologici destinati alla pubblicazione non c’è dubbio che si è creato uno iato fra ciò che definiamo conoscenza, il patrimonio scientifico codificato per pochi, e ciò che definiamo comunicazione (l’informazione condivisa e codificata per la collettività). A partire dalla seconda metà degli anni ’80, l’illusione dei beni digitali, come giustamente è stata definita da Settis<sup>56</sup>, ha dimostrato l’ambizione a risolvere il problema in senso strutturale con una esagerata e arida rincorsa tecnologica che non ha portato a risultati positivi. I beni digitali sono stati destinati nella maggior parte dei casi alla pura archiviazione (pseudo standardizzata e non evoluta) della conoscenza e non ad una virtualizzazione multidisciplinare dell’informazione. Quindi da una parte si è indirizzata la ricerca alla creazione di enormi database, dall’altra si è delegato alla multimedialità *sui generis*, il compito di trasmettere informazione culturale “volgarizzata” per uso didattico; di nuovo troviamo separati i due domini della conoscenza e della comunicazione. La sfida della multimedialità ha seguito troppo spesso la strada del mezzo lineare, cioè traducendo in digitale lo schema semiotico delle pubblicazioni a stampa, quindi con poco valore aggiunto. È evidente a questo punto che la summenzionata illusione di beni digitali ha generato non poca confusione: in che modo dunque demandiamo alla comunicazione archeologica l’informazione che desumiamo dall’attività di ricerca? È davvero necessaria una linea di demarcazione netta fra conoscenza e comunicazione?

---

<sup>55</sup> D’ANDREA 2006, p. 79.

<sup>56</sup> SETTIS 2002.



Per avere risultati concreti e lungimiranti sull'applicazione delle tecnologie digitali applicate all'archeologia, è indispensabile avviare una diversa politica culturale e di ricerca scientifica.<sup>57</sup>”.

Circa un decennio dopo, la situazione relativa alla standardizzazione del dato archeologico non è stata ancora risolta; per quanto riguarda l'archiviazione delle informazioni, testuali e geografiche, dai database relazionali ci si sta orientando verso archivi realizzati su modelli semantici online, la medesima strada percorsa anche per i dati tridimensionali<sup>58</sup>.

Utilizzando il rilievo archeologico come metafora degli studi in corso, è stato necessario creare dei capisaldi che nell'ultimo decennio sono stati in grado di porre solide radici.

La *London Charter* esprime rigorosi principi metodologici da rispettare nella visualizzazione *computer-based* del patrimonio; essa “riguarda i campi della la ricerca e la divulgazione relativa ai beni culturali tra contesti accademici, educativi, culturali e commerciali. Ha quindi rilevanza anche per quegli aspetti dell'industria dell'intrattenimento che coinvolgono la ricostruzione o l'evocazione del patrimonio culturale, ma non per l'utilizzazione della visualizzazione digitale in altri ambiti come l'arte contemporanea, la moda o il design. Dato che gli scopi che motivano la visualizzazione differiscono a seconda dei contesti, il principio 1, “Implementazione”, sottolinea l'importanza di creare dettagliate e appropriate linee guida in ogni comunità di soggetti.”<sup>59</sup>.

Il secondo caposaldo si occupa in particolare del patrimonio archeologico ed è stato fissato dalla carta dei “Principi di Siviglia”, quasi un'implementazione della Carta di Londra, che va ad analizzare l'ambito specificamente riferito all'archeologia.

Tuttavia i “Principi di Siviglia” non definiscono una serie di norme sulla rappresentazione dell'archeologia virtuale, ma solo degli orientamenti che una vasta comunità scientifica

---

<sup>57</sup> FORTE 2006.

<sup>58</sup> Per una visione generale sull'organizzazione e sulla gestione di dati grafici ed alfanumerici con il rispetto di standard e interoperabilità sia su piattaforme GIS locali che *web oriented* si veda D'ANDREA, FELICETTI, LORENZINI, PERLINGIERI 2013. In merito alle problematiche di archiviazione, portabilità e interoperabilità relative alle tecnologie 3D applicate ai Beni Culturali si veda FELICETTI, LORENZINI 2011.

<sup>59</sup> La carta di Londra per la visualizzazione digitale dei Beni Culturali, Version 2.1 (*february* 2009), è reperibile sul sito ufficiale della London Charter, al link visionato nell'agosto 2017: <http://www.londoncharter.org/downloads.html>.

ha proposto col fine di dare il giusto riconoscimento e maturità ad una disciplina, nel rispetto di regole e metodi ampiamente condivisi<sup>60</sup>.

Definire degli standard di comunicazione e trasmissione delle informazioni permette di innalzare il valore scientifico di un settore come quello dei Beni Culturali che si basa su studi umanistici e analizza spesso contesti distrutti o che, la stessa metodologia stratigrafica impone di “distruggere” per poter essere studiati fino in fondo.

Poiché tale effetto distruttivo implica spesso la non riproducibilità dell’analisi e degli esperimenti, risulta importante la possibilità di acquisire integralmente un’area archeologica, un sito o un monumento in tre dimensioni e rivedere la sequenza stratigrafica indagata e asportata con qualità foto-realistica e metricamente precisa.

Questo sarà possibile realizzando oggetti digitali che seguano i dettami che la Carta di Siviglia ribadisce per quanto riguarda la predisposizione di una base documentaria esauriente. “Tutti i sistemi di visualizzazione *computer-based* devono essere essenzialmente trasparenti, ad esempio verificabili da altri ricercatori o professionisti, dato che la validità – e quindi la finalità – delle conclusioni prodotte da tali visualizzazioni dipenderà in gran parte dalla capacità degli altri di confermare o rifiutare i risultati ottenuti (Principio N. 7 della Carta di Siviglia).”<sup>61</sup>.

Realizzare una documentazione trasparente e verificabile implica, qualsiasi sia il supporto digitale utilizzato, l’inserimento d’informazioni che possono definire l’oggetto, il metodo e il motivo per cui si sta elaborando quel lavoro di documentazione digitale.

Lo schema per “costruire” queste informazioni e poterle collegare ad un modello tridimensionale è stato codificato da 3D ICONS realizzando uno schema di metadati, basato sul modello sviluppato dal W3C Provenance Incubator Group<sup>62</sup>, e di paradatai, secondo i principi contenuti nella London Charter, e una completa descrizione dell’oggetto acquisito. Oltre che registrare la tecnica utilizzata per realizzare il modello tridimensionale è importante allegare al modello digitale anche le informazioni necessarie a descrivere il processo di analisi e interpretazione dell’oggetto, nonché le motivazioni alla base del lavoro di documentazione<sup>63</sup>.

---

<sup>60</sup> GABELLONE 2012.

<sup>61</sup> GABELLONE 2012, p. 99.

<sup>62</sup> [www.w3.org/2005/Incubator/prov/wiki/What\\_Is\\_Provenance](http://www.w3.org/2005/Incubator/prov/wiki/What_Is_Provenance).

<sup>63</sup> D’ANDREA 2016.

Il concetto di standard e quello di condivisione sono strettamente legati in ambito archeologico e più in generale al Patrimonio Culturale, attraverso la rete internet e mediante la realizzazione di dati grezzi collegabili tra loro: i Linked Open Data (LOD)<sup>64</sup>. L'utilizzo di tali sistemi di documentazione in Italia è portato avanti a livello nazionale dal portale CulturaItalia, che, "Grazie a soluzioni informatiche innovative, raccoglie ed organizza milioni di informazioni sulle risorse che compongono il ricco universo culturale del paese, mettendole a disposizione degli utenti della Rete."<sup>65</sup>.

Tali risorse culturali "non sono prodotte dal portale, ma sono fornite direttamente dai soggetti che posseggono e gestiscono le risorse. Tutti gli attori del sistema culturale – amministrazioni pubbliche e imprese private – possono trasferire al database di CulturaItalia esclusivamente i "metadati" ovvero le informazioni descrittive delle risorse in loro possesso. CulturaItalia offre agli utenti l'opportunità di consultare e ricercare in un unico contenitore le informazioni sulle risorse culturali italiane."<sup>66</sup>.

Il sistema di condivisione dei dati adottato da CulturaItalia è funzionale all'integrazione di questi all'interno di Europeana, secondo i termini previsti dal *Data Exchange Agreement*<sup>67</sup> ed è basato su licenza *Creative Commons Zero Public Domain Dedication* (CC0)<sup>68</sup>, candidandosi così ad essere il punto di riferimento e coordinamento per l'intero panorama dei Beni Culturali Italiani.

Si tratta di un traguardo importante e necessario, considerata l'assenza di numerosi archivi digitali che, a livello regionale, nazionale e universitario, proliferano in modo autonomo e senza rispettare alcun criterio organizzativo, riducendo sensibilmente la comunicazione e l'interazione tra i vari cataloghi digitali.

Se a questo si aggiungono le diversità linguistiche, l'assenza di vocabolari controllati (o *thesauri* mono e plurilingue), oltre che i metodi di gestione differenti del patrimonio

---

<sup>64</sup> CAFFO 2013.

<sup>65</sup> Come asserisce il sito web di riferimento, si tratta di un progetto "...promosso e gestito dal Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo (MiBACT), con la consulenza scientifica della Scuola Normale Superiore di Pisa. CulturaItalia è alimentato dal contributo di numerose organizzazioni e istituzioni del mondo della cultura italiana, che forniscono le informazioni, vera e propria "materia prima" del Portale." Link: <http://www.culturaitalia.it>

<sup>66</sup> [http://www.culturaitalia.it/opencms/il\\_progetto\\_it.jsp?language=it&tematica=static](http://www.culturaitalia.it/opencms/il_progetto_it.jsp?language=it&tematica=static)

<sup>67</sup> Necessario per creare la relazione tra Europeana e i suoi *Content Providers*.

<sup>68</sup> La struttura delle licenze e standardizzazione delle informative di Europeana è consultabile al sito web visitato nell'agosto 2017: <http://pro.europeana.eu/get-involved/europeana-ipr/the-licensing-framework>

archeologico locale, il confronto tra i dati archeologici all'interno di un progetto condiviso e l'accesso alla documentazione in formato digitale saranno certamente ridotti<sup>69</sup>.

Seguendo i principi suddetti, i rilievi effettuati nei siti scelti come casi di studio sono stati prodotti nei formati standard 3D PDF, 3DS (.3ds), Alias Wavefront (.obj), Drawing eXchange Format (.dxf), Google Earth, Keyhole Markup Language (.kmz) e Polygon File Format (.ply), valutando successivamente le differenze e confrontando i risultati ottenuti<sup>70</sup>, il tutto corredato da schede di metadato e paradata realizzate sui modelli implementati da 3D-ICONS<sup>71</sup>.

In particolare, i files contenenti oggetti 3D, .pdf, .3ds, .obj, .kmz, .ply sono stati valutati in rapporto alla quantità di memoria occupata (in Megabyte o Gigabyte), al numero di punti e triangoli generati dal modello nel processo di acquisizione ed elaborazione e dalla gestione delle textures inoltre, nel caso del formato .kmz, è stata stimata l'interazione dei modelli con Google Earth per desktop<sup>72</sup> e Sketchup<sup>73</sup>.

Riguardo al formato Drawing eXchange Format (.dxf), esso è stato utilizzato per esportare e condividere le sezioni di scavo ricavate dalle nuvole di punti sia nel sito di San Michele di Salvennor che in quello di Sant'Imbenia.

La visualizzazione dei modelli tridimensionali è stata testata su più risorse disponibili gratuitamente sul web. Inizialmente è stata presa in considerazione la possibilità di utilizzare la piattaforma 3DHOP (3D *Heritage Online Presenter*)<sup>74</sup>: si tratta di una serie di strumenti *open source* multipiattaforma, utili alla creazione di presentazioni Web interattive contenenti modelli 3D ad alta risoluzione all'interno di una pagina web standard dotata di componenti HTML e JavaScript<sup>75</sup>. Vista l'impossibilità di creare «tag» visualizzabili, utili ad una maggiore comprensione dell'oggetto 3D, si è successivamente optato per un differente sistema di visualizzazione per gestire tali contenuti all'interno della pubblicazione del modello.

---

<sup>69</sup> BARTOLI 2014; D'ANDREA, NICCOLUCCI 2008.

<sup>70</sup> Le specifiche di ogni formato e i risultati ottenuti verranno analizzati nei capitoli relativi ad ogni singolo caso studio effettuato.

<sup>71</sup> D'ANDREA 2016.

<sup>72</sup> <https://www.google.com/intl/it/earth/desktop/>

<sup>73</sup> <https://www.sketchup.com/it>

<sup>74</sup> <http://vcg.isti.cnr.it/3dhop/>

<sup>75</sup> POTENZIANI *et al.* 2015.

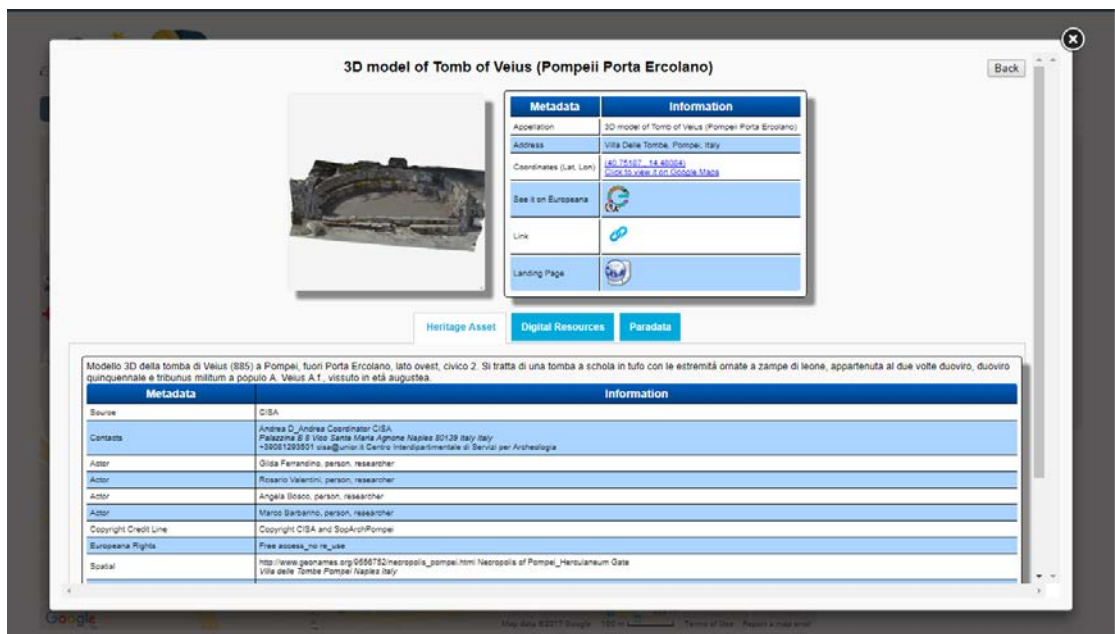


Fig. 3. Una delle schede con metadati e paradata pubblicate sul portale 3D-Icons in formato 3D PDF.

Per pubblicare e visualizzare i dati sulla rete è stata scelta la piattaforma SketchFab<sup>76</sup>, fondata dall'omonima società francese, che segue lo stesso principio di condivisione di materiale multimediale di Youtube<sup>77</sup>, ma con oggetti 3D anziché video. Le utilità fornite dalla piattaforma permettono di intervenire sui parametri della scena e dell'illuminazione, aggiungendo annotazioni, descrizioni e gestendo i modelli in collezioni personali, private o pubbliche, come dei veri e propri canali personali e senza alcun bisogno di *plug-in* o driver di terze parti da installare sulla propria macchina, indispensabili fino a pochi anni fa.

Il sistema si basa su tecnologie standard HTML 5 e Web GL multiplatforma che permettono di rappresentare i modelli 3D con relativa facilità su qualsiasi pagina Web di qualunque dispositivo.

L'evoluzione dei *browser web* ha contribuito in modo sostanziale al raggiungimento dell'obiettivo suddetto, assieme alla crescente diffusione della rete veloce e dei dispositivi mobili.

<sup>76</sup> <https://sketchfab.com/>

<sup>77</sup> <https://www.youtube.com/>

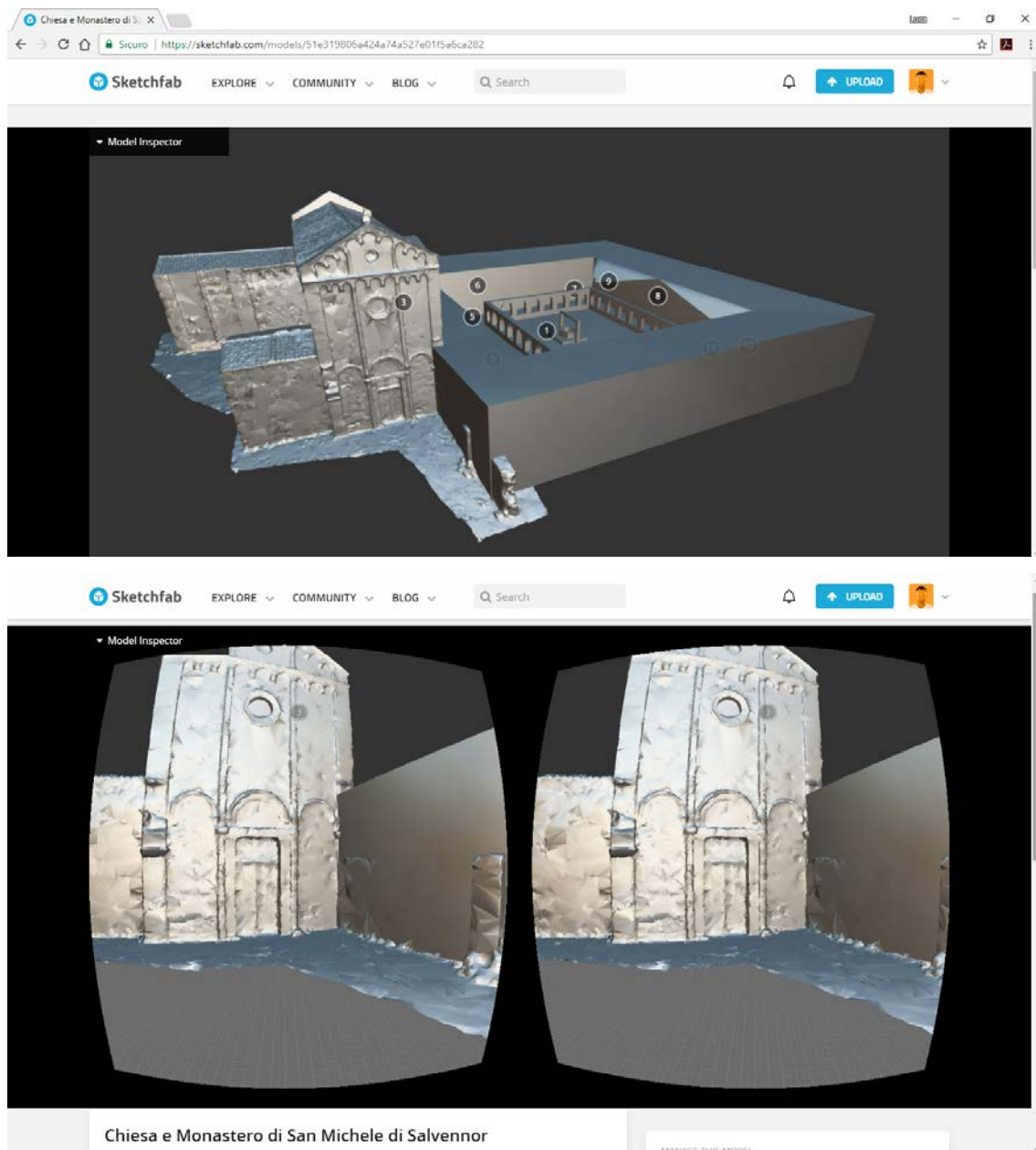


Fig. 4. Uno dei primi modelli ricorsuttivi della chiesa e del monastero inserito nella piattaforma SketchFab (in alto) e la possibilità di visualizzazione tridimensionale mediante visore VR (in basso).

### 1.3.2 I metadati e i paradati

Situazioni contingenti, tempi e luoghi della ricerca spesso rendono difficoltoso proseguire un'indagine archeologica; perciò documentare, anche tridimensionalmente, un contesto risulterebbe di grande utilità e permetterebbe la conservazione quasi integrale della

stratigrafia con tutti i vantaggi che si possono ottenere nel lungo termine in fatto di archiviazione e lettura del dato archeologico.

Se organizzare una tale documentazione per un saggio di scavo non è un lavoro privo di problemi, sviluppare il medesimo palinsesto documentale per un intero sito risulta decisamente complesso.

Se i numerosi *software* di fotogrammetria 3D semplificano concretamente le attività di acquisizione e i laser scanner possono fornire quella base su cui poi strutturare l'intero rilievo, riprodurre la realtà con i suoi contenuti scientifici implica la strutturazione di una metodologia molto complessa.

Sono sempre più numerosi gli strumenti utilizzati per acquisire e riprodurre un oggetto culturale, differenti le condizioni in cui ci si trova ad operare, sempre maggiore la varietà di dispositivi con cui si può interagire e il numero di utenti con cui l'archeologia è obbligata a confrontarsi.

L'intero percorso che dall'acquisizione del dato arriva alla sua pubblicazione assume un'importanza fondamentale per la ricerca, ancor più se realizzata in digitale, e pertanto va documentato in egual misura. In pratica è necessario anche “documentare la documentazione”.

Pubblicare in rete degli oggetti tridimensionali implica un'ottimizzazione del modello al fine di ottenere un buon livello di dettaglio delle mesh in rapporto alla quantità di Mb occupati su disco.

Sarebbe impossibile poter riversare in rete l'intera mole di dati grezzi del rilievo 3D realizzato per esempio nel sito di Sant'Imbenia, comprendente 53 scansioni di laser scanner ad alta risoluzione, per un totale di 1.000.000.000 di punti circa ottenuti dopo la pulizia dell'intera nuvola di punti.

Trattandosi di decine di Gigabyte di memoria impegnati, è impossibile gestire tale rilievo su un server; pertanto è necessario “decimare” il numero di dati acquisiti secondo degli algoritmi di sintesi inseriti nei più noti software di gestione e modellazione 3D<sup>78</sup>.

---

<sup>78</sup> La decimazione di una nuvola di punti è un'operazione gestita da numerosi software, quali ad esempio Meshlab o Geomagic.

La decimazione di una nuvola di punti implica una perdita di dettaglio, che risulta poco influente se si riproduce una parete liscia e omogenea, mentre è rilevante qualora il risultato riguardi il modello 3D di un elemento architettonico o di una struttura complessa. L'intero percorso logico legato alle decisioni relative alla funzione e al conseguente uso che di quel documento 3D s'intende fare va documentato attraverso l'utilizzo di informazioni chiamate metadati.

“Letteralmente metadati (dal greco meta- ‘oltre, dopo’ e dal latino datum ‘informazione’ - plurale: data) significa “dato su un (altro) dato”, costituendo una informazione il cui obiettivo è descrivere il dato. I metadati sono adoperati per registrare la storia della formazione del dato, consentendo in tal modo di rendere le informazioni accessibili correttamente da chiunque, anche a distanza di tempo e di spazio. I metadati forniscono memoria relativa alla fonte: ad esempio l'autore, la data di creazione, link con altre opere analoghe, modalità d'accesso e eventuali limitazioni. Una tipica forma di metadati è la scheda bibliografica in cui le informazioni registrate si riferiscono al contenuto e alla posizione di un libro all'interno di una biblioteca.

L'obiettivo di un sistema di metadati, applicato ad un documento, è di semplificare le operazioni di:

- Ricerca: consente di individuare l'esistenza di un documento;
- Localizzazione: consiste nel rintracciare una particolare occorrenza del documento;
- Selezione: obiettivo che si raggiunge analizzando, valutando e filtrando una serie di documenti;
- Interoperabilità semantica, che permette la ricerca di specifici documenti, anche appartenenti ad ambiti disciplinari differenti, in base ad una serie di equivalenze fra descrittori.<sup>79</sup>”.

Le schede dei metadati sono strutturate per raccogliere le informazioni tecniche e oggettive che il ricercatore ha annotato durante le fasi di analisi, rilievo e studio del monumento; indicazioni che permettono la definizione del monumento e di conseguenza la comunicazione dell'oggetto digitale. Tale scheda può contenere, per esempio, i dettagli dell'acquisizione, come il tipo di strumento e le sue specifiche, la risoluzione delle immagini o della scansione laser, le condizioni meteo, se influenti, al momento della

---

<sup>79</sup> D'ANDREA 2006, p. 121.



ripresa e le eventuali problematiche logistiche che possono aver condizionato il posizionamento dello strumento, ma anche dettagli sul monumento, come descrizione, cronologia, coordinate geografiche e tutto ciò che può “raccontare l’oggetto secondo lo schema adottato e realizzato da 3D-ICONS<sup>80</sup>.

Ad integrazione dei metadati, i paradatai sono utili a descrivere le informazioni relative ai processi di comprensione e interpretazione dell’oggetto, quali le diverse attività svolte per la realizzazione di un rilievo fotogrammetrico (modo di acquisizione, fasi di *processing* e *post processing*), fino a descrivere le motivazioni che hanno condotto il ricercatore alla creazione del modello digitale<sup>81</sup>.

I paradatai definiscono una particolare tipologia di metadato e sono utilizzati col fine di registrare “l’azione” svolta nel momento dell’acquisizione dei dati, mentre i metadati sono funzionali alla classificazione tradizionale del dato.

La struttura di tali schede è stata studiata per integrare pienamente le stesse nella rete e produrre il significato dei dati e determinarne la loro validità nel dominio archeologico. Tale tecnologia sta mutuando la gestione dalle banche dati tradizionali, su cui per molti anni sono state memorizzate intere campagne di scavo, passando dal “Data Base” al “Data Integration”, utilizzando il *Semantic Web* con l’obiettivo di realizzare una rete fondata sulla conoscenza e capace di “auto apprendere”, rappresentando la complessità di una disciplina libera dai confini imposti dalla tecnologia relazionale<sup>82</sup>.

La necessità di sistemi in grado di integrare, memorizzare ed elaborare informazioni più dettagliate e complesse è in costante aumento e la semantica, capace di superare il modello di database relazionale e di costruire relazioni connesse ad eventi del medesimo dominio, possono ampliare la quantità di informazioni, acquisendo dati riguardanti ambiti disciplinari diversi ma attinenti, grazie all’interoperabilità semantica<sup>83</sup>.

---

<sup>80</sup> Le schede di metadato realizzate verranno descritte nel capitolo conclusivo. Sullo schema relativo ai modelli 3D si vedano D’ANDREA 2012; RONZINO, NICCOLUCCI, HERMON 2012.

<sup>81</sup> D’ANDREA, FERNIE 2013.

<sup>82</sup> È Tim Berners-Lee a dare la definizione di *Semantic Web* nel 1999 con cui cerca di tracciare uno spaccato di quello che sarà il Web del futuro (BERNERS-LEE 2009). Di recente sviluppo, l’Archaide Project “...mira a creare un nuovo sistema per il riconoscimento automatico delle ceramiche archeologiche dagli scavi in tutto il mondo”. <http://www.archaide.eu/it/project>

<sup>83</sup> D’ANDREA 2006, p. 120.

I contenuti digitali 3D realizzati per questo caso studio sono stati strutturati cercando di puntare sia sulla qualità grafica, che dona al monumento riprodotto un forte impatto comunicativo, sia sulle informazioni utili al processo di realizzazione della piattaforma, storica e scientifica, con l'obiettivo di ottenere una replica tridimensionale dei monumenti riprodotti (la chiesa di Salvennor, gli ambienti dell'abitato di Sant'Imbenia) precisi e rispettosi dell'originale, consultabili e utili alla ricerca, anche nel lungo periodo<sup>84</sup>.

Il sistema di metadattazione adottato è il Dublin Core<sup>85</sup>, sviluppato dal 1995 nella città americana di Dublin (Ohio), nell'ambito dell'OCLC (*On line Computer Library Center*)<sup>86</sup>; esso è stato creato dalla comunità degli archivisti, editori e sviluppatori di *software* per catalogare i dati forniti dall'autore o dall'editore dell'oggetto digitale in esso inclusi. È costituito da un nucleo di elementi essenziali ai fini della descrizione di qualsiasi materiale digitale accessibile attraverso la rete per semplificare le ricerche su internet.

Grazie alle competenze interdisciplinari, teoriche e pratiche, messe in campo per l'analisi dei contesti costituiti dai casi studio proposti, oltre alle possibilità che tali sistemi di integrazione dati possono offrire al *virtual heritage*, è possibile rappresentare contemporaneamente informazioni dimensionali, iconografiche, archeologiche, storiche, geografiche e di ricreare ricostruzioni di contesti ormai cancellati dal tempo.

Per quanto riguarda la ricerca nei contesti scelti per il presente lavoro è stato possibile realizzare delle ricostruzioni basate su dati scientifici grazie alla collaborazione con storici, archeologi e geologi, utili anche ai fini della valorizzazione.

Per quanto attiene al lavoro svolto a San Michele di Salvennor, la ricerca bibliografica e documentale, corredata dal supporto di A. Soddu<sup>87</sup>, è stata molto importante nel processo ricostruttivo del monastero di Salvennor, così come le prospezioni tramite georadar effettuate da V. Pascucci, che, assieme all'analisi stratigrafica muraria e ai dati di scavo, sono state fondamentali per proporre la ricostruzione volumetrica del monastero<sup>88</sup>.

---

<sup>84</sup> D'ANDREA 2016, p. 63.

<sup>85</sup> <http://dublincore.org/>

<sup>86</sup> <http://www.oclc.org/>

<sup>87</sup> SODDU, DE SANTIS 2009.

<sup>88</sup> GARAU, PASCUCCI, SANNA 2016.

Questo intreccio di dati, provenienti da fonti differenti, è stato inserito in uno schema capace di interagire con i modelli virtuali, arricchendoli di informazioni relative ai processi generativi dei modelli e della ricerca e, come già detto, rendendoli consultabili e duraturi, in base ai dettami dalla Carta di Londra<sup>89</sup>.

I dati provenienti da differenti fonti e strumenti, raccolti con obiettivi e metodologie dissimili, sono fondamentali per l'analisi del contesto archeologico e confluiscono in una comune condivisione delle conoscenze basate su strutture logiche interdisciplinari.

Alla luce di questo scenario l'interoperabilità semantica e la standardizzazione sono due elementi fondamentali dal momento che garantiscono la circolazione della conoscenza all'interno di un ambiente condiviso.

Le ricerche su Salvennor e S. Imbenia hanno adottato il *Dublin Core* come sistema di metadattazione nell'ottica di un'implementazione e integrazione futura dei dati prodotti, anche a livello semantico, sia per i modelli 3D che per il sistema informativo territoriale realizzato nel caso dell'area dell'abitato di Sant'Imbenia.

Nel caso di Salvennor una parte dei metadati è stata strutturata per la registrazione delle fonti storiche utilizzate per il lavoro di ricostruzione, che, se inserita direttamente all'interno dell'ambiente virtuale, è fondamentale per ricostruire il percorso di conoscenza del monumento nel passato e utile a comunicare agli utenti le fonti a cui si è attinto per la ricostruzione 3D del monastero.

Il non semplice riuso della documentazione prodotta per l'intero sito di Sant'Imbenia, nel quale le prime campagne di scavo vennero realizzate dalla Soprintendenza Archeologica, negli anni '80 e '90 del secolo scorso, in forma esclusivamente testuale, ha imposto delle scelte per cui l'interoperabilità con i documenti prodotti oggi è molto bassa e lo stesso sistema Dublin Core risulta di difficile applicazione.

Il Dublin Core definisce un insieme di elementi utili alla descrizione della risorsa ed è diviso due livelli: Simple e Qualified.

Il primo prevede quindici elementi fondamentali:

---

<sup>89</sup> Cfr. La Carta di Londra, bozza 2.1, pp. 8-9.

Da: [www.londoncharter.org/fileadmin/./london\\_charter\\_2\\_1\\_it.pdf](http://www.londoncharter.org/fileadmin/./london_charter_2_1_it.pdf). Ultimo accesso settembre 2017.

- *title*: il nome attribuito alla risorsa, come ad esempio il titolo di un articolo, di un libro, etc.;
- *creator*: l'autore dell'oggetto digitale;
- *subject*: l'argomento trattato dalla risorsa o il contesto nel quale la risorsa s'inserisce;
- *description*: la descrizione della fonte, come ad esempio un abstract, un sommario, etc.;
- *publisher*: l'editore dell'oggetto o chi rende accessibile la risorsa;
- *contributor*: indica chi ha contribuito in qualche modo alla realizzazione della risorsa;
- *date*: la data associata all'oggetto digitale (può indicare la data di creazione, di pubblicazione, etc.);
- *type*: il tipo di risorsa, il tipo di contenuto;
- *format*: il formato fisico o digitale della risorsa;
- *identifier*: identifica la fonte digitale che può essere un URL, un numero ISBN, etc.;
- *source*: l'eventuale risorsa da cui l'oggetto digitale corrente deriva;
- *language*: il contesto linguistico in cui s'inserisce la fonte digitale;
- *relation* eventuali risorse collegate;
- *coverage*: lo scopo dell'oggetto o l'eventuale periodo di validità o l'eventuale area geografica all'interno della quale la fonte è valida, etc.;
- *rights*: i diritti sull'utilizzo della risorsa.”<sup>90</sup>.

Il livello *Qualified Dublin Core* aggiunge ulteriori elementi qualificatori che consentono di affinare la semantica degli elementi di base:

- *audience*: insieme di entità per cui la risorsa risulta utile;
- *provenance*: informazioni su eventuali modifiche dalla creazione della risorsa;
- *rightsHolder*: indica chi detiene i diritti di utilizzo della risorsa;
- *instructionalMethod*: indica il processo di apprendimento per il quale la risorsa è indicata;

---

<sup>90</sup> D'ANDREA 2006, p. 125.

- *accrualMethod*: indica il metodo con cui la risorsa è aggiunta ad un insieme;
- *accrualPeriodicity*: indica la periodicità di aggiunta di una risorsa ad un insieme;
- *accrualPolicy*: indica la politica che regola l'aggiunta della risorsa ad un insieme.

La raccolta di tali informazioni secondo questo schema permette ad un qualsiasi oggetto digitale "trasversalità" e "interoperabilità" tra numerose risorse presenti nella rete grazie ad una strutturazione come quella seguente.

La sintassi da utilizzare all'interno di schemi informatici è legata agli elementi qualificatori ed è possibile integrarla in una pagina web scritta in XML come nei campi di un database.

Stabilita la nostra libertà di implementazione di Dublin Core, la DCMI fornisce alcune indicazioni per l'utilizzo di una sintassi comune per la descrizione di risorse online, come ad esempio una pagina Web. Questa può essere descritta tramite gli elementi Dublin Core espressi con i tag <meta> nel documento XHTML della risorsa stessa.

Definita l'implementazione di Dublin Core è possibile "tradurre" in codice XML tale schema e pubblicarlo su una pagina HTML; per fare questa operazione, per esempio sui documenti consultati per svolgere la ricerca storico-documentale relativa al sito medievale di Salvennor, e in particolare in relazione al volume di Ginevra Zanetti, dal titolo "I Vallombrosani in Sardegna", secondo lo schema tradizionale del Dublin Core il risultato sarebbe come il seguente:

```
<head>
...
<link rel="schema.DC" href="http://purl.org/dc/elements/1.1/" />
<link rel="schema.DCTERMS" href="http://purl.org/dc/terms/" />
<meta name="DC.title" lang="it" content="I Vallombrosani in Sardegna" />
<meta name="DC.creator" content="Ginevra Zanetti" />
<meta name="DC.subject" content="Vallombrosani" />
<meta name="DC.subject" content="Ordini monastici" />
<meta name="DC.publisher" content="Gallizzi" />
<meta name="DC.type" scheme="DCTERMS.DCMIType" content="Text" />
<meta name="DC.language" scheme="DCTERMS.ISO639-2" content="it" />
...
</head>
```

Tale modello di dati è applicabile a qualsiasi oggetto digitale, e, nel nostro caso, perfettamente integrabile all'interno di un rilievo tridimensionale mediante un qualsiasi editor di testo.

Infatti, se per esempio dovessimo visualizzare con un editor 3D il file di esempio denominato "Ricostruzione prova1.obj", che rappresenta una delle prime elaborazioni fotogrammetriche da terra della chiesa di San Michele di Salvennor (Fig. 5), lo potremmo rappresentare così come acquisito fotogrammetricamente e gestito da un *software* di visualizzazione 3D, oppure, grazie ad un editor di testo, "leggere" le coordinate relative a ciascun punto e triangolo da cui è composto.

Tale metodo di rappresentazione è il medesimo utilizzato dalla rete per rappresentare i suoi modelli digitali in XML, che potranno essere così integrati in qualsiasi pagina web.

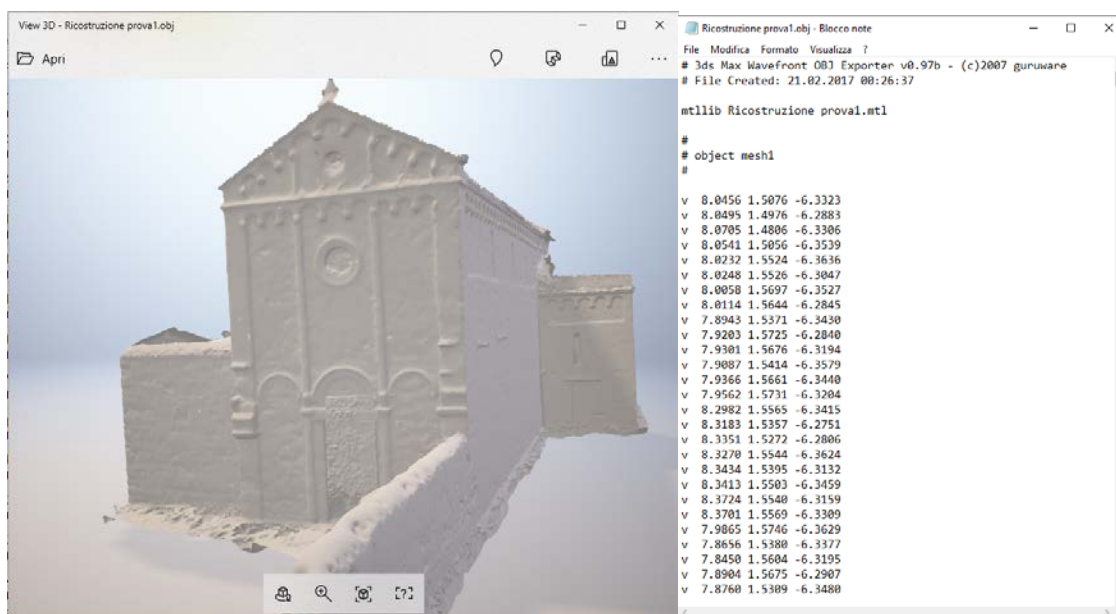


Fig. 5. La rappresentazione del modello 3D della chiesa di San Michele di Salvennor (a sinistra) e il codice con le coordinate di ogni singolo punto che compone il medesimo file .obj (a destra).

Oltre la necessità e le problematiche legate alla trasmissione delle informazioni culturali, vi è anche quella della conservazione nel tempo di tali informazioni.

Chiunque abbia informatizzato i dati in uno scavo archeologico sa bene cosa significa ritornare dopo un decennio sui medesimi archivi creati con software allora disponibili.

I più utilizzati erano, fino a qualche anno fa, FileMaker Pro, oggi arrivato alla sedicesima *release*<sup>91</sup> e Microsoft Access<sup>92</sup>, i quali, senza un costante aggiornamento e manutenzione degli archivi, rendevano impossibile il loro utilizzo a distanza di tempo.

La *long term preservation*, insieme alla *digital curation*, rappresentano senza dubbio le nuove sfide della gestione dei dati e soprattutto l'accessibilità e il riuso degli stessi nel tempo assieme alla *provenance*, che, mediante l'utilizzo dei paradati, fornisce la possibilità di verificare la validità degli oggetti digitali e di accedere in modo preciso alle fonti utilizzate<sup>93</sup>.

Proprio come per una *peer review*, così i metadati offrono la possibilità di valutare l'elaborato mediante il riconoscimento di un conclamato valore scientifico attraverso l'interrogazione da parte di qualsiasi fruitore del prodotto virtuale.

L'interazione tra il modello 3D e gli utenti avviene nella rete, la quale però ha dei codici e delle regole di comunicazione basati sul meta linguaggio XML<sup>94</sup>, costruito a sua volta su un meccanismo sintattico capace di definire e controllare, mediante dei marcatori, il significato degli elementi contenuti in un documento o in un testo<sup>95</sup>.

L'HTML utilizza una serie di strumenti per la formattazione (*layout*) di pagine *web* e la loro descrizione, viene generalmente impiegato per la creazione di ipertesti e ha un insieme ben definito, ma ristretto, di tag; l'XML invece è stato strutturato per la creazione di nuovi strumenti semantici, atti a descrivere documenti strutturati consentendo di definire i propri tag a seconda delle esigenze<sup>96</sup>.

---

<sup>91</sup> <http://www.filemaker.com/it/>

<sup>92</sup> <https://products.office.com/it-it/access>

<sup>93</sup> Per questi temi si rimanda ai contributi di D'ANDREA 2004; D'ANDREA 2015; CANTONE, DE TOMMASI 2013; FELICETTI, LORENZINI, 2011.

<sup>94</sup> Acronimo di eXtensible Markup Language. <https://www.w3.org/XML/>

<sup>95</sup> Per un approfondimento sugli interventi ministeriali volti alla gestione semantica dei dati d'archivio si veda il sito del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione Generale Archivi all'indirizzo web verificato nel settembre 2017: <http://www.archivi.beniculturali.it/index.php/strumenti/sussidi>. Mentre per un quadro generale sulle applicazioni del linguaggio XML nei Beni Culturali si veda MAFFEI 2007.

<sup>96</sup> The XML FAQ Frequently-Asked Questions about the Extensible Markup Language <<http://xml.silmaril.ie>>.

I tag (etichette) sono marcatori utilizzati per dare un certo formato ad un testo che si vuole inserire nel documento, per creare collegamenti ipertestuali (link) verso altri documenti oppure documenti digitali come immagini o filmati, per gestire moduli per l'inserimento e l'invio dei dati (*form*) e inserire liste e tabelle di dati al fine di effettuare attività di controllo ed elaborazione del dato.

Sviluppato dal World Wide Web Consortium (W3C), l'XML è oggi molto adoperato come strumento utile alla comunicazione e all'esportazione di dati tra diversi database e perciò funzionale all'interoperabilità tra sistemi differenti nella gestione di metadati.

#### **1.4 Il rilievo archeologico e l'impostazione della ricerca.**

Nonostante l'evoluzione degli ultimi venticinque anni, che ha permesso alla ricerca archeologica i progressi sopra descritti, ad oggi l'accesso alla strumentazione resta comunque legato ad alti livelli di specializzazione ed esperienza da parte di chi li utilizza. Tuttavia la capillare diffusione sta modificando la fisionomia della ricerca archeologica, orientandola verso procedure codificate e metodologicamente sempre più affidabili.

Il lavoro svolto per questa ricerca ha impiegato strumenti ottici definiti a sensori "passivi", quali fotocamere digitali per i rilievi fotogrammetrici, e strumenti ottici definiti a sensori "attivi", come il laser scanner e la stazione totale.

Questi ultimi sono rappresentati da una stazione totale Leica TPS 400<sup>97</sup> e un laser scanner Z+F IMAGER 5006h<sup>98</sup>, mentre quelli a sensori ottici passivi comprendono una macchina fotografica digitale reflex Nikon D5100 per la fotogrammetria terrestre e una DJI Modello FC300X montata su un drone Phantom 4.

---

<sup>97</sup> La TPS400 di Leica Geosystems è una stazione totale elettronica studiata specificatamente per gli utilizzi in cantiere edile. Per tutte le specifiche si può consultare la documentazione e il manuale d'uso al seguente link [http://liralab.uniroma1.it/sites/default/files/attrezzature/TPS400%20Manual\\_V2.1\\_Italian.pdf](http://liralab.uniroma1.it/sites/default/files/attrezzature/TPS400%20Manual_V2.1_Italian.pdf) verificato nell'agosto 2017:

<sup>98</sup> Le specifiche di tale strumento sono reperibili al seguente link: <http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5006h.18.0.html?&L=1>





Fig. 6. Da sinistra a destra gli strumenti utilizzati per i rilievi 3D: la stazione totale, il laser scanner, la fotocamera e il drone, mediante i quali è stato possibile acquisire i dati metrici e fotogrammetrici dei siti in cui si è operato.

Le differenze di utilizzabilità, di tempo, di quantità e qualità dei dati prodotti, nonché le loro possibilità di impiego nei campi della progettazione, divulgazione, multimedialità, hanno permesso di definire vantaggi e svantaggi dei due sistemi all'interno di un *range* di valutazioni legate a parametri variabili che verranno esaminati dettagliatamente nel capitolo conclusivo.

#### 1.4.1 Misurare col laser

Il rilievo trigonometrico di un sito o di una stratigrafia mediante sezioni, quote e forme geometriche bidimensionali, ieri come oggi, rappresenta la parte principale della documentazione grafica in archeologia, con la differenza che i modi e i tempi che scandiscono queste metodologie sono cambiati.

Se in passato il dato cartografico veniva costruito e rappresentato direttamente su supporto cartaceo, oggi, sempre più spesso, viene realizzato con strumenti digitali e costruito su sistemi CAD 2D o 3D, per essere, solo successivamente, stampato su carta alla scala più opportuna.

Con l'avvento di stazioni totali e laser scanner capaci di interfacciarsi con calcolatori e sistemi operativi avanzati è cambiato anche il modo di realizzare rilievi, passando da un'acquisizione e una stampa analogiche, per arrivare ad un input analogico, a una elaborazione e a una stampa digitali, riportando le misure acquisite in analogico su CAD

o digitalizzando e scalando il rilievo, per ottenere oggi un rilievo completamente digitale in tutte le sue fasi.

Il funzionamento di tutti i dispositivi a sensori ottici attivi è analogo: essi costituiscono l'origine di un sistema di coordinate cartesiane X, Y, Z che vengono misurate attraverso la lettura dell'angolo orizzontale (o azimutale), di quello verticale (o zenitale) e della distanza inclinata, quest'ultima rilevabile grazie al distanziometro laser incorporato nello strumento. In base al tempo impiegato dal raggio generato per colpire il punto mirato e tornare all'origine e all'angolo verticale è possibile determinare la distanza tra il dispositivo e l'oggetto colpito.

Tali strumenti permettono dunque la registrazione di un sito complesso in tre dimensioni, fornendo dei dati metrici in scala reale. La differenza sostanziale tra una stazione e un laser scanner risiede nel numero di punti che si possono acquisire al secondo e il conseguente approccio al rilievo; la velocità di acquisizione rimuove la soggettività del record da registrare, che nel rilievo più lento, ma selettivo, realizzato con misure dirette o con la stazione totale è invece parte integrante del lavoro e implica comunque un'interpretazione dell'oggetto che si rileva.

Come per la stazione totale, anche il funzionamento del laser scanner 3D avviene mediante l'emissione di un segnale laser che legge la misura utilizzando due principi differenti: a tempo di volo (*time of flight*) e a differenza di fase (*phase shift based*).

I laser scanner a tempo di volo riescono a calcolare la distanza in base al tempo intercorso tra l'emissione del laser e la ricezione del segnale di ritorno, in base allo stesso principio delle stazioni; attraverso il secondo metodo, si calcola la distanza e si colloca il punto rilevato in un sistema cartesiano analizzando la differenza della fase del segnale in uscita e di quello in entrata, riflesso dopo aver colpito l'oggetto da rilevare.

Di recente si sono sviluppate delle tecnologie laser scanner dette a triangolazione (*Multistribe Laser Triangulation*), sistema, questo, utilizzato tuttavia per acquisire superfici non troppo estese e non troppo distanti (si può arrivare a poche decine di metri), reperti archeologici o elementi architettonici. La misurazione mediante tali strumenti

avviene attraverso una o più coppie di laser che scansionano in parallelo e acquisiscono, assieme a delle fotocamere, l'oggetto<sup>99</sup>.

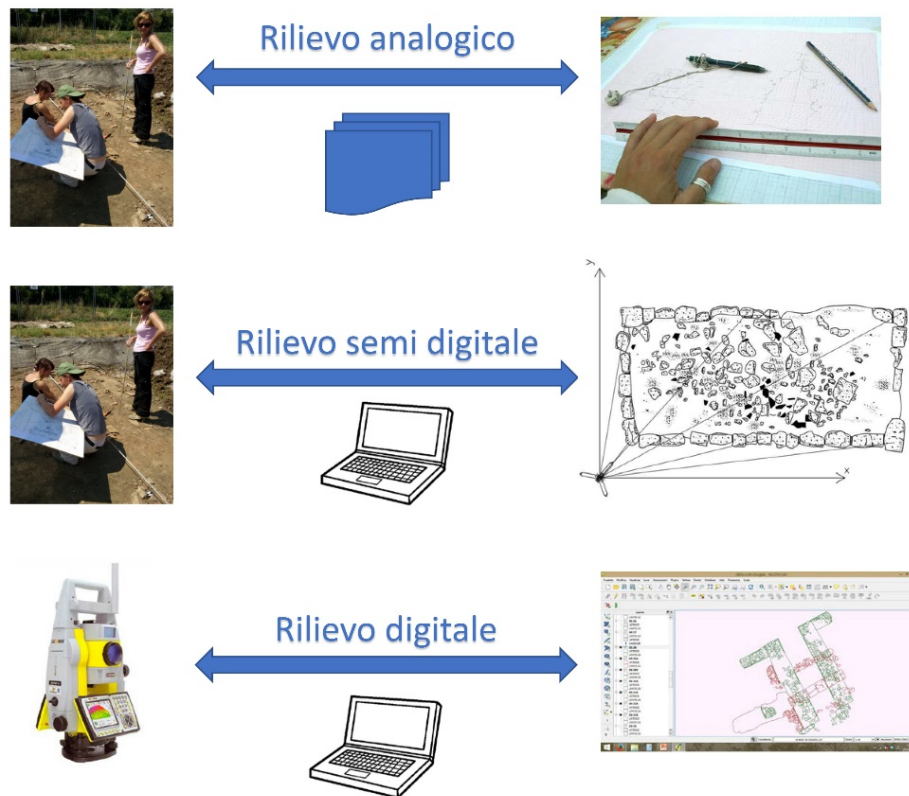


Fig. 7. I vari step relativi alla gestione della documentazione grafica in archeologia.

## 1.4.2 I metodi e gli strumenti

Il maggior numero degli scanner oggi utilizzati per rilievo di siti o complessi archeologici utilizza le prime due tecnologie. Lo strumento in dotazione per questa ricerca è uno Z+F 5006h a differenza di fase, con delle discrete specifiche in rapporto al prezzo: una portata compresa tra i 0.4 e i 79 m, un intervallo di risoluzione di 0.1 mm e una capacità di

<sup>99</sup> Sulle principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in archeologia si veda RUSSO, REMONDINO, GUIDI 2011.

acquisizione massima di 1.016.027 pixel/sec per un errore lineare inferiore al millimetro<sup>100</sup>.

L'emettitore è montato su un corpo che ruota intorno ad un asse verticale per 310°, lo strumento non rileva lo spazio inferiore occupato dal treppiede, mentre la base dello stesso ruota orizzontalmente per 360°, acquisendo l'intera area circostante. Lo specchio rotante sull'asse orizzontale permette d'indirizzare il laser a velocità elevatissime, fino ad un milione di punti al secondo, rilevando qualsiasi superficie riflettente nel raggio di 79 metri.

Lo strumento ha la possibilità di lavorare su cinque differenti livelli di risoluzione che influiscono sulla velocità della rotazione orizzontale e sulla qualità del dato acquisito, impostando la velocità di rotazione verticale dello specchio.

In base alla velocità di rotazione orizzontale dello strumento e di quella verticale dello specchio è possibile far passare il laser più volte sullo stesso punto, ripetendo così la misura e migliorandola sia in precisione che in accuratezza, determinando una differente durata della scansione che può variare da pochi secondi a quasi mezz'ora per scansioni complete a 360°.

Ogni punto rilevato viene collocato in relazione all'origine degli assi cartesiani, rappresentati dallo strumento, in base alla distanza e alla posizione dello specchio e restituisce il punto colorato mediante una scala di grigio con un valore di riflettanza della superficie colpita dal laser.

Poiché il laser scanner in dotazione, a differenza dei modelli superiori o di altri strumenti analoghi, non dispone di una fotocamera integrata ad alta risoluzione, per colorare la nuvola di punti è stato integrato un kit colore con una fotocamera reflex dotata di *fisheye*.

---

<sup>100</sup> Dati dichiarati nelle specifiche ufficiali Z+F consultate nel sito consultato nell'agosto 2017: [http://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Datasheet\\_Z\\_F\\_IMAGER\\_5006h\\_E\\_kompr.pdf](http://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Datasheet_Z_F_IMAGER_5006h_E_kompr.pdf).

Resolution	Pixel / 360° horizontal & vertical	Scanning time		
		low quality 50 rps	normal quality 25 rps	high quality 12,5 rps
„ preview “	1,250	13 sec.	25 sec.	50 sec.
„ middle “	5,000	50 sec.	1:40 min.	3:20 min.
„ high “	10,000	1:41 min.	3:22 min.	6:44 min.
„ super high “	20,000	3:22 min.	6:44 min.	13:28 min.
„ ultra high “	40.000	-	13:38 min.	26:36 min.

Fig. 8. Tabella riassuntiva delle varie risoluzioni in rapporto al tempo di scansione e al numero di pixel acquisiti.

Tale fotocamera è sorretta da un supporto che, posizionato sul treppiede dopo ogni singola scansione, colloca l'obiettivo della camera esattamente in corrispondenza del punto di origine del raggio del laser scanner. Mediante l'utilizzo del software proprietario Z+F Laser Control<sup>101</sup> è possibile allineare le immagini alle scansioni, permettendo così la colorazione della nuvola di punti e caratterizzando le superfici acquisite con un elevato livello di dettaglio, che potrà restituire rappresentazioni planari, sezioni e fotopiani sia 2D che 3D.

Il *software* suddetto è in grado di scaricare le scansioni dallo strumento mediante il suo sistema *wireless* per poi effettuare la registrazione delle stese, il filtraggio e una serie di attività di post elaborazione, quali, appunto, la colorazione della nuvola di punti.

L'utilizzo del laser scanner nel sito di Sant'Imbenia è stato necessario per acquisire l'intera superficie finora indagata e posizionare una serie di capisaldi che verranno utilizzati per l'intero processo di rilievo fotogrammetrico delle singole capanne e per aggiornare le planimetrie bidimensionali prodotte fino ad oggi con un livello maggiore di precisione grazie a una serie di tagli consecutivi, orizzontali e verticali dell'intera area di scavo, secondo piani arbitrari che hanno attraversato l'intero sito archeologico.

<sup>101</sup> Il *software* è scaricabile in versione di lettore dal sito Z+F, ma è utilizzabile in versione completa solamente mediante una chiave *hardware*. Il link verificato nell'agosto 2017 è il seguente: [http://www.zf-laser.com/Z-F-LaserControl-R.laserscanner\\_software\\_1.0.html?&L=1](http://www.zf-laser.com/Z-F-LaserControl-R.laserscanner_software_1.0.html?&L=1)



Fig. 9. Il laser scanner Z+F IMAGER® 5006h al lavoro a Sant’Imbenia, nell’ambiente 47.

Nel caso di Sant’Imbenia l’intera scansione laser è stata realizzata in tre giorni di acquisizioni, per un totale di cinquantatré stazioni prive della *texture* a causa delle pessime condizioni di luce al di sotto della tettoria che protegge l’area di scavo.

Nello sviluppo del progetto è stato fondamentale definire prioritariamente i metodi e gli strumenti da utilizzare, tenendo conto dei diversi livelli informativi da registrare, della scala e del livello di dettaglio da ottenere nell’acquisizione dei dati spaziali.

L’integrazione tra i due differenti sistemi di acquisizione attraverso sistemi ottici passivi (*Image-based Modeling*, IBM) e sistemi ottici attivi (*Range-based Modeling*, RBM) ha permesso di realizzare dei modelli dai quali è ora possibile ricavare qualsiasi rilievo o elaborazione 3D, con formati d’interscambio utilizzabili su qualunque applicativo e secondo standard internazionali.

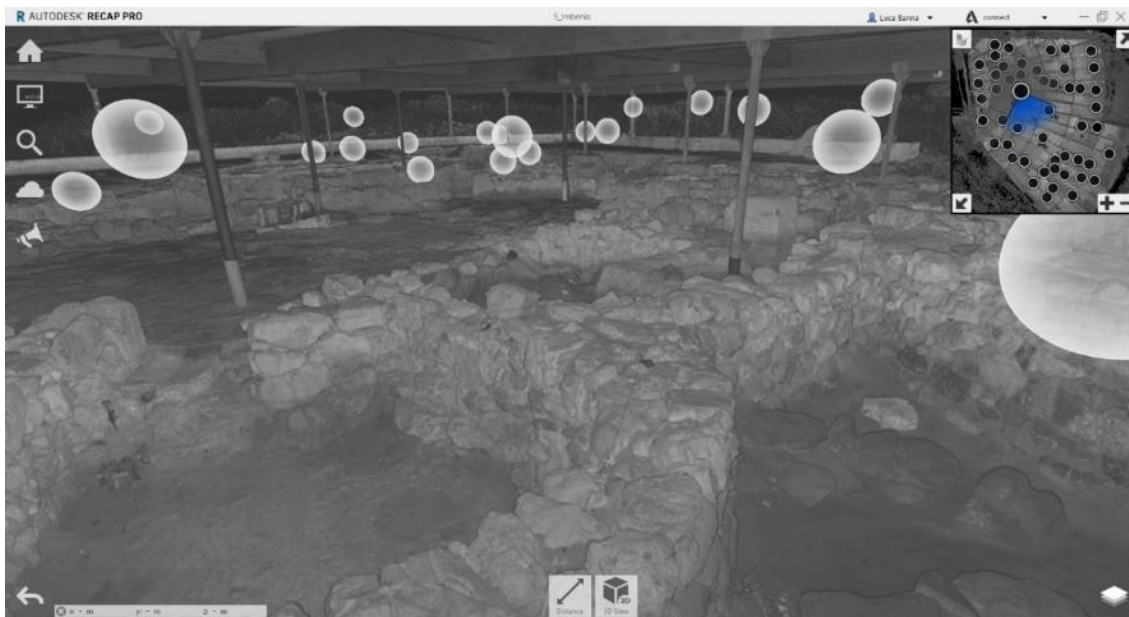


Fig. 10. La nuvola di punti e una parte delle stazioni (rappresentate dalle sfere) relative al rilievo laser scanner nel sito di Sant'Imbenia.

Tale livello di documentazione ha permesso d'implementare una piattaforma GIS 2D/3D dell'ambiente 47, usato come test, e contemporaneamente, sulla base del rilievo fotogrammetrico e laser scanner, di tentare la ricostruzione dell'abitato intero portando tale piattaforma virtuale sulla piattaforma Unity, creando un sistema interattivo per rendere più avvincente la comunicazione e simulando una vera e propria visita del sito mediante la creazione di un ambiente 3D, che, come in un videogioco, consente di muoversi all'interno del sito nuragico così come poteva apparire durante la prima età del Ferro.

È stato ampiamente dimostrato come, attraverso l'uso delle dinamiche tipiche dei giochi e delle tecniche di *game design*, sia possibile promuovere la valorizzazione e la divulgazione del patrimonio storico e archeologico, stimolando il coinvolgimento del pubblico e offrendo un'esperienza di visita originale e interattiva<sup>102</sup>.

L'utilizzo di Unity ha permesso di ricostruire il paesaggio archeologico con una scala differente rispetto a quella acquisita sul campo a vantaggio di una più semplice giocabilità

<sup>102</sup> Per un quadro completo sui progetti legati alla *gamification* si vedano i lavori di Fabio Viola. <http://www.gameifications.com/wp-content/uploads/2013/09/gamification-paper.pdf>

e gestione delle informazioni legate ai contesti archeologici, rappresentate attraverso un supporto immersivo sul quale sono basate oggi numerose piattaforme video ludiche.

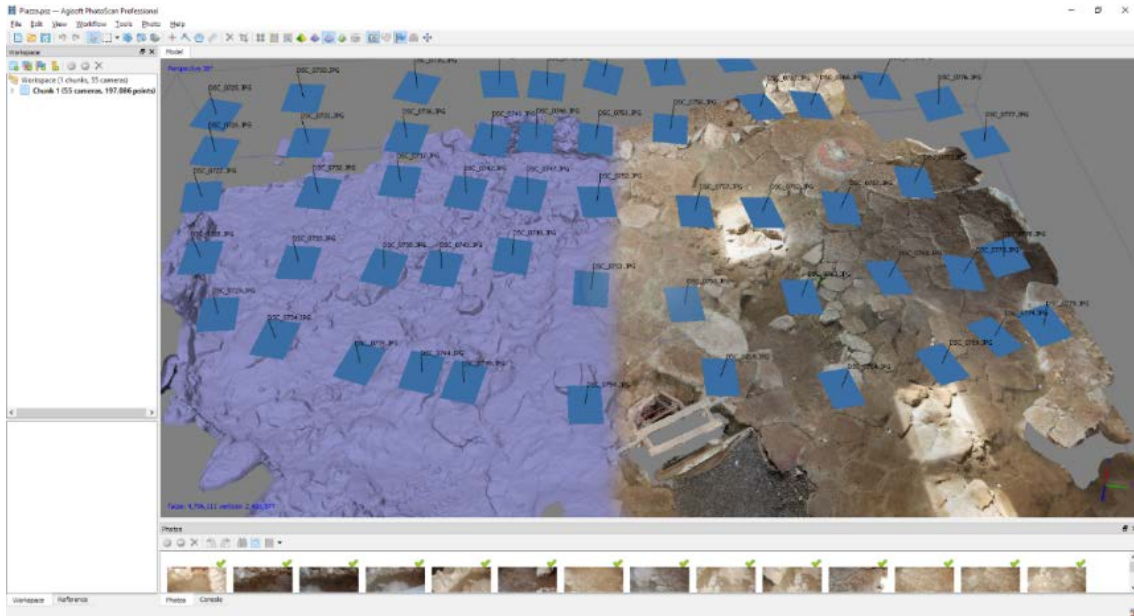


Fig. 11. Il rilievo fotogrammetrico della Piazza di Sant'Imbenia.



Fig. 12. L'ambientazione virtuale nel sito nuragico di Sant'Imbenia (in corso di elaborazione).



### 1.4.3 Misurare con le immagini

Mediante i moderni sistemi fotogrammetrici è possibile ottenere rilievi misurabili attraverso immagini acquisite da terra, da aeromobili o da satellite<sup>103</sup>.

“Partendo da diversi punti omologhi individuati nelle immagini, la tecnica fotogrammetrica consente di determinare informazioni metriche sulle dimensioni, forma e posizione di un oggetto o scena. La fotogrammetria pertanto stabilisce una relazione geometrica fra le immagini e la scena reale al momento della ripresa fotografica. Una volta ricostruita questa relazione mediante l'utilizzo del modello matematico della collinearità, è possibile ottenere informazioni metriche sull'oggetto attraverso l'impiego di almeno due immagini.”<sup>104</sup>.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo tridimensionale mediante sensori passivi che fonda le sue radici nella stereoscopia, definita per la prima volta nel XVII secolo grazie alle scoperte di John Napier (1550-1617) e Blaise Pascal (1623-1662)<sup>105</sup>.

Circa due secoli dopo è grazie all'opera di Charles Wheatstone, che, nel 1838, in un suo articolo, descrive i principi sulla visione binoculare e presenta lo stereoscopio, uno strumento da lui realizzato con il quale era possibile percepire in rilievo disegni geometrici ritraenti coppie dello stesso soggetto posti ad una distanza simile a quella degli occhi umani<sup>106</sup>.

Circa un decennio dopo, con la diffusione della fotografia, il suo lavoro venne ripreso dallo scienziato scozzese David Brewster<sup>107</sup>, il quale presentò una versione più piccola e pratica dello stereoscopio di Wheatstone, da utilizzare con immagini fotografiche in sostituzione dei disegni, dando così lo slancio ad una disciplina che vedrà numerosi applicazioni in ambito scientifico.

---

<sup>103</sup> Per un quadro completo sulla moderna fotogrammetria non calibrate si veda MIKHAIL, BETHEL, MCGLONE 2001.

<sup>104</sup> RUSSO, GUIDI, REMONDINO 2011, p. 186.

<sup>105</sup> GHOSH 1979.

<sup>106</sup> GHOSH 2005, p. 30. Le opere di Charles Wheatstone sono reperibili all'indirizzo web: <https://archive.org/details/scientificpaper00londgoog> consultato nell'agosto del 2017.

<sup>107</sup> Fisico e inventore scozzese, David Brewster (1781-1868) studiò la diffrazione della luce e realizzò nel 1849 lo stereoscopio, basato sugli studi di Wheatstone.

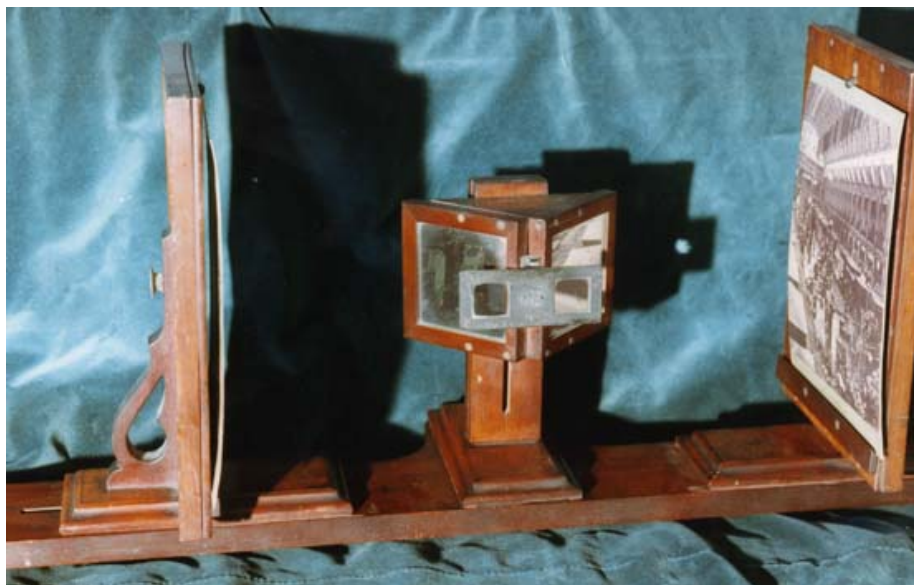


Fig. 13. Lo stereoscopio a specchi di Charles Wheatstone. Foto dal sito web della sezione *exhibitions* del sito web del King's College di Londra<sup>108</sup>



Fig. 14. Lo stereoscopio Brewster. Foto dal sito web dell'Università degli Studi di Padova.  
<http://divulgazione.fisica.unipd.it/musei-e-mostre/museo-di-storia-della-scienza/loggetto-del-mese-del-museo-di-storia-della-fisica/novembre-2013-stereoscopio-di-brewster/>

<sup>108</sup> <http://www.kingscollections.org/exhibitions/archives/wheatstone/optics/stereoscope>.  
consultazione agosto 2017

Degna di nota è la produzione dell'editore tedesco Otto Schönstein<sup>109</sup>, il quale, negli anni '30-'40 del Novecento, portò alla ribalta il sistema View Master<sup>110</sup>, ancora oggi in uso, il primo vero visore tridimensionale, assoluto precursore dei moderni sistemi di visione interattiva largamente utilizzato nel cinema 3D.



Fig. 15. Il primo modello "A" del visore aperto View-Master a dischetti.

Ma è verso la seconda metà del XIX secolo che l'ingegnere tedesco Albrecht Meydenbauer, assieme all'ufficiale francese e scienziato Aimé Laussedat, apre la strada alla moderna fotogrammetria che, da allora, attraverserà quattro distinte fasi<sup>111</sup>:

1. fotogrammetria su singola immagine: anni 1850-1900;
2. fotogrammetria stereo analogica: anni 1900-1950;
3. fotogrammetria analitica: anni 1950-2000;
4. fotogrammetria digitale: anni 2000-oggi.

Le limitazioni implicite della fotogrammetria applicata su una singola immagine, legate al punto di presa, alla superficie rilevabile e al livello di preparazione di chi eseguiva la

<sup>109</sup> Nel 1940 pubblicò due volumi dedicati all'occupazione militare da parte delle truppe di Hitler, consultabile anche sul sito <http://www.archiviostereoscopicoitaliano.it/soggetti.htm>.

<sup>110</sup> Il View Master è un sistema di visione stereoscopica inventato da William Gruber e commercializzato per prima dalla Sawyer's Photographic Service nel 1938. (GUADAGNINI 2000, pp. 48-52; D'ANNIBALE 2003; [www.vmresource.com](http://www.vmresource.com)).

<sup>111</sup> KONECNY 2003; REDWEIK 2013, p. 133.

rettifica dell'immagine acquisita, causavano errori ancora troppo ampi e mancavano di accuratezza nelle misurazioni.

Fu nella seconda metà del XX secolo che con la fotogrammetria analitica venne ridotto l'errore e la tecnica fotogrammetrica fu utilizzata in numerosi ambiti, compreso quello delle ricerche archeologiche<sup>112</sup>.

La volontà di utilizzare le tecnologie grafiche per documentare lo scavo archeologico, pur con diversi problemi, risale ai primi anni '70 del secolo scorso<sup>113</sup> attraverso le prime proposte di rappresentazione digitale di manufatti archeologici su monitor CRT<sup>114</sup>.

Le tecnologie atte a realizzare rilievi archeologici entrano timidamente nel mondo della ricerca tra la metà degli anni '90 del Novecento e il Duemila grazie alla diffusione delle stazioni totali e dei laser scanner, che subirono una prima, consistente riduzione di prezzo. Nello stesso decennio i costi si aggiravano tra i 30 e i 50 milioni di lire (20.000-40.000 USD) per le stazioni, mentre i laser scanner terrestri potevano essere acquistati per cifre variabili intorno ai 150 milioni di lire (100.000-200.000 USD)<sup>115</sup>.

Oggi i prezzi sono molto cambiati: una Leica TPS 1200 o equivalente ha un prezzo che non va oltre i 10.000 euro, mentre un laser scanner terrestre ha un costo che varia dai 20.000 ai 100.000 euro<sup>116</sup>.

Tali presupposti hanno ritardato l'utilizzo delle tecnologie in ambito archeologico, se non per pochi istituti di ricerca o Università in grado di supportare costi talmente elevati. Tuttavia proprio tali condizioni economiche hanno dato impulso allo sviluppo di soluzioni alternative legate alla fotogrammetria digitale.

Uno dei primi esempi di applicazioni di fotogrammetria digitale in archeologia venne effettuato in Norvegia nel 1996 da Knut Jetlund, il quale esaminò le applicazioni fotogrammetriche digitali nel contesto archeologico della chiesa a Trondheim<sup>117</sup>.

Il suo caso di studio prevedeva di verificare le problematiche tecnologiche e matematiche dell'applicazione fotogrammetrica; i risultati ottenuti si sono dimostrati però troppo

---

<sup>112</sup> FUSSEL 1982.

<sup>113</sup> BURTON *et al.* 1970, p. 222.

<sup>114</sup> Acronimo di *cathode-ray tube* (tubo a raggi catodici). Si tratta di una tecnologia quasi completamente sostituita da *display* a cristalli liquidi, al plasma e a LED.

<sup>115</sup> WARDEN 2009, pp. 6-7.

<sup>116</sup> Dati orientativi acquisiti nel secondo semestre 2017.

<sup>117</sup> JETLUND 1996.

limitati a causa delle scarse capacità hardware in dotazione e del tempo ridotto utilizzato per le acquisizioni.

Si è comunque trattato di uno step importante per le applicazioni delle tecniche di fotogrammetria digitale nel campo della documentazione di strutture archeologiche, che, con tale metodo, ha dimostrato il potenziale di tali tecnologie, destinate, nel giro di qualche anno, a evolversi in sistemi più complessi come quello oggi maggiormente utilizzato: la *Structure from motion* (SfM)<sup>118</sup>, una tecnica *range imaging* della CV, che, combinata con algoritmi di *dense image matching*, consente di effettuare ricostruzioni 3D automatiche da immagini digitali bidimensionali.

Uno dei primi e più completi progetti di ricerca sul rilievo in tre dimensioni venne realizzato nel sito archeologico di Çatalhöyük dal gruppo di ricerca della California-Merced e Stanford University; venne analizzato l'intero processo di documentazione stratigrafica mediante l'utilizzo del laser scanner e fotogrammetria 3D con l'obiettivo di confrontare i due metodi di rilievo e definire una metodologia di rilievo tridimensionale sul campo da utilizzare nella ricerca archeologica<sup>119</sup>.

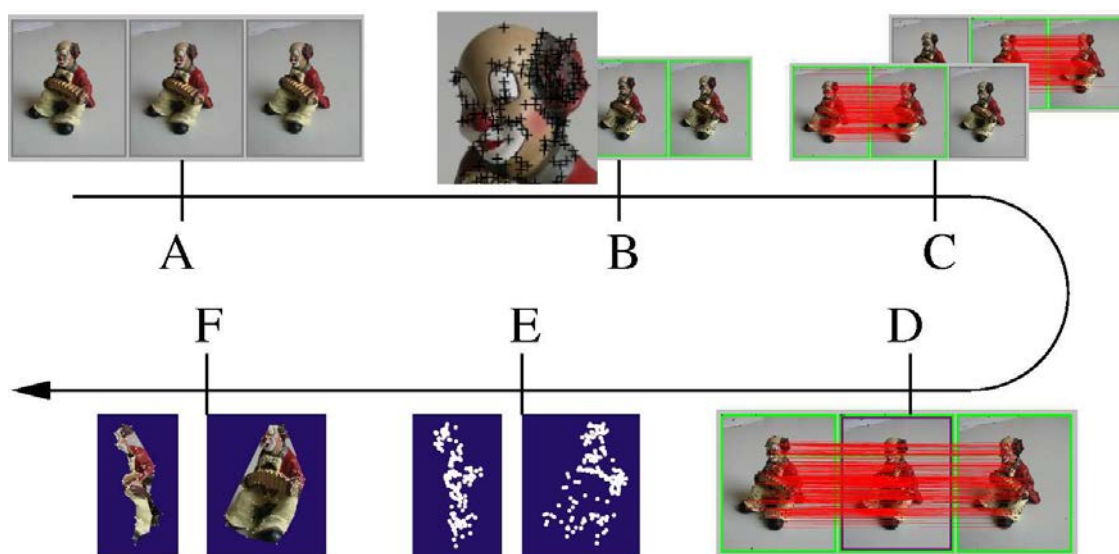


Fig. 16. Il processo di ricostruzione dei modelli tridimensionali utilizzando la tecnica *Structure from Motion*. A: Inserimento di tre immagini; B: identificazione pixel omologhi (*Features*); C: abbinamento *Feature* D: filtraggio; E: ricostruzione metrica visualizzata come nuvola di punti; F: oggetto finale visualizzato come un modello testurizzato. Da HÄMING, PETERS 2010.

<sup>118</sup> ULLMAN 1979; POLLEFEYS *et al.* 2008; AGARWAL *et al.* 2009; HÄMING, PETERS 2010.

<sup>119</sup> FORTE 2010, pp. 128-132.

Era la prima volta che l'intera sequenza stratigrafica veniva registrata in tre dimensioni con una quantità di informazioni relative ai manufatti e alle Unità Stratigrafiche orizzontali e verticali tali da poter intervenire sull'interpretazione già in fase di analisi del materiale acquisito, stimolando così un nuovo e differente dibattito metodologico.

La fotogrammetria non calibrata è diventata oggi uno degli strumenti più utilizzati per la documentazione archeologica sul campo, sia per la rapidità con cui è possibile acquisire ampie superfici sia per i costi contenuti. Un largo utilizzo di tale strumento si rileva nell'ambito della registrazione e gestione del patrimonio culturale anche in funzione di quei siti archeologici a rischio di danneggiamento o in pericolo per cause naturali<sup>120</sup>.

#### **1.4.4 I metodi e gli strumenti**

Per realizzare un modello tridimensionale misurabile attraverso un processo di fotogrammetria non calibrata è fondamentale conoscere la geometria dell'oggetto da acquisire e pianificare il rilievo in modo che i punti di presa ricoprano, con le corrette sovrapposizioni, l'intera superficie rilevabile.

Oltre a questo, dal punto di vista della strumentazione, sono essenziali una buona workstation dotata di un veloce processore e di una notevole quantità di RAM, un software fotogrammetrico e una fotocamera, di buona qualità e con una discreta ottica.

Tuttavia i sistemi ottici sono attualmente integrati in fotocamere di fascia medio-bassa e risultano sufficienti per realizzare una buona ricostruzione tridimensionale. Infatti, se una migliore ottica garantisce risultati superiori in termini di testurizzazione o modelli complessi, per oggetti geometricamente semplici e con poche anomalie potrebbe addirittura bastare la fotocamera di un cellulare<sup>121</sup>.

Il computer, meglio se una workstation dedicata, è il secondo componente hardware necessario per la realizzazione di un lavoro dettagliato e preciso.

---

<sup>120</sup> A tal proposito si rimanda al progetto 3D ICONS (<http://pro.europeana.eu/project/3d-icons>) di Europeana, volto alla creazione di una banca dati di monumenti e siti archeologici e architettonici mediante modelli 3D e con i relativi contenuti digitali, e al lavoro svolto da GRUEN, REMONDINO, ZHANG 2004 sui due Buddha di Bamiyan, in Afghanistan, distrutti dalla milizia dei talebani e ricostruiti mediante fotogrammetria 3D.

<sup>121</sup> CALLIERI *et al.* 2011, p. 4.

L'applicativo a cui è delegata l'elaborazione delle immagini col fine di restituire un modello tridimensionale è il componente software più importante, che va scelto secondo le nostre esigenze e utilizzi: archeologico, architettonico, topografico, geologico, ecc. Oltre a questo è necessario dotare il calcolatore di ulteriori programmi, utili alla gestione delle immagini e successivamente dei rilievi.

Un altro strumento necessario sul campo per le operazioni di misurazione e scalabilità del modello potrebbe essere rappresentato da un GPS differenziale o una stazione totale; tuttavia anche mediante un semplice decmetro è possibile ottenere risultati soddisfacenti<sup>122</sup>. L'utilizzo del GPS differenziale per ampie superfici di territorio rilevato da foto aeree è tendenzialmente più indicato per la creazione di un modello tridimensionale georeferenziato.

Senza entrare nei dettagli della tecnica fotografica e della teoria della fotografia, è comunque buona norma, quando si progetta un rilievo fotogrammetrico, avere buoni margini di movimento per diversificare i punti di presa, montare sulla macchina una buona ottica, cercare di acquisire le immagini con buoni livelli di luce e, possibilmente, posizionare la camera su un treppiede, così da ridurre al massimo i fotogrammi mossi.

Per quanto riguarda invece gli accorgimenti da attuare per realizzare un buon set di immagini, è consigliabile evitare le ore della giornata con il sole basso all'orizzonte col fine di eludere le ombre lunghe, causa spesso di alterazioni nella lettura delle stratigrafie. Per lo stesso motivo non è consigliabile l'utilizzazione del flash e, in generale, è preferibile utilizzare la fotocamera con impostazioni manuali, regolando i parametri in base alle condizioni ambientali ed evitando il funzionamento in modo automatico.

Per una corretta riuscita del processo fotogrammetrico è bene che ogni singola immagine possa avere almeno il 60% di sovrapposizione della superficie con quella successiva con quella precedente, perché maggiore è la percentuale di area corrispondente tra le immagini e più il software sarà in grado di abbinare punti omologhi, creando così un modello tridimensionale di qualità superiore.

Lo sviluppo della fotogrammetria 3D, fin dai suoi primi utilizzi, ha permesso la realizzazione di numerose sperimentazioni in ambito archeologico<sup>123</sup>. Negli anni recenti

---

<sup>122</sup> SECCI *et al.* 2016; 2017.

<sup>123</sup> Sono numerosi i progetti di ricerca in tale ambito sviluppati durante il primo decennio del Duemila; per un quadro completo sulle metodologie si veda IOANNIDIS *et al.* 2000, GUIDI *et al.* 2009, HULLO *et al.* 2009.

tale metodologia ha consentito di ottenere maggiore precisione ed accuratezza nello sviluppo di modelli tridimensionali, attraverso numerose ricerche volte al miglioramento degli algoritmi esistenti e allo sviluppo di nuovi software di fotogrammetria 3D, anche in ambito *open-source*, che consentono di effettuare più accurati controlli di qualità delle misurazioni<sup>124</sup>.



Fig. 17. Schema di sovrapposizione della sequenza di immagini per un rilievo fotogrammetrico con un buon livello di *matching*.

Oggi esistono diverse applicazioni, tutte molto valide, sia commerciali che gratuite od *open source*, e differenti fornitori di servizi fotogrammetrici online capaci di realizzare modelli tridimensionali da un set di immagini inviate ad un server, che le elabora e

---

<sup>124</sup> WULF *et al.* 2009.



restituisce al mittente sotto forma di modello 3D in formato di interscambio (file \*.OBJ, \*.PLY, \*.3DS).

Per sviluppare i modelli fotogrammetrici di questa tesi dottorale si è deciso inizialmente di utilizzare Python Photogrammetry Toolbox<sup>125</sup>, una suite open source formata da due applicazioni che mandano in esecuzione due algoritmi, Bundler<sup>126</sup> e PMVS2: il primo, realizzato in linguaggio C++, che attraverso l'analisi delle immagini permette di ricostruire la corretta posizione del punto di presa della fotocamera in uno spazio tridimensionale; il secondo consente di elaborare tale posizione estraendo da ogni immagine una serie di punti (pointcloud) con coordinate x,y,z e collocandola in uno spazio virtuale tridimensionale<sup>127</sup>. Entrambi gli algoritmi sono utilizzabili mediante un'interfaccia grafica scritta in Python<sup>128</sup>.

Come con tutte le applicazioni SfM, anche per mezzo di Python Photogrammetry Toolbox (PPT) è possibile ricostruire modelli tridimensionali da una sequenza di immagini bidimensionali attraverso l'analisi di almeno tre immagini in ingresso, sulle quali il software rileva le caratteristiche del raster (*features*) abbinandole per punti omologhi, per poi effettuare, dopo un lavoro di filtraggio, la ricostruzione metrica e visualizzarla come nuvola di punti (*point cloud*).

Questa suite, realizzata da P. Muloun (Mikros Image) e A. Bezzi (ArcTeam), ha un'interfaccia grafica molto semplice, sia come utilizzo sia come configurazione e personalizzazione, nonché l'enorme vantaggio di essere un software open source e multiplatforma, attualmente disponibile per i sistemi basati su GNU/Linux e per Windows. Purtroppo nella sperimentazione effettuata a Salvennor l'utilizzo su questa piattaforma è risultato talvolta lento e particolarmente instabile su macchine equipaggiate con sistema operativo Windows 7 e Windows 10.

---

<sup>125</sup> Python Photogrammetry Toolbox è scaricabile dal sito di ArcTeam (<http://184.106.205.13/arcteam/ppt.php>) ed è disponibile per i sistemi basati su GNU/Linux e per Windows.

<sup>126</sup> Bundler è un software *structure-from-motion* (SfM) scritto in linguaggio C e C++ da Noah Snavely. Si veda SNAVELY 2010.

<sup>127</sup> MOULON, BEZZI 2012.

<sup>128</sup> Python è un linguaggio di programmazione multiplatforma e dinamico (gira su Windows, Linux/Unix, Mac OS X, OS/2, Amiga, palmari Palm e cellulari Nokia; è stato anche portato sulle macchine virtuali Java e .NET) utilizzato per lo sviluppo di diversi *software*, grazie alla sua semplicità e all'estesa libreria standard. È distribuito con licenza Open-Source approvata e il suo utilizzo è gratuito e libero anche per usi commerciali.

Poiché PPT non ha la possibilità di gestire una mesh, per le sue successive realizzazione e creazione del modello 3D è stato necessario utilizzare software terzi come Meshlab<sup>129</sup> o Geomagic Studio<sup>130</sup>. Anche in questo caso, per motivi economici, la scelta iniziale è ricaduta su Meshlab, anch'esso *Open Source*, tra le migliori risorse disponibili grazie al considerevole numero di algoritmi di analisi e ricostruzioni mesh da nuvole di punti di cui è dotato.

Una volta ottenuta la nuvola di punti con PPT<sup>131</sup> è stato possibile importarla su Meshlab e qui ripulirla da elementi di disturbo o da porzioni non utili al rilievo (alberi, parti esterne al monumento, ecc.). Dai punti importati in Meshlab è stata generata la mesh, ossia la superficie poligonale propria del modello 3D, attraverso l'algoritmo *Poisson* (lo si trova sotto il menù Filters, Remeshing, Simplification and Reconstruction, Surface Reconstruction: Poisson), regolando i parametri "Octree Depth" e "Solver Divide" con valori compresi tra 10 e 15<sup>132</sup>.

Il problema riscontrato con questa procedura e in particolare con l'utilizzo di Meshlab per tale operazione è che il PC è andato spesso in *crash* durante l'elaborazione a causa di parametri troppo alti in relazione alla dotazione hardware a disposizione. Sebbene diminuire tali parametri permetterebbe, in taluni casi, la riuscita del processo, la conseguente notevole perdita di dettaglio del modello realizzato non soddisferebbe i parametri minimi di un lavoro di questo tipo<sup>133</sup>.

Perciò se le prime elaborazioni realizzate per la chiesa di San Michele di Salvennor (Ploaghe-SS) con un numero limitato di fotogrammi hanno dato risultati soddisfacenti, una volta che il numero delle immagini è aumentato, superando il centinaio, il software

---

<sup>129</sup> Meshlab è un potente sistema open source per la gestione di modelli 3D attraverso una serie di strumenti per la modifica, la pulizia, la cura, l'analisi, la rappresentazione, la testurizzazione e la conversione delle mesh. Offre funzionalità per l'elaborazione di dati grezzi prodotti da strumenti di digitalizzazione 3D e per la preparazione di modelli per la stampa 3D. <http://www.meshlab.net/>. Link verificato nell'agosto 2017.

<sup>130</sup> Geomagic Studio è un potente sistema proprietario che consente, mediante i suoi strumenti, di trasformare, analizzare, convertire, elaborare i dati provenienti da laser scanner e fotogrammetria 3D (nuvole di punti e modelli 3D) in mesh 3D per differenti utilizzi. <http://www.geomagic.com/en/products-landing-pages/re-designx-wrap>. Link verificato nell'agosto 2017.

<sup>131</sup> Viene generato un file Polygon File Format ideato e distribuito da Greg Turk della Stanford University e ha estensione .ply

<sup>132</sup> Un ottimo tutorial per la realizzazione di mesh da nuvole di punti mediante Meshlab è stato realizzato da Giuli Bigliardi, fondatore di 3DArcheoLab, e presente sull'omonimo sito web, visitato nell'agosto 2017: <http://www.3d-archeolab.it/2014/08/come-ottenere-un-modello-3d-da-semplifici-fotografie-parte-3-dalla-nuvola-di-punti-alla-stampa-3d/>

<sup>133</sup> Per le problematiche relative alla gestione delle nuvole di punti si veda GRILLI, MENNA, REMONDINO 2017.

ha iniziato a manifestare problemi con frequenti *crash* e successiva chiusura inaspettata dello stesso<sup>134</sup>.

L'utilizzo di un tool open source come Python Photogrammetry Toolbox dà il vantaggio di poter realizzare un rilievo fotogrammetrico senza alcun impegno di spesa e con la possibilità d'intervenire sul codice sorgente del programma, migliorandolo e adattandolo meglio alle nostre esigenze.

Tuttavia gli svantaggi di tale utilizzo non sono pochi: da una parte la limitata affidabilità dimostrata dall'applicazione e un basso controllo del *workflow* nel processo di elaborazione delle immagini, dall'altra la necessità di intervenire in fase di post elaborazione sulla nuvola di punti realizzata mediante altri applicativi. Il complesso di tali condizioni ha quindi spinto l'attività di ricerca verso differenti soluzioni commerciali che analizzeremo più avanti.

Oltre a PPT esistono diverse alternative che utilizzano la tecnica *image-based* con differenti algoritmi, spesso disponibili come software *open source*, quali VisualSFM<sup>135</sup>, Bundler<sup>136</sup>, Apero/MicMac<sup>137</sup>, Insight3D<sup>138</sup>, e altre non *open source*, ma comunque gratuite, che vengono offerte da fornitori di servizi web come Arc 3D<sup>139</sup>, Autodesk Remake<sup>140</sup>, Microsoft Photosynth<sup>141</sup>, che consentono all'utente di caricare le proprie immagini sui rispettivi server, nei quali vengono elaborati, restituendo dei modelli tridimensionali sotto forma di nuvole di punti o mesh scaricabili dai suddetti server.

La SfM con algoritmi di *dense image matching* è un sistema alquanto recente, implementato in ambiente open source (Blunder e PMVS, VisualSFM, Apero, etc.), in *software* commerciali (Photoscan, Photomodeler Scanner) ed anche in applicazioni *web* definite 3D *web-service* (ARC3D, Autodesk 123D Catch, Cubify, My3Dscanner etc.)<sup>142</sup>.

---

<sup>134</sup> Le elaborazioni sono state svolte installando Python Photogrammetry Toolbox su due workstation dotate di sistema operativo Windows 7 e Windows 10 a 64 bit.

<sup>135</sup> <http://ccwu.me/vsfm/>

<sup>136</sup> <http://www.cs.cornell.edu/~snaveily/bundler/>

<sup>137</sup> <http://micmac.engg.eu/index.php/Apero>

<sup>138</sup> <http://insight3d.sourceforge.net/>

<sup>139</sup> <http://www.arc3d.be/>

<sup>140</sup> <http://remake.autodesk.com/about>. Ha sostituito Autodesk 123D Catch e utilizza la tecnologia di Recap Photo.

<sup>141</sup> Prodotto dalla Microsoft Corporation nel 2011 e non più disponibile dal 6 febbraio 2017.

<sup>142</sup> VERGAUWEN, VAN GOOL 2006, pp. 411-426.

I risultati ottenuti con questa prima sperimentazione sono stati soddisfacenti, anche se non ottimali. Benché la filosofia open source e open data in archeologia sia stata il *leitmotiv* iniziale di questo lavoro, in un'ottica ampia, fatta di progetti sostenibili e interdisciplinari<sup>143</sup>, si è deciso di cambiare applicazione e operare con un'alternativa proprietaria, capace di verificare il flusso dei dati, dall'allineamento delle immagini alla texturizzazione del modello tridimensionale (mesh), con processi controllati, personalizzabili e semi automatici.

Con questa soluzione è stata rimandata (ma non abbandonata) la possibilità di gestire l'intera filiera documentale con soluzioni *open source*, pur continuando a lavorare in un'ottica di gestione e produzione di dati aperti e interscambiabili.

Le limitazioni riguardano il numero di immagini da poter inviare ai server, i tempi di trasferimento dati, la bassa personalizzazione del processo di elaborazione del modello 3D, nonché il fatto che tali elaborazioni sarebbero comunque disponibili su servizi esterni e non controllabili. Tali condizioni hanno fatto convergere sul software proprietario della Agisoft, Photoscan<sup>144</sup>, che, come altri, è in grado di orientare automaticamente un grande numero di immagini in un sistema di coordinate cartesiane e, da queste, realizzare un modello tridimensionale in scala<sup>145</sup>.

Valide alternative al suddetto software, prese in considerazione e testate per questo lavoro, sono rappresentate da 3DF Zephir e Pix4D. Il primo è prodotto dalla 3Dflow, una società privata ed indipendente, che, fondata nel 2011 come spin-off dell'Università di Verona e riconosciuta nel 2012 anche come spin-off dell'Università di Udine, realizza e vende degli applicativi votati alla Computer Vision e Image Processing.

3DF Zephir è un applicativo *image-based* che permette di realizzare rilievi fotogrammetrici e modellazione 3D da fotografie e da filmati, estrapolando singoli fotogrammi ed elaborandoli con i medesimi strumenti. È un'applicazione oggi molto utile grazie alle moderne camere 4K montate su Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) che riescono ad acquisire filmati ad altissima risoluzione.

---

<sup>143</sup> Per un quadro generale sull'Open Source e l'Open Data di vedano i lavori di Sofia Pescarin (2006-2009) e di Gabriele Gattiglia (2012-2015).

<sup>144</sup> <http://www.agisoft.com/>

<sup>145</sup> REMONDINO 2012.

Altrettanto interessante è Mapper Pro, prodotto dalla Pix4D, in grado di trasformare le immagini acquisite da drone e da terra in mappe 2D molto accurate e georeferenziate o modelli 3D con un ampio spettro di personalizzazioni e integrazioni da parte di applicazioni di terze parti. La sua vocazione è maggiormente orientata alla fotogrammetria aerea da drone grazie alla possibilità di interagire con un GPS e di pianificare in modo preciso voli e riprese<sup>146</sup>.

Come già detto, dopo una lunga fase di *testing* svoltasi sulle versioni *Trial* dei rispettivi software, la scelta è ricaduta sul software PhotoScan Professional, sviluppata dalla società russa AgiSoft LLC, che sfrutta la tecnologia *Structure from Motion* e utilizza un workflow rigoroso nel suo svolgimento e personalizzabile nelle sue singole fasi di lavoro, a partire dall'analisi delle immagini per estrapolare la posizione e l'orientamento della fotocamera nei suoi punti di presa<sup>147</sup>, all'utilizzo di algoritmi MVS, che permettono il calcolo della geometria superficiale dell'oggetto rilevato<sup>148</sup>, alla realizzazione del modello 3D texturizzato.

Uno dei vantaggi nell'utilizzo di PhotoScan risiede nel fatto che il software è in grado di generare automaticamente la superficie 3D del modello senza la necessità di dover far ricorso ad alcun applicativo aggiuntivo.

La versione che si è deciso di acquistare per svolgere la ricerca è la Professional Edition, che, a differenza della "Standard", risulta completa di tutte le funzioni per un costo di 549 dollari per la licenza Educational, anziché 3.499 dollari per quella Stand-Alone.

Le numerose caratteristiche di cui il software dispone hanno permesso di ottenere risultati vantaggiosi, quali, in particolare, il supporto dei marker automatici, la possibilità di georeferenziazione e le opzioni di esportazione, che hanno definitivamente orientato la scelta su tale applicativo.

Le motivazioni di tale scelta sono riassunte nella seguente tabella<sup>149</sup>:

---

<sup>146</sup> Tali informazioni sono state reperite dai siti web della 3DFlow (<https://www.3dflow.net/it/company/>) e della Pix4D (<https://pix4d.com/product/pix4dmapper/>). Siti consultati nell'agosto 2017.

<sup>147</sup> ULLMAN 1979.

<sup>148</sup> Sul funzionamento degli algoritmi MVS vedi SEITZ *et al.* 2006; DONEUS *et al.* 2011; VERHOEVEN 2011.

<sup>149</sup> Tabella elaborata in base alle informazioni pubblicate nel sito della Agisoft all'indirizzo web: <http://www.agisoft.com/features/compare/>. Sito visionato nell'agosto 2017.

Feature	Professional Edition	Standard Edition
Photogrammetric triangulation	●	●
Dense point cloud: generation and editing	●	●
3D model: generation and texturing	●	●
Spherical panorama stitching	●	●
Fisheye camera support	●	●
Spherical and cylindrical camera support	●	
Dense point cloud: classification	●	
DEM: georeferenced DSM / DTM export	●	
Georeferenced orthomosaic export	●	
Orthomosaic seamline editing	●	
Markers support	●	
Ground control points support	●	
Coded / non-coded targets auto detection	●	
Multispectral imagery processing	●	
NDVI and other vegetation indices calculation	●	
Hierarchical tiled model generation	●	
4D modeling for dynamic scenes	●	
Python scripting	●	
Network processing	●	
OS: Windows, Mac OS X, Debian/Ubuntu	●	●
Floating Licenses	●	

Poiché il processo di ricostruzione tridimensionale si basa, come già detto, su una sequenza di immagini digitali che daranno un risultato migliore se la qualità delle acquisizioni sarà alta, la scelta della fotocamera digitale è il primo passo per pianificare un rilievo fotogrammetrico 3D.

Nel nostro caso abbiamo optato per una Nikon D5100 con obiettivo 18.0-55.0 mm f/3.5-5.6 che ha prodotto fotogrammi acquisiti con una focale di 18,00 mm (in 35mm: 27 mm),

esposizione a 1/200 sec; f/8; ISO 200 e immagini di 4928 x 3264 ad una risoluzione di 300,00 pixel per pollice.

Altrettanto importante è la dotazione hardware per le successive elaborazioni. Si è lavorato con una workstation dotata di un processore Intel i7 3770K a 3.50 GHz, con 32 GB di RAM, una scheda grafica Nvidia GeForce GTX 680, un HD SSD da 256 GB per il Sistema operativo (Windows 10) e un HD da 2 TB per i dati.

Tale strumentazione ha consentito di gestire e processare una consistente mole di immagini, analizzandone i principi della collinearità, eseguendo il *matching* mediante il riconoscimento di punti omologhi e ricostruendo l'oggetto 3D attraverso la seguente *pipeline*<sup>150</sup>:

- acquisizione immagini (*Image Acquisition/Data Capture/Data Retrieval*);
- allineamento e orientamento immagini (*Image Calibration and Orientation*);
- generazione della nuvola di punti, mesh e editing (*Surface Generation, Editing etc.*);
- applicazione della texture, creazione di orto-foto (*Texture Mapping, Orthophoto Generation*);
- visualizzazione, estrazione delle caratteristiche, inserimento dati su piattaforma GIS (*Visualization, Features Extractions, GIS Data Integration*).

Le immagini acquisite per l'elaborazione sono state realizzate in un formato grezzo (RAW) e salvate dalla fotocamera Nikon in file con estensione \*.DNG. Tale estensione, acronimo di Digital Negative, è un formato di file non proprietario ideato per contenere dati grezzi utilizzabili da chiunque, senza aver la necessità di utilizzare plug-in e convertitori proprietari come accadeva fino a pochi anni fa per quasi tutte le grandi aziende produttrici di fotocamere.

Un file DNG comprende nella sua struttura diverse informazioni divise tra i dati dell'immagine vera e propria, i metadati che descrivono la foto e in ultimo un'anteprima incorporata<sup>151</sup>.

---

<sup>150</sup> REMONDINO 2013.

<sup>151</sup> Informazioni acquisite dalla documentazione ufficiale rilasciata dalla Adobe all'indirizzo web [http://help.adobe.com/archive/en/photoshop/cs6/photoshop\\_reference.pdf](http://help.adobe.com/archive/en/photoshop/cs6/photoshop_reference.pdf). Link verificato nell'agosto 2017.

Il vantaggio nell'uso di un file \*.DNG anziché formati di dati RAW proprietari sta nella possibilità di poter utilizzare tale formato per un tempo in teoria indeterminato, a differenza dell'utilizzo dei formati proprietari, i quali spesso non vengono più supportati dopo pochi anni dai produttori stessi<sup>152</sup>.

Tale formato, importato su Adobe Photoshop CC, ha permesso un agevole intervento di miglioramento delle immagini utilizzate per i rilievi fotogrammetrici e, grazie al Tool Adobe Camera RAW 9.10, è stato possibile controllare tutti i parametri del fotogramma e migliorarlo sensibilmente, salvandolo in formato \*.JPG ad alta risoluzione ed utilizzandolo per le elaborazioni.

Le immagini da drone sono state realizzate mediante la camera in dotazione al Phantom 4, che monta una DJI Modello FC300X con obiettivo da 20.7 mm e lunghezza focale: 3,61 mm (in 35mm: 20 mm). Le immagini sono state scattate con un'esposizione di 1/60 sec, f/2.8, ISO 100, 8176 e con una dimensione immagine di 3992 x 2992 a 300,00 Pixel per pollice.

La stabilità della camera è data da un sistema gimbal a 3 assi in grado di annullare le vibrazioni durante il volo, consentendo un'acquisizione fluida di filmati e delle immagini senza sfocature anche durante riprese in movimento.

A differenza delle immagini acquisite da terra con la fotocamera Nikon D5100, quelle prese dal drone mostravano una distorsione importante causata dall'ottica della camera montata a bordo. Pertanto, prima di avviare il processo di allineamento delle immagini, si è optato per un ulteriore intervento di Adobe Photoshop, che, tra i vari strumenti in dotazione nella sezione filtri ha quello che, in base ai metadati dell'immagine acquisita, opera una correzione dell'immagine eliminando la distorsione.

Le immagini digitali utilizzabili per ottenere informazioni 3D attendibili devono attraversare un processo di calibrazione che ha alla base il modello analitico delle equazioni di collinearità<sup>153</sup>.

---

<sup>152</sup> Le immagini RAW fino a qualche anno fa venivano salvate dalle fotocamere digitali in formati proprietari e differenti, quali, per esempio \*.NEF per Nikon, \*.CR2 per Canon, \*.PEF per Pentax, ecc. Oggi ci si avvale di uno standard unico, come il \*.DNG, che, nonostante sia stato creato e promosso da Adobe, è stato sottoposto all'organizzazione ISO per diventare uno standard certificato, attualmente supportato da una lunga lista di produttori, tra i quali Apple, Corel, Extensis, Hasselblad, Leica, Pentax, Ricoh, Samsung, ecc.

<sup>153</sup> REMONDINO, FRASER 2006.



Questo processo, assieme all'orientamento delle immagini, compone il nucleo delle funzioni principali che Photoscan realizza automaticamente, anche se, volendo teoricamente aumentare il livello di precisione, sarebbe auspicabile separare i due processi<sup>154</sup>.

Una volta effettuati la calibrazione delle immagini e l'orientamento delle foto mediante punti omologhi, il software è in grado di calcolare la collocazione spaziale di ciascun punto rispetto alle posizioni delle camere in coordinate X, Y, Z, per poi costruire la nuvola di punti e da questa la mesh che comporrà il modello.

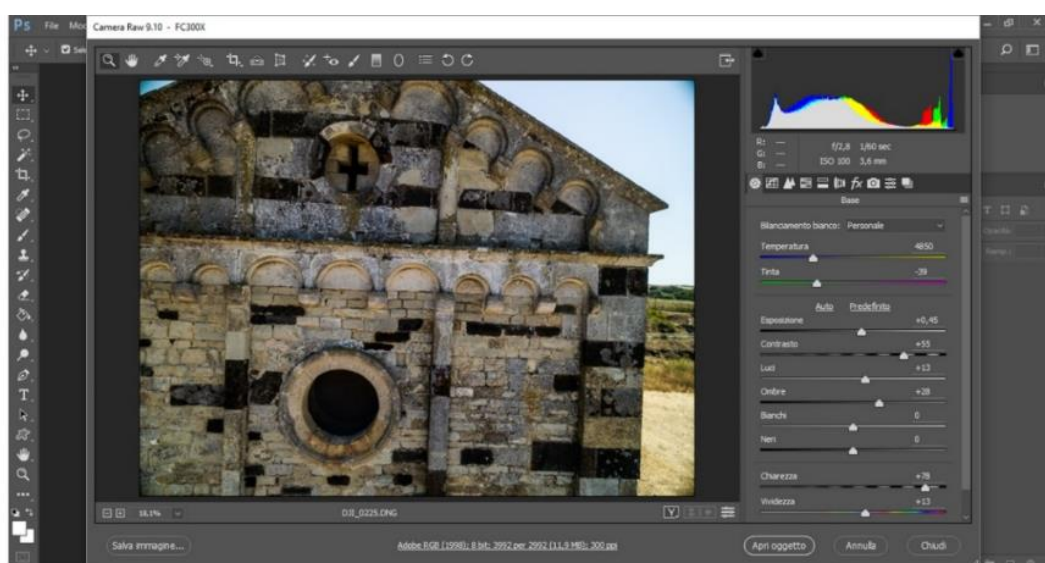


Fig. 18. L'applicativo Photoshop nella gestione dei file Digital Negative (DNG), in alto; il risultato delle elaborazioni, in basso.

<sup>154</sup> REMONDINO, FRASER 2006. Per un quadro completo delle procedure relative alla calibrazione e l'allineamento delle immagini si veda NEX, REMONDINO 2014, p. 78.

Photoscan permette inoltre un'agevole gestione della *texture* grazie ad un algoritmo di ricomposizione in grado di restituire come output una mappa ortofotografica del modello con possibilità di georeferenziazione; questa può avvenire mediante l'inserimento di coordinate spaziali o la lettura del datum direttamente dalle immagini digitali, se acquisite con fotocamera dotata di GPS.

Tuttavia il migliore risultato, in termini di precisione e affidabilità, si raggiunge utilizzando una stazione totale o un GPS differenziale di alta precisione.

Il modello, oltre alla possibilità di restituire ortofotopiani delle superfici acquisite o del monumento, sarà esportabile in formati standard per ulteriori elaborazioni e post-elaborazioni, come le analisi quantitative e qualitative delle superfici e la comparazione dei modelli ottenuti da altri set di dati.

L'esportazione dei modelli può avvenire in numerosi formati, tra cui \*.OBJ, \*.3DS, \*.PLY, \*.U3D \*.KML per Google Earth e PDF 3D. Quest'ultimo formato permette la diffusione di modelli tridimensionali dotati di dati metrici senza dover necessariamente acquistare Photoscan, essendo particolarmente utile grazie agli strumenti di misurazione e alla sezione del modello messi a disposizione dalla Adobe nel suo lettore gratuito Acrobat Reader DC<sup>155</sup>.

Inserire il supporto 3D al formato PDF, uno standard ormai universalmente riconosciuto, aiuta certamente la diffusione di modelli 3D all'interno non solo della comunità scientifica, ma, grazie alla sua interattività, anche presso una platea sempre più ampia di utenti, avvantaggiati dall'enorme potenziale che l'interattività ha a livello di comunicazione e trasmissione del sapere<sup>156</sup>.

Il software suddetto è in grado di produrre anche modelli digitali del terreno e ortofoto esportabili in diversi formati integrabili immediatamente in software GIS.

Tutte le operazioni di confronto tra modelli tridimensionali, analisi delle superfici, utilizzo dei modelli digitali terrestri su Software GIS necessitano di applicazioni terze. Nell'ambito della presente ricerca sono stati utilizzati numerosi software, sia proprietari che *open source*.

---

<sup>155</sup> <https://get.adobe.com/it/reader/>

<sup>156</sup> APPETECCHIA *et al.* 2012, pp. 22-29.

Per le analisi delle superfici MeshLab<sup>157</sup> ha dato un valido supporto, assieme a Geomagic Studio<sup>158</sup>. Le elaborazioni territoriali sono state successivamente importate su ArcGIS<sup>159</sup> e qui elaborate assieme ai dati puntuali acquisiti sullo scavo del sito nuragico di Sant'Imbenia, situato nella baia di Porto Conte, in comune di Alghero, il secondo caso studio di questo lavoro.

Attraverso il processo descritto si è cercato d'illustrare le problematiche legate al rilievo fotogrammetrico, notando come anche i piccoli dettagli, se trascurati, possono influire sensibilmente sulla corretta realizzazione di un rilievo fotogrammetrico preciso.

Una volta compresi e superati i problemi legati a un corretto utilizzo del software, il lavoro si sposta sul campo per effettuare le acquisizioni. Per fare ciò sono necessari alcuni passaggi essenziali volti alla realizzazione di un corretto processo fotogrammetrico.

I modelli 3D realizzati per questa tesi prevedono una fase di acquisizione con fotocamere non calibrate, pertanto, non possedendo riferimenti metrici, tali modelli vengono realizzati in scala, proporzionati ma con dimensioni relative.

Per effettuare la registrazione della nuvola di punti e conferire così delle coordinate assolute al modello è possibile intervenire nel software definendo delle distanze di riferimento tra punti noti o rilevare, mediante stazione totale, i marker codificati a lettura automatica che Photoscan mette a disposizione dell'utente.

I marker codificati sono delle mire che il software genera automaticamente come file PDF, che possono essere stampati e posizionati nella scena da acquisire per poi essere riconosciuti in modo automatico dal programma e collocati su ogni fotogramma in cui vi compaiono.

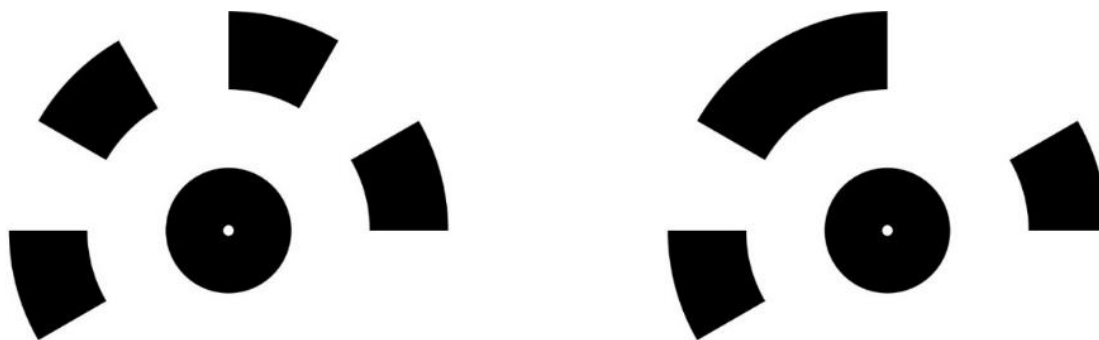
Tali indicatori, una volta rilevati mediante una stazione totale o un GPS differenziale, vengono acquisiti dal software come punti di riferimento assoluti e, grazie alla possibilità di inserimento delle coordinate X, Y, Z, permettono di scalare e orientare il rilievo.

---

<sup>157</sup> <http://www.meshlab.net/>

<sup>158</sup> <http://www.geomagic.com/it/>

<sup>159</sup> <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>



5

6

Fig. 19. I marker codificati che Photoscan permette di stampare e utilizzare per i rilievi.

Qualora non fosse possibile utilizzare i marker, il software è in grado di scalare un modello attraverso la definizione di una o più misure tra due punti noti nel monumento, generando una *scalebar* sulle immagini acquisite durante la procedura di elaborazione. Una volta scalato il modello sarà possibile estrapolarne dati metrici e informazioni autoptiche grazie alle *texture* ad alta risoluzione.

La tecnologia messa a disposizione del software Agisoft permette di acquisire i dati metrici di un oggetto tramite l'integrazione del rilievo di mire posizionate intorno allo stesso. Tali dati consentono di ripristinare l'allineamento delle camere non correttamente allineate (*Reset Camera Alignment*), riconoscere i marker su ogni foto e proiettare il suddetto allineamento in almeno altre due foto del set di immagini già allineate, selezionare tali foto e riallinearle (*Align Selected Cameras*) ed infine ricreare la nuvola di punti e le posizioni delle camere correttamente allineate<sup>160</sup>.

La possibilità di ottenere dati metrici da sistemi di fotogrammetria non calibrata, i cui margini di precisione come si è cercato di dimostrare nel capitolo sono soddisfacenti e compatibili con le esigenze di una documentazione accurata dello scavo archeologico, sta spingendo la ricerca ad adottare in modo sistematico tali metodologie e tecniche di rilievo digitale di tipo speditivo.

La portabilità della strumentazione, ridotta sul campo a una macchina fotografica digitale, associata a tempi di ripresa ragionevoli e a costi esigui, renderà in futuro la

---

<sup>160</sup> Per tale procedura vedere Agisoft PhotoScan User Manual, 2016.

fotogrammetria non calibrata una tecnologia insostituibile per la documentazione dello scavo archeologico.



Fig. 20. Il processo di acquisizione fotogrammetrica sul campo e i risultati ottenuti dall'elaborazione

È indubbio il valore che tali tecnologie possono fornire alla ricerca archeologica nelle sue fasi di acquisizione e interpretazione dei dati, conservazione e valorizzazione del bene, sia a livello scientifico che divulgativo, attraverso qualsiasi supporto o piattaforma<sup>161</sup>. Tuttavia tali processi, ormai quasi completamente automatizzati, si basano su algoritmi di riconoscimento e analisi delle immagini ben codificati, capaci di operare al meglio con acquisizioni realizzate secondo parametri non trascurabili, come i sensori delle fotocamere e la loro calibrazione, i punti di presa e la superficie comune sovrapponibile. È ovvio che l'elaborazione di immagini acquisite con sensori performanti restituiranno un modello tridimensionale di maggior dettaglio e precisione, ed è per questo che la calibrazione della camera è un passaggio fondamentale per la realizzazione di rilievi misurabili<sup>162</sup>.

### **1.5 Acquisizione e gestione delle immagini.**

La fotogrammetria nasce come una tecnica di rilievo indiretto definita da processi regolati da algoritmi che permettono la realizzazione di modelli tridimensionali a partire da immagini. Essa viene introdotta con l'obiettivo di ricavare misure da immagini evitando distorsioni e annullando gli effetti deformanti della presa fotografica che avviene mediante l'obiettivo della camera.

La fotografia, anche in archeologia, è da sempre uno dei principali supporti per documentare e comunicare i differenti contesti di ricerca e l'attività sul campo. Dalla nascita e diffusione di massa della fotografia digitale la disciplina archeologica ha tratto importanti vantaggi: oltre alla disponibilità di sensori sempre più potenti, è possibile oggi gestire un elevato numero di immagini ad alta risoluzione direttamente in formato digitale, limitando i costi di stampa tipici delle camere a pellicola. Oltre a questo, il grande vantaggio rispetto alla fotografia analogica è dato dalla progressiva riduzione dei costi di acquisto della strumentazione, dalla qualità del fotogramma e soprattutto dalla possibilità d'intervento sull'acquisizione delle immagini sia al momento della presa che in post

---

<sup>161</sup> REMONDINO, EL-HAKIM 2006; PAVLIDIS *et al.* 2007; SNAVELY *et al.* 2007; AGARWAL 2009; RUSSO *et al.* 2011; REMONDINO 2011; REMONDINO *et al.* 2012; NEX, REMONDINO 2014.

<sup>162</sup> REMONDINO, FRASER 2006.

produzione, grazie ad una intuitiva gestione del dato grezzo (RAW) dell'immagine direttamente su un computer rispetto ad una pellicola tradizionale.

L'immagine digitale, come qualsiasi dato informatico, è rappresentata da una serie di valori binari o esadecimali ed è composta da una matrice (o raster) di valori numerici corrispondenti ai colori relativi alle codifiche RGB, CMYK<sup>163</sup>.

Ogni elemento o cella (pixel) della matrice rappresenta un colore espresso da tre (RGB) o quattro (CMYK) serie di valori numerici che, combinati assieme, corrispondono ad un colore e, come in un mosaico, formano l'immagine. Il risultato positivo di un rilievo fotogrammetrico, oltre che dal software, dipendono strettamente dalla qualità delle immagini, quindi anche dalla tipologia e risoluzione del sensore della fotocamera digitale utilizzata per i processi di acquisizione<sup>164</sup>.

Oltre al sensore della fotocamera, gli altri importanti elementi che concorrono ad un'ottimale gestione delle immagini finalizzate alla realizzazione di un corretto e preciso rilievo 3D sono rappresentati innanzitutto dal tempo di esposizione, che, regolando la velocità di apertura dell'otturatore, permette il controllo della quantità di luce acquisita dal sensore. È fondamentale un'ottimale regolazione in quanto questa determina una sovra esposizione o meno delle immagini e, in caso di acquisizioni senza cavalletto, anche eventuali sfocature dei soggetti ripresi.

Un ulteriore elemento di cui tener conto durante la pianificazione di un rilievo fotogrammetrico è il passo di campionamento della fotocamera, che indica la distanza fisica tra celle del *chip* del sensore. Pertanto, più sarà basso il passo di campionamento, maggiore sarà la densità e, di conseguenza, la risoluzione dell'immagine acquisita.

---

<sup>163</sup> RGB è una scala di colori definita nel 1936 dalla *Commission internationale de l'éclairage* e basata sulla combinazione dei tre colori primari rosso (Red), verde (Green) e blu (Blue), da cui appunto l'acronimo RGB, da non confondere con i colori primari sottrattivi ciano, magenta e giallo (Cyan, Magenta, Yellow) a cui si aggiunge il colore chiave (Key black) per ottenere una scala in quadricromia.

<sup>164</sup> Le moderne fotocamere sono dotate di due differenti tipologie di sensori: il CCD (Charged Coupled Device) e il CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), semiconduttore a metallo ossido complementare. Solitamente le fotocamere compatte sono dotate di sensori CMOS, mentre i sensori CCD vanno ad equipaggiare apparecchiature professionali o Reflex.



Fig. 21. Un'immagine della chiesa di San Michele di Salvennor con quattro differenti livelli d'ingrandimento. Nell'ultimo, in basso a destra, si vedono chiaramente i pixel che compongono l'immagine.

L'ultimo elemento da tenere in grande considerazione è dato dalla dimensione del chip di acquisizione. Ormai le fotocamere reflex digitali sono dotate di chip più grandi rispetto al passato, che sempre più si avvicinano alle dimensioni alla pellicola con un formato da 35 mm delle reflex analogiche, conseguentemente ad una maggiore dimensione del chip avremo una corrispettiva sensibilità nel fotogramma.

La dimensione del sensore della fotocamera e dei suoi pixel e la distanza di acquisizione delle immagini sono due parametri fondamentali per determinare la risoluzione di un'immagine digitale e di conseguenza la scala con cui è possibile realizzare un rilievo fotogrammetrico.

La *Ground Sample Distance*, in un'immagine ovvero in un'ortofoto, nel caso di un rilievo fotogrammetrico, rappresenta la distanza tra il centro di due pixel consecutivi del chip della fotocamera espressa in unità di misura territoriale. In altri termini equivale alla



“quantità di terreno” reale contenuta in un pixel.

Si tratta dunque del rapporto tra l’unità di misura reale (il metro) e quella digitale dell’immagine (il pixel) utilizzato per rappresentare un rilievo fotogrammetrico in una scala ben precisa; perciò quanto più è piccolo il GSD tanto più è dettagliata l’informazione contenuta nel relativo pixel. Un’ortofoto con un GSD di 0.10 m/pix conterrà un’informazione più precisa rispetto ad un’altra con un GSD di 1 m/pix, in quanto il primo rilievo fotogrammetrico “conterrà” 10 cm di porzione reale di territorio o dell’oggetto acquisito per ogni pixel dell’immagine, mentre il secondo conterrà 1 m per ogni pixel. Poiché il GSD è soggetto a variazioni derivanti dalla distanza di presa, dalle caratteristiche del sensore della fotocamera e dall’ottica utilizzata, al fine di programmare un rilievo fotogrammetrico ad una determinata scala, è necessario conoscere la dimensione del singolo pixel, la distanza focale e la distanza di presa dell’oggetto da acquisire secondo la proporzione:

$$d : D = f : H$$

La “d” definisce la dimensione pixel, la “D” si riferisce alla dimensione oggetto acquisito, ovvero il GSD, la “f” indica la distanza focale e il valore “H” rimanda alla distanza del punto di presa dall’oggetto.

Pertanto il GSD si otterrà in questo modo:

$$\text{GSD} = H \frac{d}{f}$$

Il rilievo fotogrammetrico della chiesa di San Michele di Salvennor è stato realizzato da una distanza media di acquisizione tra i 7 e gli 8 metri con una sovrapposizione di circa il 70% attraverso l’impiego di due differenti fotocamere: la prima, utilizzata per le riprese da terra, è una Nikon D5100, la seconda è una *Shoot Sharp*, montata su un drone DJI Phantom 4.

- La Nikon D5100 ha prodotto immagini con le seguenti specifiche:

**Marca:** NIKON CORPORATION

**Modello:** NIKON D5100; S/N: 6200954

**Obiettivo:** 18.0-55.0 mm f/3.5-5.6

Informazioni scatto

**Lunghezza focale:** 18,00 mm (in 35 mm: 27 mm)

**Esposizione:** 1/200 sec; f/8; ISO 200; Non definita; Misurazione Pattern

**Dimensione immagine:** 4928 x 3264

**Risoluzione:** 300,00 Pixel per pollice

- La fotocamera DJI invece ha prodotto il seguente formato d'immagine:

**Marca:** DJI

**Modello:** FC300X; S/N: 2014031100

**Obiettivo:** 20.7 mm

Informazioni scatto

**Lunghezza focale:** 3,61 mm (in 35mm: 20 mm)

**Esposizione:** 1/60 sec; f/2.8; ISO 100; 8176; Misurazione Media ponderata al centro

**Dimensione immagine:** 3992 x 2992

**Risoluzione:** 300,00 Pixel per pollice

Sono stati utilizzati 405 fotogrammi; 318 acquisiti da terra con la Nikon D5100 a 18 mm e 87 con la DJI a 3.61 mm.

Il GSD è stato calcolato sulla fotocamera Nikon D5100 che ha restituito un valore di circa 0,2 cm/pix.

**GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR**

**Instructions**

1. Inserisci la dimensione del sensore (millimetri) in cell C14
2. Inserisci la focale dell'obiettivo (millimetri) in cell C15 (la focale reale, non l'equivalente dei 35 mm)
3. Inserisci l'altezza o distanza di ripresa (metri) in cell C16
4. Inserisci la larghezza dell'immagine (pixels) in cell C17
5. [Opzionale] Inserisci l'altezza dell'immagine (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

**Calculator**

Sw	23,8	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fx	18	= the focal length of the camera (millimeters)
H	8	= the flight height (meters)
imW	4928	= the image width (pixels)
imH	3264	= the image height (pixels)
<b>GSD</b>	<b>0,21</b>	<b>= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)</b>
Dw	10	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	7	= height of single image footprint on the ground (meters)

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

Fig. 22. Software della Pix4D che permette il calcolo del GSD agevolmente.

Con un GSD di tale livello il fattore di scala può spingersi su restituzioni molto dettagliate, ma, per convenzione architettonica<sup>165</sup> e considerando il fatto che il processo di digitalizzazione di una immagine comporta sempre un errore dovuto alle capacità di lettura e di conoscenza del software da parte dell'operatore, si è presa in considerazione la restituzione di un rilievo in scala 1:50 dell'intero edificio.

Ad ogni modo, con il rilievo fotogrammetrico eseguito nella chiesa di San Michele è possibile rappresentare 0.21 cm reali per pixel contenuti nell'immagine raster delle strutture del monumento.

La scelta di lavorare con un tale livello di dettaglio è stata dettata da due motivazioni, entrambe legate all'obiettivo della ricerca: la prima è legata all'analisi metrica della chiesa col fine di ottenere rilievi precisi e completi di texture; la seconda invece riguarda la realizzazione di un'attenta analisi stratigrafica muraria, sia autoptica che mediante la

<sup>165</sup> La scala di riduzione grafica in ambito architettonico costituisce uno standard in grado di permettere dell'interoperabilità tra differenti discipline. Le norme internazionali ISO definiscono le scale di rappresentazione da utilizzarsi nella norma ISO 5455. Nei campi del disegno architettonico e dell'urbanistica, per esempio, gli standard di rappresentazione vanno dall'1:10 per rappresentare i dettagli di particolari componenti all'1:100 per progetti architettonici di ampia superficie, passando per i rapporti 1:20 e 1:50 come livello di dettaglio intermedio.

fotogrammetria 3D, finalizzata alla comprensione del monumento e alla ricostruzione del complesso monastico annesso.

La possibilità di intervenire sull'immagine stessa migliorandola attraverso l'utilizzo di software per il fotoritocco è utile non solo per fini di "pulizia dell'immagine", ma anche per agevolare l'intero processo di analisi fotogrammetrica 3D<sup>166</sup>.

## 1.6 Tanti strumenti per un solo obiettivo

Sono state presentate le problematiche relative alla realizzazione di un rilievo tridimensionale, sia esso realizzato con laser scanner o con stazione totale e fotogrammetria, nonché le opportunità che tali strumenti possono dare all'archeologia.

Ma il dato che su tutti è emerso prepotentemente da questo lavoro riguarda il peso che tali apparecchiature devono avere all'interno della ricerca, in tutto il suo processo di acquisizione, analisi e interpretazione dei dati materiali.

Si è voluto impostare tale ricerca distinguendo nettamente gli strumenti tecnologici dagli strumenti di analisi, un modello tridimensionale da un'analisi stratigrafica muraria, un software GIS dallo studio di una sequenza.

L'utilizzo delle tecnologie sta permettendo un'evoluzione nella metodologia e definendo nuove procedure di registrazione e analisi del dato archeologico, facilitando la creazione di nuovi paradigmi, nuovi standard e quindi nuovi metodi per ottenere dei sostanziali progressi nella comprensione dei processi storico-archeologici.

Generando modelli tridimensionali di grande precisione è stato necessario imparare ad utilizzare hardware e software di elevata complessità e specializzazione, proprietari e *open source*, che spaziavano dal CAD 3D al GIS, GPS, stazioni totali e laser scanner, gestione di nuvole di punti ed estrapolazione di rilievi 3D da immagini, fino ad entrare nei campi relativi alla modellazione e alla parte più ardua della *Computer Vision* e dei videogiochi applicati su ambientazioni storico-archeologiche.

---

<sup>166</sup> I software più diffusi e completi per effettuare tali operazioni sono Adobe Photoshop e il suo omologo *open source* Gimp.

Si tratta di attività spesso distribuite all'interno di *équipe* formate da specialisti, ma che nel caso in esame sono state sviluppate in maniera autonoma, senza relegare l'informatica ad un ruolo "ancillare" rispetto all'archeologia "che utilizza lo strumento informatico a livelli di bassissima operatività, quale disinvolto alibi di facciata"<sup>167</sup>. Si è invece cercato di fare uso delle tecnologie per rappresentare e comunicare quei processi di conoscenza avvenuti mediante l'utilizzo di questo eccezionale strumento di analisi e processamento dati, che nella *Computer Vision* ha un enorme potenziale grazie alla possibilità di realizzare valide ricostruzioni e simulazioni basate su dati scientificamente corretti.

Durante la ricerca qui proposta i processi di elaborazione dati hanno occupato la gran parte del tempo a causa dei numerosi tentativi realizzati per migliorare, ottimizzare e testare ogni possibile variabile all'interno del processo di acquisizione ed elaborazione.

In questi tre anni ogni fase del lavoro è stata svolta cercando di sviluppare la migliore metodologia possibile con l'obiettivo di poter ricavare il maggior numero di informazioni dal dato archeologico, documentato con una sezione bidimensionale, con uno schizzo e un diario di scavo oppure un modello tridimensionale complesso ricavato da fotogrammetria aerea, antepoendo l'esperienza e la ricerca sul campo ai tecnologismi, utilizzando gli strumenti per risolvere i problemi e acquisire più informazioni possibili, col fine di aumentare la comprensione dei contesti archeologici.

Il cambiamento, dagli anni '80 e '90 del secolo scorso, quando l'attenzione all'acquisizione del dato e alle sue problematiche è stata spesso saltuaria, ai giorni nostri, è avvenuto *step by step*, attraverso un trentennio ricco di interessanti opportunità legate all'informatica e alla interoperabilità dei dati con altre discipline scientifiche.

Ed è questo l'approccio del presente lavoro, quello di "discutere contenuti e prodotti della ricerca archeologica"<sup>168</sup> grazie alle enormi opportunità che le tecnologie offrono alla disciplina.

---

<sup>167</sup> DE GUIO 1992, p. 24.

<sup>168</sup> FORTE 2015, p. 15.

## Capitolo 2

### L'insediamento nuragico di Sant'Imbenia ad Alghero (SS)

#### 2.1 Inquadramento del sito e struttura della ricerca

Lo studio di un territorio e dei sistemi di organizzazione sociale che si sono succeduti nella storia sono strettamente legati alle risorse che esso offre.

Il sito nuragico di Sant'Imbenia si trova nel quadrante nord-occidentale della Sardegna, nella Nurra meridionale<sup>169</sup>, all'interno dei confini amministrativi del comune di Alghero, nella baia di Porto Conte, topograficamente individuata nel foglio 192 della Carta d'Italia in scala 1:100.000 e nelle sezioni in scala 1:25.000 di Tramariglio, Fertilia, Capo Caccia e Alghero.



Fig. 23. Localizzazione di Sant'Imbenia nel settore nord-occidentale della Sardegna

<sup>169</sup> La Nurra è una regione della Sardegna nord-occidentale che prende il nome dall'antica curatoria medievale del Giudicato di Torres.

Si tratta di un'area attualmente ricca di risorse, idriche e minerarie<sup>170</sup>, che favorì l'insediamento umano fin dalla Preistoria, con un'intensità estremamente elevata in età nuragica<sup>171</sup>.

Geomorfologicamente la baia di Porto Conte è racchiusa tra i promontori carsici di Capo Caccia e Punta Giglio, con emergenze collinari modeste che non raggiungono i 450 metri. Dal punto di vista paesaggistico la Nurra algherese subì pesanti modificazioni a causa dei lavori effettuati dal Consorzio di Bonifica della Nurra durante il XX secolo, che oggi non permettono una chiara lettura del paesaggio storico<sup>172</sup>.

La presenza d'acqua ha certamente favorito la nascita e lo sviluppo degli insediamenti umani, dei quali ancora oggi si conservano evidenti tracce in tutta l'area, dal Neolitico all'epoca moderna, senza soluzione di continuità.

Strettamente legato a questa ricerca è il sito nuragico Sant'Imbenia (latitudine 40.621552°, longitudine 8.198490°), distante dalla costa circa 450 metri e posto ad una quota di circa 7 metri s.l.m.

Sono presenti numerose sorgenti perenni nell'area limitrofa all'abitato, che, probabilmente hanno costituito un fattore di attrazione per altri nuraghi<sup>173</sup>.

Le prime notizie riguardo al territorio di Porto Conte, e in particolare al sito di Sant'Imbenia, risalgono ai primi anni del XX secolo<sup>174</sup>. Ma è solo nel 1982 che, su iniziativa della Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Sassari e Nuoro, vennero realizzati degli scavi archeologici, a causa di interventi di ampliamento del vicino camping che danneggiarono parte del nuraghe, allora l'unica struttura visibile<sup>175</sup>.

---

<sup>170</sup> Per le risorse minerarie, oltre quelle dell'Argentiera, si veda LO SCHIAVO 1999, fig.1, pp. 500-501.

<sup>171</sup> MORAVETTI, 1992a: 25; CONTU, 1997: 476; MORAVETTI, 2000b: 14-16, ALBA 2009.

<sup>172</sup> Nel 1933 il Governo italiano interviene attraverso l'Ente Ferrarese di Colonizzazione, che inizia la sua attività su un comprensorio di circa 30 mila ettari, di cui 8000 messi a coltura, e l'edificazione di un centinaio di case rurali. Nel 1951, a seguito della Legge sulla Riforma Agraria, l'ETFAS avvia un imponente programma di trasformazione fondiaria con l'appoderamento di migliaia di ettari di terreno che concede in assegnazione e con la costruzione di importanti centri di servizio. Con Decreto Prefettizio n° 27832/Div. IV dell'11.11.1949, viene costituito il Consorzio di Bonifica della Nurra fra l'Amministrazione Provinciale ed il Comune di Sassari.

<sup>173</sup> Oltre Sant'Imbenia si segnalano i nuraghi monotorre di Lu Carru di Lu Vin, Cala del Vino, Cinciriadu e Paru. ALBA 2012, pp. 28-29.

<sup>174</sup> Il sito venne individuato dal Pinza nel 1901 ma documentato solo tre anni dopo. PINZA 1901. Tav. IX, p. 162, BAFICO 1997, p. 45.

<sup>175</sup> BAFICO 1997, pp. 45-46.

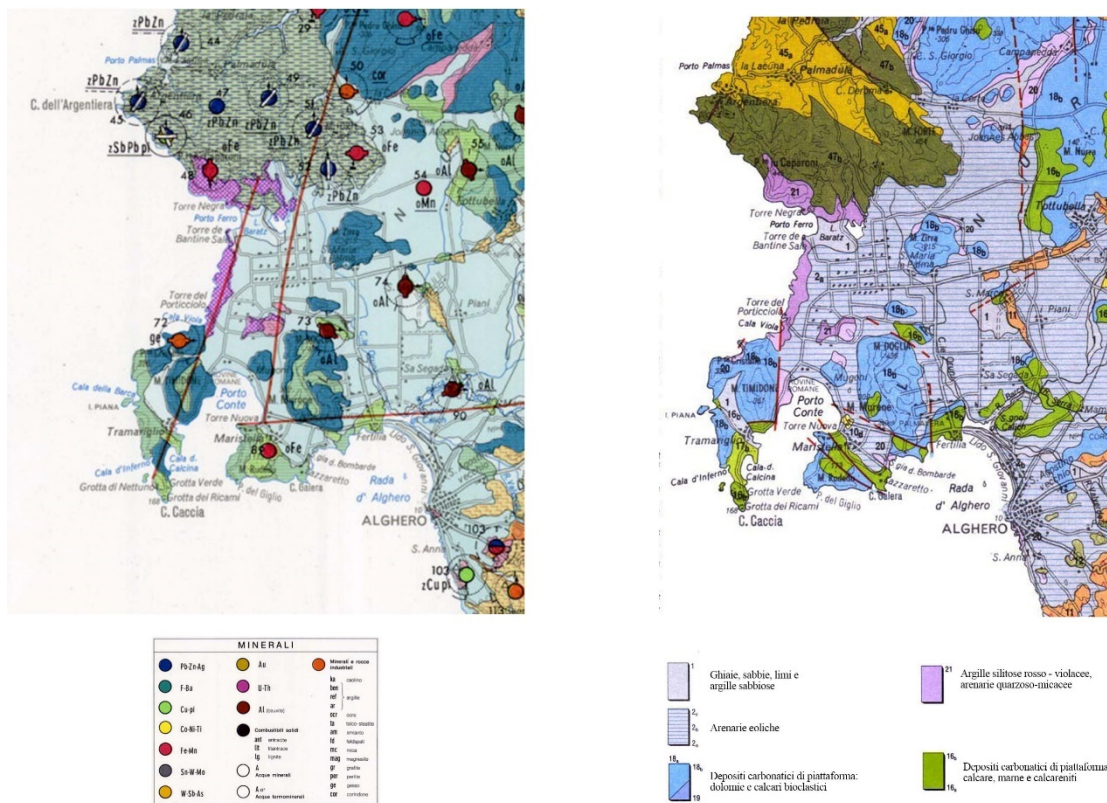


Fig. 24. Stralcio della Carta metallogenica della Sardegna e della Carta geologica della Sardegna estratta dalla Cartografia geologica della Sardegna resa disponibile dall'Ordine dei Geologi della Sardegna<sup>176</sup>

L'edificio si presenta con una pianta quadrangolare con mastio centrale e due torri minori lungo la parte orientale della costruzione, dove si presume possa trovarsi l'ingresso.

Le indagini svolte hanno restituito materiale che identifica diverse fasi dell'abitato: una prima, compresa tra l'età del Bronzo medio finale (1400-1300 a.C.)<sup>177</sup> al Bronzo Finale (1200-1100 a.C.), caratterizzato dalla presenza di ceramica decorata a pettine<sup>178</sup>, una successiva, corrispondente al periodo di massima frequentazione intorno al Bronzo Finale-prima età del Ferro (1000-700 a.C.), quest'ultima documentata anche dalla presenza di materiali greci e fenici<sup>179</sup>.

<sup>176</sup> <http://www.geologi.sardegna.it/documenti/cartografia-geologica/>

<sup>177</sup> FEDERICI, GINESU, SIAS 1999, pp.130-131.

<sup>178</sup> CAMPUS, LEONELLI 2000.

<sup>179</sup> BAFICO 1998, p. 15.

LUCA SANNA

Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.

Problematiche e metodologie proposte.

Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo  
Università degli Studi di Sassari



La ripresa delle ricerche, negli anni Duemila, ha permesso di ampliare il settore d'indagine nell'area dell'abitato localizzato a nord ovest del nuraghe, mostrando un abitato organizzato in isolati composti da più ambienti, alcuni di questi particolarmente articolati<sup>180</sup> e una "piazzetta"<sup>181</sup>.

Nel 2006 le attività archeologiche nel sito riprendono grazie a una convenzione tra la Soprintendenza per i Beni Archeologici delle province di Sassari e Nuoro, Comune di Alghero, *Faculty of Classics* della *University of Cambridge* e Università di Sassari<sup>182</sup>, che permette la strutturazione di un ampio progetto mirato alla ricostruzione diacronica della storia insediativa del complesso di Sant'Imbenia e del relativo territorio.

Tali attività hanno permesso di indagare una superficie di circa 1000 m<sup>2</sup>, attualmente coperta da una tettoia e, grazie all'impiego di prospezioni geofisiche realizzate da P. Johnson della *Faculty of Classics* of Cambridge, d'individuare un'estensione dell'abitato nuragico di circa 90 m di raggio a Nord del nuraghe<sup>183</sup> e di effettuare anche una verifica dei siti di età nuragica, presenti nella rada di Porto Conte e la relativa documentazione<sup>184</sup>.

In linea con lo spirito del progetto, la ricerca nel sito di Sant'Imbenia si svolge su diverse scale di intervento<sup>185</sup>: dalla macro scala, nella quale si analizza geograficamente e mediante modellazione digitale del terreno la collocazione del sito all'interno del suo territorio di pertinenza e le interazioni con i coevi insediamenti, a una media scala, che utilizza i supporti tecnologici a disposizione per la documentazione dell'intero abitato, fino ad una micro scala, rispetto a cui la stratigrafia dell'ambiente 47, scelto per questo caso studio, diviene il banco di prova per studiare l'interazione tra rilievo fotogrammetrico 3D e applicativi per sistemi informativi geografici.

Attraverso gli strumenti GIS è stato possibile rappresentare tre scale su cui si è svolta l'analisi, gestendo una piattaforma cartografica realizzata con i tematismi (open data) messi a disposizione della Regione Sardegna nel proprio Geoportale<sup>186</sup> e la banca dati relativa alle schede US dell'Ambiente 47.

---

<sup>180</sup> DEPALMAS, RENDELI 2012, pp. 909-912.

<sup>181</sup> BAFICO 1998, p. 18.

<sup>182</sup> GARAU, RENDELI 2012, p. 893.

<sup>183</sup> JOHNSON 2012, pp. 1753-1770.

<sup>184</sup> GARAU 2012.

<sup>185</sup> GARAU, RENDELI 2012.

<sup>186</sup> <http://www.sardegnaegeoportale.it/>



Fig. 25. Foto aerea dell'area di Sant'Imbenia e particolare del nuraghe. (foto L. Sanna)

Per la media e micro scala il supporto cartografico è stato realizzato in tre dimensioni mediante scansione laser scanner per l'intero sito e stazione totale e fotogrammetria nel caso dell'ambiente 47.

La piattaforma GIS è stata creata per gestire la cartografia, bidimensionale e su supporto cartaceo, realizzata per il suddetto ambiente attraverso la gestione di differenti layer collegati all'archivio delle schede di US.

Mediante la modellazione delle superfici delle singole US rimosse e documentate su supporto cartaceo è stato possibile ricostruire e rappresentare tridimensionalmente la sequenza collegata all'archivio della documentazione prodotta durante questi anni di ricerche.

Tale supporto, realizzato per mezzo di un software GIS, è una mera rappresentazione della stratigrafia ricreata dalle quote misurate durante le campagne di scavo e non rilevate mediante nuvola di punti densa, tipica del rilievo tridimensionale.

Per questo si preferisce evitare l'etichetta di GIS 3D, in quanto il software utilizzato per gestire la documentazione dell'Ambiente 47 dell'abitato di Sant'Imbenia non ha la pretesa di gestire un modello dati dello scavo e degli archivi di riferimento in tre

dimensioni<sup>187</sup>; perciò, anche se si tratta di un applicativo GIS il suo utilizzo è stato relegato alla sola rappresentazione della sequenza stratigrafica, nell'ottica di una simulazione virtuale relativa ad una potenziale, futura gestione cartografica tridimensionale dell'intero sito.

Realizzare un GIS non significa utilizzare un software in grado di costruire una piattaforma cartografica e alfanumerica, ma mettere in relazione i numerosi dati, geografici, cartografici, archeologici e, mediante l'utilizzo del calcolatore, dimostrare come questo possa “[...] rivelarsi un mezzo quasi insostituibile per la produzione di informazioni e per la loro successiva verifica (computer come strumento efficace di ricerca e GIS come mezzo di interpretazione e produzione di conoscenza).”<sup>188</sup>.

Parte nodale della ricerca è costituita dalla gestione e dagli utilizzi del dato tridimensionale rilevato nelle tre differenti scale nell'area del sito Sant'Imbenia, a partire dalla ricostruzione fotogrammetrica realizzata grazie a riprese aeree del sito effettuate in collaborazione col Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale della Sardegna nel 2005, al quale si è dato supporto in occasione della geolocalizzazione e schedatura di alcuni siti archeologici del territorio di Sassari. In quest'occasione è stato possibile scattare delle foto da un elicottero che viaggiava a circa un centinaio di metri sopra l'area di Sant'Imbenia. Tali immagini sono state utilizzate per la realizzazione del rilievo dell'intera area intorno al sito.

Il rilievo in media scala è stato realizzato mediante laser scanner, per acquisire l'intera superficie del sito. L'acquisizione completa della superficie finora indagata, attraverso tre giorni di attività sul campo e 53 scansioni, ha consentito la creazione di un supporto cartografico di altissima precisione e accuratezza a cui riferire scalimetricamente i rilievi fotogrammetrici dei singoli ambienti.

La micro scala è stata realizzata essenzialmente con rilievo fotogrammetrico, sul quale è stata simulata la ricostruzione stratigrafica delle sequenze indagate.

Ovviamente il rilievo effettuato con il laser scanner ricopre anche quest'ultimo livello di scala, poiché l'enorme precisione, assieme all'elevato numero di scansioni effettuate a

---

<sup>187</sup> VALENTI 2000, FRONZA 2000, NARDINI 2000.

<sup>188</sup> FRANCOVICH, VALENTI 2000.

causa dei numerosi coni d'ombra presenti, ha permesso un'acquisizione con un elevato dettaglio per quanto riguarda le superfici, ma priva di texture.

Il caso di studio di Sant'Imbenia contempla anche una proposta di valorizzazione di un'area che, pur aperta alla ricerca, risulta ancora inadatta ad accogliere turisti a causa di problemi burocratici legati al vicino Camping omonimo, proprietario dell'area.

Si tratta della ricostruzione dell'abitato, realizzata sulla base dei rilevamenti effettuati con il laser scanner, che, mediante il motore di gioco Unity, permette al visitatore virtuale di percorrere il sito così come avrebbe potuto apparire intorno al IX secolo a.C.

## 2.2 Il contesto archeologico del sito di Sant'Imbenia

Le indagini che si svolgono dal 2008 nell'abitato nuragico di Sant'Imbenia<sup>189</sup> hanno finora permesso di delineare le dinamiche insediative che pongono questo sito in relazione al territorio circostante<sup>190</sup> e di definire l'articolazione degli spazi, organizzati secondo una concezione quasi urbana<sup>191</sup>.

Le indagini nei vari ambienti, prevalentemente produttivi e commerciali, che si affacciano sulla cosiddetta "piazza" restituiscono materiali inquadrabili tra la seconda metà del IX e il VII sec. a.C. costituiti da ceramica nuragica di produzione locale e importazioni levantine e greche<sup>192</sup>.

La stratificazione indagata nella piazza è costituita da accumuli di limi che ne hanno obliterato la pavimentazione, ancora visibile durante il declino della fase di vita più antica del villaggio<sup>193</sup>.

Dalla fine del IX secolo a.C. e fino, probabilmente, alla prima metà del VI secolo a.C., il sito viene coinvolto in una vera e propria "rivoluzione urbanistica" nella quale vengono ripensati gli spazi comuni e viene data una nuova funzionalità ad un centro che probabilmente cambia vocazione<sup>194</sup>, in un periodo in cui, a partire dai secoli a cavallo fra

---

<sup>189</sup> Sulla prima stagione di scavi (1982-1997) vd. BAFICO 1998 con bibl. prec.

<sup>190</sup> RENDELI 2012b.

<sup>191</sup> GARAU 2012b; GARAU, RENDELI 2012a; 2013; DEPALMAS, RENDELI 2012.

<sup>192</sup> GARAU 2013.

<sup>193</sup> Il sito di Sant'Imbenia risulta ancora frequentato in età punica e romana, come attestano i materiali databili tra il V sec. a.C. e il V. sec. d.C.: DEADDIS 2012; FAEDDA 2012, GARAU 2013.

<sup>194</sup> RENDELI 2012a, RENDELI 2014a

la fine del II e l'inizio del I millennio, la civiltà nuragica attraversa un chiaro momento di crisi socio-economica<sup>195</sup>.

È un periodo in cui l'intero Mediterraneo occidentale è coinvolto da profondi mutamenti sociali che emergono in modo chiaro in diverse parti dell'isola con cambiamenti radicali a partire dal nucleo edilizio base, che dalla capanna monovano evolve in forme edilizie più complesse, rappresentate con spazi aperti e ambienti chiusi<sup>196</sup>.

Cambiamenti che, a partire dalla seconda metà del IX secolo a.C., vedono l'integrazione di una componente mercantile allogena che si integra nella struttura sociale indigena, innescando quelle trasformazioni, endogene alla società nuragica che coinvolsero anche la comunità di Sant'Imbenia<sup>197</sup>.

È in quest'ambito di ricerca che si è svolto il lavoro di documentazione, inizialmente rettificando i rilievi svolti dalla Soprintendenza e cercando di ottenere un elaborato che, in continuità col passato, tenesse conto delle moderne metodologie di rilievo.



Fig. 26. Alcune immagini dell'archivio del sito di Sant'Imbenia ad inizio scavo tratte dall'archivio della Soprintendenza della Sardegna.

La fase successiva del lavoro, a seguito di apertura di settori di scavo più vasti, ha visto le prime applicazioni di restituzione fotogrammetrica bidimensionale prima e tridimensionale poi, cambiando la struttura del lavoro di documentazione, ma tenendo sempre in uso il sistema di rappresentazione planimetrica canonico.

---

<sup>195</sup> PERRA 2012, RENDELI 2013.

<sup>196</sup> RENDELI 2013.

<sup>197</sup> GARAU *et al.* 2015.

I fotopiani venivano importati su un software CAD e qui vettorializzati col fine di mantenere la medesima resa cartografica stabilita precedentemente, in continuità con il lavoro fino ad ora prodotto.

Le applicazioni di *Computer Vision* realizzate a Sant’Imbenia s’inseriscono in una ricerca più ampia volta allo studio di sistemi avanzati di gestione della documentazione archeologica, nella quale la strumentazione, hardware e software disponibile, viene inserita all’interno del processo ricostruttivo del sito indagato per aumentare la quantità di documenti mediante i quali sperimentare nuovi percorsi analitici.

Il lavoro intrapreso è iniziato con l’acquisizione fotogrammetrica dell’ambiente 47, precedentemente rilevato con il laser scanner e, grazie a questo, calibrato all’interno della documentazione generale.

È evidente che con una tale sovrabbondanza di dati talune elaborazioni si sono dimostrate forse inutili se non ridondanti, ma l’intero palinsesto documentale è stato implementato col fine di testare ogni singola attività e verificare anche eventuali “eccessi di zelo”, commessi, anche determinati dalla finalità di aumentare il livello di precisione o di evitare l’utilizzo di strumentazione analogica.

Questo non perché si predilige la strumentazione digitale rispetto all’analogica, ma perché si vuole, anche in questo caso, evidenziare come talvolta tali tecnologie siano inadeguate o superflue in funzione di una semplice e più rapida misurazione diretta.

### **2.3 Il contesto archeologico dell’ambiente 47**

L’ambiente 47, denominato anche “sala di rappresentanza”, figura all’interno del sito come una sorta di anomalia nel suo sviluppo planimetrico, per superficie e morfologia<sup>198</sup>. Di forma ellissoide, presenta tre modeste nicchie sulla porzione sud-est e nord-ovest della struttura.

La sua realizzazione rientra in quella fase di risistemazione generale che l’abitato subì tra il IX e l’VIII secolo a.C., quando venne diviso in isolati e i vani, solitamente di dimensioni più modeste, vennero organizzati attorno ad un grande spazio centrale aperto.

---

<sup>198</sup> La sintesi sull’ambiente 47 è tratta da FADDA 2015.

Lo scavo, completato per l'intera sequenza relativa alla struttura, nei suoi livelli più bassi ha permesso di documentare l'articolazione di due allineamenti circolari relativi ad una fase precedente l'impianto per isolati che venne eliminata in funzione della risistemazione definitiva.

A testimonianza di questo, il rinvenimento all'interno di una fossa sigillata da un grande elemento litico di forma irregolare, di quattro contenitori ceramici frammentari<sup>199</sup> ma in giacitura primaria, depositi capovolti deliberatamente, viene interpretato come rito di fondazione in funzione della creazione di un nuovo ambiente o della ristrutturazione dello stesso.

Potrebbe avvalorare questa ipotesi la posa coerente delle forme ceramiche e la datazione delle stesse, collocabili all'interno della seconda metà dell'VIII secolo a.C.

L'ambiente 47, realizzato sopra questa situazione, rientra perfettamente in quella fase di cambiamento strutturale, e verosimilmente culturale, che coinvolge l'abitato di Sant'Imbenia in questa fase.

L'ampiezza e la morfologia planimetrica, unitamente alle due nicchie presenti lungo i paramenti murari sul lato nord-occidentale e una sul lato sud-orientale, assieme ad un pilastro, poggiato sulla porzione settentrionale del muro, forse per dare sostegno ad elementi lignei funzionali alla copertura dell'ampio vano, rappresentano le "anomalie" che caratterizzano questo edificio rispetto agli altri presenti nel resto dell'abitato e soprattutto intorno alla piazza.

L'ingresso venne realizzato in apertura verso la piazza con stipiti e battenti in arenaria arancione, ad un livello superiore rispetto al piano di vita dell'edificio a cui si accedeva attraverso due gradini litici.

Anche durante questa ultima sistemazione, dalla successione di battuti relativi a strati di preparazione e in base ai materiali rinvenuti, è evidente che vi furono diverse fasi di vita che coinvolsero l'ambiente 47, tutte inquadrabili, nel corso della seconda metà dell'VIII secolo a.C.

---

<sup>199</sup> Si tratta di due anfore Sant' Imbenia, di una ciotola carenata e di un'olla di piccole dimensioni.

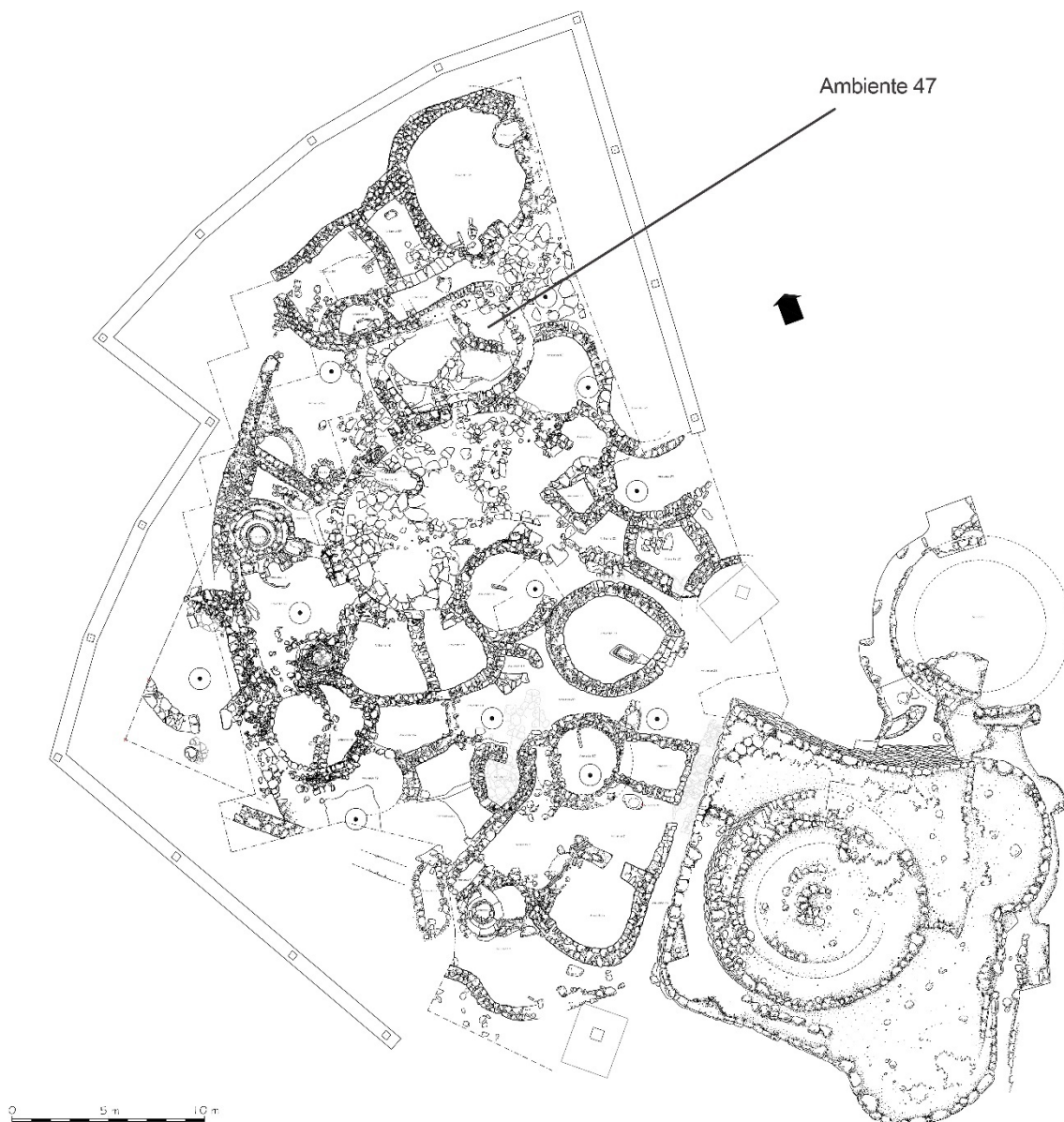


Fig. 27. Il rilievo di Sant'Imbenia nella gestione tradizionale, realizzato mediante rettifica della documentazione della Soprintendenza e integrazione con fotopiani e rilievi digitali (Rilievo A. Farina, M.A. Demurtas, L. Sanna).

È verosimile l'ipotesi per cui una gran quantità di livelli di vita, in associazione con una serie di piccole buche di palo, pertinenti presumibilmente a supporti mobili funzionali alle attività che si svolgevano all'interno della capanna, siano riferibili ad un'assidua frequentazione della stessa.



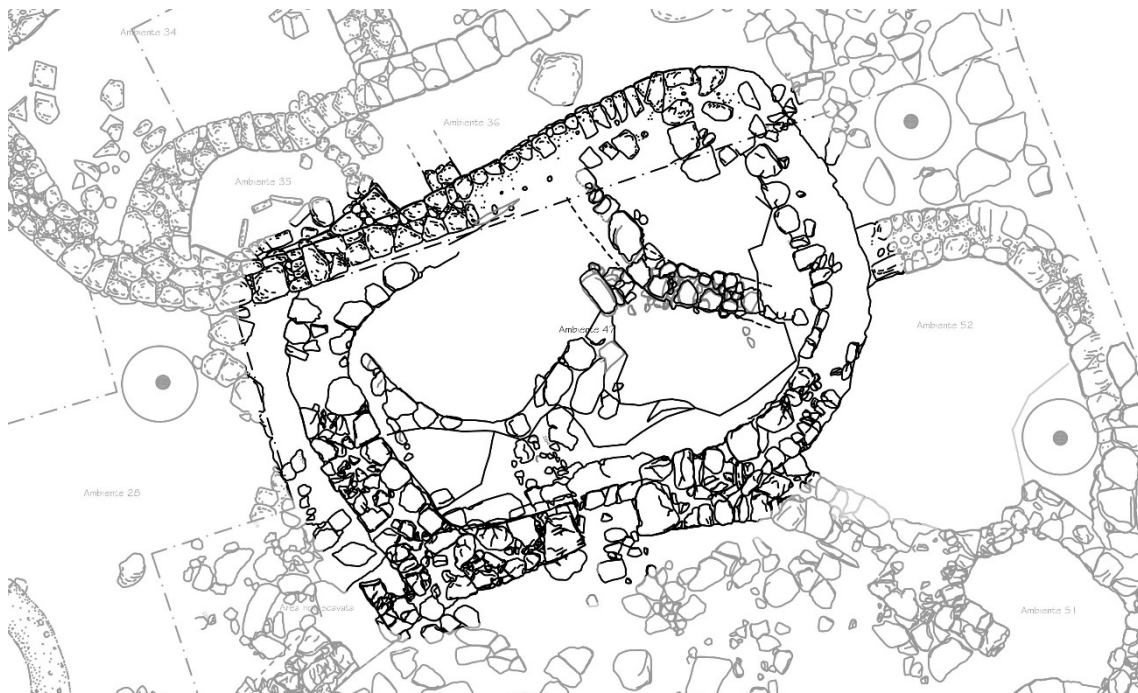


Fig. 28. La planimetria dell'Ambiente 47 riferibile all'ultima fase documentata.

Le fasi più recenti documentate si riferiscono a strati di abbandono e provengono da un taglio individuato nella porzione sud-occidentale dell'ambiente che contiene scarichi di materiale ceramico riferibile a pareti di ziro e anfore di produzione iberica.

Si susseguono strati di crollo e successivamente l'obliterazione di questi con depositi limosi dovuti ad un progressivo avanzamento di acque salmastre in tutta l'area del sito<sup>200</sup>. Nel corso del VI secolo a.C. l'abitato risultava certamente abbandonato e l'intera superficie obliterata dai limi.

Le tre fasi suddette sono state identificate grazie anche al rinvenimento di numerosi materiali che inquadrano la vita dell'edificio in una forbice cronologica compresa tra l'VIII secolo e il VII secolo a.C.

I materiali dell'ultima fase accertata (Fase 3), quella di abbandono, riportano ad un orizzonte cronologico inquadrabile tra la seconda metà dell'VIII e il VII secolo a.C. grazie al rinvenimento di materiali provenienti da ambiti sulcitani e norensi<sup>201</sup>, da ciotole con orlo appiattito attestate in ambito iberico<sup>202</sup>, da ciotole carenate riferibili a produzioni

<sup>200</sup> La lettura del processo di sedimentazione è stata effettuata da V. Pascucci, sedimentologo dell'Università di Sassari. (GARAU 2012b)

<sup>201</sup> BOTTO 2009, pp. 124-127.

<sup>202</sup> AUBET *et al.* 1983, p. 85, figg. 26.86, 26.88, 29.129-131.

cartaginesi della seconda metà dell'VIII secolo<sup>203</sup> e da piatti che trovano confronti con produzioni di ambito coloniale fenicio dello stesso periodo<sup>204</sup>.

Le produzioni locali sono rappresentate da materiali inquadrabili tra il Bronzo Finale e il Primo Ferro, con reperti testimoniati da ciotole carenate<sup>205</sup>, olle ad orlo ingrossato e a profilo svasato, ma anche vasi a collo e ziri con anse a X collocabili nell'ambito del Primo Ferro avanzato<sup>206</sup>, confermando la datazione di questa fase, alla fine dell'VIII secolo a.C.<sup>207</sup>.

Le fasi di vita dell'ambiente (fase 2) si sviluppano invece in contesti testimoniati da materiali relativi alla seconda metà del VIII secolo a. C., tra cui produzioni fenicie con un fondo di brocca che trova confronti in ambito orientale<sup>208</sup>, delle coppe a calotta inquadrabili cronologicamente nei primi decenni dell'VIII a.C., delle produzioni in *Red Slip Ware* e dalle ciotole carenate, tutte inquadrabili nell'ambito della seconda metà dell'VIII secolo a.C.

Confermano questi contesti il ritrovamento di alcuni frammenti di brocca, di produzione euboica che, sulla base del motivo decorativo a bande orizzontali e parallele, è inquadrabile tra il 750 e il 730 a.C.<sup>209</sup>

In questa fase i materiali di produzione locale risultano numericamente superiori alla fase 3, con attestazioni di scodelle databili al Bronzo Finale e ciotole carenate inquadrabili nel corso della Prima età del Ferro, in associazione a questi, alcuni frammenti di vaso a collo e olle ci confermano un sicuro inquadramento nel medesimo ambito cronologico<sup>210</sup>, così come le brocche, anche askoidi con decorazione a cerchielli.

I materiali ascrivibili al Bronzo Medio 3-Bronzo Recente sono riferibili unicamente agli strati di preparazione dei battuti e si trovano in seconda giacitura, verosimilmente utilizzati col fine di livellare gli strati prima della posa del battuto.

---

<sup>203</sup> VEGAS 2000, pp. 355-370.

<sup>204</sup> BOTTO 2009, pp. 99-111.

<sup>205</sup> CAMPUS, LEONELLI 2000, p. 271, Tav. 173, n.5.

<sup>206</sup> CAMPUS, LEONELLI 2000, p. 606, Tav. 355, n.5.

<sup>207</sup> OGGIANO (2000), pp. 236 – 258.

<sup>208</sup> NUNEZ (2008), p. 152, fig.67, n.3.

<sup>209</sup> BATS, D'AGOSTINO 1998, p. 358, fig.5, n.2; BAIOLO MODESTI, GASTALDI 1999, pp. 60–61, fig. 16, n.3089.1.

<sup>210</sup> CAMPUS, LEONELLI 2000, pp.436-447; 492 – 493.

La fase più antica definita all'interno dell'ambiente 47 è stata rinvenuta grazie all'asportazione dell'ultimo piano di vita dell'edificio e portando alla luce alcune strutture precedenti alla realizzazione dell'edificio.

Tali evidenze consentono d'ipotizzare una sistemazione differente dell'area, con ambienti morfologicamente e funzionalmente diversi e che non mostra indizi di continuità con le successive modifiche che coinvolsero l'abitato nella Prima età del Ferro.

Riguardo alla funzione di questa struttura, la superficie e le peculiarità degli elevati, oltre al grande quantitativo di ceramica da mensa e da dispensa rinvenute, fanno prevalere l'ipotesi di uno spazio destinato ad ambiti di rappresentanza o comunque comunitario<sup>211</sup>.

## 2.4 La documentazione come anastilosi di un contesto archeologico

Già nel secondo volume di *Archeologia e Calcolatori*, nel 1991, un contributo di D'Agata si rivolgeva ad archeologi "non esperti" delle tecniche informatiche e in particolar modo del software CAD, a cui, in una lucida istantanea, illustrava tipologie, configurazioni e applicazioni; in particolare per quanto riguardava la modellazione tridimensionale di architetture per la simulazione di restauri e per la diagnosi del degrado<sup>212</sup>.

Due anni dopo Maurizio Forte, nel quarto numero della stessa rivista diretta da Riccardo Francovich, parlerà per la prima volta di "simulazione al computer di fenomeni naturali" come "il risultato di numerosi processi, calcolati con modelli matematici, che possono essere rappresentati visivamente su uno schermo grafico."<sup>213</sup>

Si produssero così le prime elaborazioni grafiche, che dal 3D portano alla realizzazione di un DEM, ma soprattutto vennero analizzati i problemi legati ad una loro rappresentazione affidabile e dettagliata, nonché alla realizzazione di *rendering* e *textures* del terreno.

A partire dalla fine degli anni '80 apparvero chiare a molti archeologi le potenzialità delle tecnologie informatiche applicate ai Beni Culturali. Tuttavia fu necessario ancora un decennio per vedere le prime ricerche sul rilievo e sulla modellazione tridimensionale di

---

<sup>211</sup> GARAU, RENDELI 2012.

<sup>212</sup> D'AGATA, M.G. (1991).

<sup>213</sup> FORTE 1993.

monumenti archeologici grazie alla vera e propria rivoluzione legata alla produzione di hardware e software accessibili da tutti e con interfacce grafiche omologate e “amichevoli”<sup>214</sup>.

È stato un processo lungo quello che, partendo dai database, ha portato oggi alla costruzione di un sistema di acquisizione di dati spaziali che permetta un esaustivo trattamento del dato archeologico tridimensionale con un elevato livello di dettaglio.

L’attenzione sulle metodologie di documentazione dello scavo archeologico, iniziata con la gestione ed elaborazione del dato alfanumerico (i database) e successivamente evoluta nel GIS, vede ora gli archeologi impegnati a raggiungere un altro obiettivo: quello del rilievo digitale e della sua gestione con dati bidimensionali e tridimensionali.

Oggi siamo in grado di realizzare rilievi da 2.000.000.000 di punti (come nel caso del Progetto Sant’Imbenia), ciascuno dei quali, oltre a contenere informazioni spaziali (X, Y, Z), è in grado di rendere “reale” la sua materializzazione in uno spazio virtuale grazie alla texturizzazione, che aggiunge valori di colore (R, G, B) al dato spaziale.

L’obiettivo che vogliamo raggiungere all’interno del Progetto Sant’Imbenia, con il lavoro di documentazione digitale in tre dimensioni è strutturato in due parti distinte: la prima si concentra sulle operazioni di documentazione del sito nelle tre scale precedentemente accennate, la seconda riguarda la proposta di ricostruzione del sito mediante le potenzialità della *virtual Archaeology*<sup>215</sup> realizzata grazie ai rilievi effettuati e trasferita su una piattaforma di gioco capace di far muovere l’utente all’interno di uno spazio virtuale in maniera autonoma.

Ricostruire la vita di un sito archeologico, anche attraverso le tecnologie, è importante se s’imposta la ricerca in modo che “[...] lo spazio virtuale, nella dimensione archeologica, deve essere contestualizzato e ristrutturato gerarchicamente in modo da permettere di identificare nella geometria dei modelli le unità logiche dell’informazione; teoricamente

---

<sup>214</sup> FORTE, BELTRAMI 2000.

<sup>215</sup> L’archeologia virtuale si occupa di riproporre, attraverso modelli tridimensionali, ipertesti e soluzioni multimediali, ricostruzione digitale di manufatti, edifici, paesaggi del passato. Per un quadro esaustivo sulla Virtual Archaeology si rimanda a REILLY 1990 e alle attività svolte dal CINECA al link <https://www.cineca.it/it/content/archeologia-virtuale>, GUIDAZZOLI 2007.

si dovrebbe “smontare” e “rimontare” il contesto per verificarne appieno l’impianto geometrico e funzionale”<sup>216</sup>.

Da qui l’idea di realizzare una metaforica anastilosi virtuale non delle strutture, ma del contesto archeologico che vogliamo analizzare, dalla sua macro scala alla micro scala, cercando di comprendere sia l’impianto geometrico che funzionale di ogni ambiente.

## 2.5 La documentazione 3D del sito di Sant’Imbenia: macro scala

L’analisi digitale della porzione territorio in cui insiste il sito nuragico di Sant’Imbenia è stata realizzata sulla base degli *Open Data* messi a disposizione dalla Regione Autonoma della Sardegna nel suo Geoportale<sup>217</sup>.

Tra i numerosi tematismi disponibili figurano la Carta tecnica regionale (CTR) realizzata tra il 1994 e il 2000, il database topografico a scala 1:10.000, le carte tematiche, i dati relativi alla pianificazione regionale, i dati catastali<sup>218</sup> e i modelli digitali di elevazione in formato raster.

Tra i vari modelli di elevazione sono stati scaricati solamente i Modelli Digitali del Terreno (DTM) raster passo 1mt., tralasciando i modelli di superficie che, oltre alla morfologia del terreno, comprendevano sia alla vegetazione che ai manufatti.

Questi i 53 fogli scaricati: 458110\_22\_WGS, 458110\_23\_WGS, 458110\_24\_WGS, 458110\_25\_WGS, 458140\_10\_WGS, 458140\_14\_WGS, 458140\_15\_WGS, 458140\_19\_WGS, 458140\_20\_WGS, 458140\_24\_WGS, 458140\_25\_WGS, 458150\_02\_WGS, 458150\_03\_WGS, 458150\_04\_WGS, 458150\_05\_WGS, 458150\_06\_WGS, 458150\_07\_WGS, 458150\_08\_WGS, 458150\_09\_WGS, 458150\_10\_WGS, 458150\_11\_WGS, 458150\_12\_WGS, 458150\_13\_WGS, 458150\_14\_WGS, 458150\_15\_WGS, 458150\_16\_WGS, 458150\_17\_WGS, 458150\_18\_WGS, 458150\_19\_WGS, 458150\_20\_WGS, 458150\_21\_WGS,

---

<sup>216</sup> FORTE, BELTRAMI 2000.

<sup>217</sup> Il download dei dati è disponibile a link:<http://www.sardegnaigeoportale.it/accessoaidati/downloaddati/>

<sup>218</sup> Disponibili in consultazione unicamente per gli Uffici regionali abilitati e per le Amministrazioni che ne facciano richiesta.

458150\_22\_WGS, 458150\_23\_WGS, 458150\_24\_WGS, 458150\_25\_WGS,  
458160\_16\_WGS, 458160\_21\_WGS, 478020\_04\_WGS, 478020\_05\_WGS,  
478020\_10\_WGS, 478020\_15\_WGS, 478020\_20\_WGS, 478030\_01\_WGS,  
478030\_03\_WGS, 478030\_04\_WGS, 478030\_05\_WGS, 478030\_06\_WGS,  
478030\_08\_WGS, 478030\_09\_WGS, 478030\_10\_WGS, 478030\_12\_WGS,  
478030\_13\_WGS, 478030\_14\_WGS, 478030\_15\_WGS, 478030\_16\_WGS,  
478040\_01\_WGS, 478040\_06\_WGS.

Poiché Gestire una tale quantità di DTM non è agevole, sia per la riduzione delle risorse di sistema, sia per la perdita di tempo legata alla configurazione di ogni singolo file, si è optato per la creazione di un mosaico raster che comprendesse la medesima superficie ricoperta da tutti i raster affiancati, ma come un'unica immagine.

In questo modo è stato possibile realizzare “rappresentazioni idealizzate di osservazioni”<sup>219</sup> attraverso cui effettuare delle verifiche “virtuali” su porzioni di territorio interessati da antropizzazione.

L'intera gestione dei dati è avvenuta mediante il software ArcGIS della Esri<sup>220</sup> che, attraverso l'algoritmo *Mosaic To New Raster*<sup>221</sup>, consente di svolgere questo compito in modo automatico.

Su questa nuova piattaforma cartografica numerica è stato possibile effettuare la creazione di un modello digitale del terreno in tre dimensioni con una struttura dati studiata proprio per i sistemi informativi territoriali. Un TIN (*triangulated irregular network*) è una rappresentazione vettoriale della superficie terrestre costituita da nodi e linee distribuite irregolarmente con coordinate tridimensionali (x, y, z) disposte in una rete di triangoli non sovrapposti, esattamente come una mesh ottenuta con processi fotogrammetrici o rilievo laser scanner.

---

<sup>219</sup> CASAROTTO, DE GUIO, FERRARESE 2009, p. 291

<sup>220</sup> <https://www.esri.com/en-us/home>

<sup>221</sup> Il comando per aprire la schermata di configurazione del mosaico lo si trova in: ArcToolbox -> Data Management Tools -> Raster -> Raster Dataset -> Mosaic To New Raster.



Fig. 29. Un'immagine di Capo caccia e la ricostruzione effettuata elaborando le DTM e convertendole in TIN

Il TIN ha permesso di rendere più verosimile la lettura del territorio di cui ci stiamo occupando e procedere con le analisi di visibilità visionando, in un quadro generale, i reali spazi fisici che determinarono le scelte insediative di Sant'Imbenia. Un simile approccio permette di superare le statiche analisi quantitative e/o geometriche<sup>222</sup>, che, pur dando buoni spunti, non tenevano conto dei condizionamenti che le variabili ambientali o fisiche ebbero sulle scelte sociali dei gruppi umani nella Protostoria.

Tali strumenti rappresentano l'evoluzione di quel lungo iter metodologico iniziato negli anni '60 del secolo scorso con la *New Archaeology*<sup>223</sup> e che oggi, in continuità con il tale percorso, utilizza tutto il background acquisito per proporre nuovi strumenti atti a simulare il paesaggio antico, attraverso l'applicazione di modelli predittivi più evoluti rispetto al passato.

L'applicazione di metodologie aggiornate nell'ambito dell'archeologia dei paesaggi rappresenta un campo in grande sviluppo all'interno della disciplina, grazie alla possibilità di integrare analisi territoriali e analisi di sostenibilità ambientale come quelle relative alla percorribilità e la raggiungibilità tra siti all'interno di una determinata area<sup>224</sup>.

Generalmente analisi di questo tipo sono state realizzate in ambiti di epoca romana o medievale dove si sono potute verificare le fonti archeologiche, letterarie, epigrafiche e documentarie che testimoniavano fenomeni di transumanza o di rapporti di popolazioni tra aree interne e costiere; differente è invece la situazione per i periodi precedenti dove

<sup>222</sup> FORTE 2002, p. 95.

<sup>223</sup> CASAROTTO, DE GUIO, FERRARESE, p. 291

<sup>224</sup> ACCONCIA, FERRERI, 2016.

simili attività lasciano pochi documenti archeologici sul terreno<sup>225</sup>.

Non essendo argomento di questo lavoro, non verranno affrontate le problematiche tipiche dell'archeologia dei paesaggi e l'uso delle tecnologie in tal senso. Tuttavia col fine di analizzare metodi di elaborazione tridimensionali su scale più o meno vaste, sono stati prodotti alcuni test sull'area in esame, col fine di valutare il reale rapporto tra il nuraghe Sant'Imbenia e il suo territorio circostante, producendo delle carte di visibilità che potrebbero essere utili a verificare modelli analitici mediante processi digitali.

Benché nell'area vasta della Baia di Conte i siti protostorici siano numericamente rappresentativi, l'analisi è stata svolta unicamente su Sant'Imbenia e sugli altri insediamenti che, allo stato attuale degli studi, hanno restituito materiali archeologici che indicherebbero un quadro cronologico coerente.

Le analisi sono state svolte utilizzando degli algoritmi di analisi della visibilità già applicati con successo in contesti geomorfologici differenti ma compatibili cronologicamente con Sant'Imbenia<sup>226</sup>; si è deciso di evitare approcci come elaborazioni di criteri dimensionali dei siti o ad esempio attraverso i Poligoni di Thiessen<sup>227</sup>, che in questo contesto non avrebbero potuto dare risultati soddisfacenti a causa dell'assenza di elementi cronologici provenienti dalla maggior parte degli insediamenti protostorici prossimi al sito di Sant'Imbenia<sup>228</sup>.

I dati relativi ai siti sono stati inseriti in un geodatabase e adattati ad un modello digitale del terreno in formato raster applicando gli algoritmi della viewshed e visibility analysis che consentono di riprodurre le relazioni tra morfologia del paesaggio e sistemi insediativi calcolando il campo di osservazione rispetto ad una determinata posizione, in funzione dei coni d'ombra causati dall'orografia.

---

<sup>225</sup> Cfr. ad es. CAMBI *et al.* 2015; MOSCATELLI, STAGNO 2015.

<sup>226</sup> Si veda PECERE 2006; CUCKOVIC 2015; LLOBERA 2012.

<sup>227</sup> BOURDIN 2014.

<sup>228</sup> Per le risorse minerarie della Nurra si veda GIARDINO, LO SCHIAVO 2007. Sui rinvenimenti e sulle ricerche territoriali nella Nurra meridionale e nell'area intorno a Sant'Imbenia si veda ALBA E. 2009, GARAU 2012.



Si tratta di simulazioni che si rivelano utili per la comprensione delle relazioni tra siti che abitano lo stesso territorio<sup>229</sup> oppure tra un insediamento e il paesaggio circostante<sup>230</sup> e che in questo caso sono state realizzate con lo scopo di dimostrare come oggi le analisi GIS e GIS tridimensionale possano aiutare la ricerca in ambito territoriale, mediante l'utilizzo di algoritmi capaci di "materializzare" ciò che per molte culture rappresentò un fattore importante nella selezione degli spazi insediativi<sup>231</sup>.

Le analisi di visibilità o *Viewshed Analysis* sono disponibili su diversi applicativi GIS e permettono sia di effettuare delle simulazioni sui campi visivi da un punto di osservazione preciso, sia di analizzare le relazioni di intervisibilità tra siti<sup>232</sup>.

Quest'ultima applicazione potrebbe avere una certa utilità svolgendo lo studio sull'intero comprensorio di Porto Conte, analizzando cioè l'intero patrimonio archeologico in maniera sincronica, all'interno di un bacino geografico definito.

Non essendo questo l'argomento della tesi, si procederà ad effettuare una semplice analisi di visibilità dal sito di Sant'Imbenia e dai quei pochi siti ubicati nei suoi pressi che hanno restituito materiale archeologico che coincide con l'orizzonte cronologico relativo alla fine dell'età del bronzo – inizio Ferro.

Questi sono stati coinvolti nell'analisi in quanto hanno restituito quello che potrebbe rappresentare il fossile guida per la fase compresa tra la fine dell'età del Bronzo e l'età del Ferro, ovvero dei lingotti di rame rinvenuti oltre che a Sant'Imbenia anche a Porticciolo e al nuraghe Risola<sup>233</sup>.

Ulteriori ritrovamenti sono stati effettuati al nuraghe Flumenelongu ma in questa sede si è deciso di coinvolgere unicamente i due siti che, nel raggio di 2,5 Km, hanno restituito tali materiali. È importante precisare che la scelta è stata imposta dalla scarsa quantità di elementi conoscitivi provenienti dal territorio di Porto Conte e in generale di questa porzione meridionale della Nurra.

---

<sup>229</sup> Analisi di "intervisibilità" WHEATLEY 1995.

<sup>230</sup> Analisi di "campo visivo", FORTE 2002.

<sup>231</sup> WHEATLEY, GILLINGS 2002.

<sup>232</sup> WHEATLEY, 1995.

<sup>233</sup> Per la bibliografia di riferimento e per l'analisi insediativa del territorio in esame si veda GARAU 2012.

In alternativa si poteva realizzare un'analisi relativa a tutti gli insediamenti nuragici del territorio, ma sarebbe stata fuorviante per la tesi e imprecisa a causa della diacronia che comunque coinvolge tale epoca.

La localizzazione puntuale del nuraghe Sant'Imbenia è avvenuta mediante GPS mentre quella relativa al nuraghe Risola da cartografia, per Porticciolo invece non si fa riferimento ad un nuraghe bensì al rinvenimento di materiale sporadico di superficie avvenuto lungo la strada bianca che costeggia il Campeggio Villaggio "Torre del Porticciolo"<sup>234</sup>.

In questo caso l'identificazione puntuale del ritrovamento non è certa ma non si esclude che il materiale provenga comunque da quell'area.

Tipologicamente il nuraghe Risola presenta una pianta complessa, costituito da una torre centrale e due torri laterali, con la presenza di un villaggio e di un antemurale che racchiude l'intero complesso<sup>235</sup>, si colloca in una situazione orografica di pianura a circa 30 mt s.l.m. e le sue coordinate geografiche sono 40°38'21"N, 8°12'34"E.

Le analisi di intervisibilità realizzate permettono lo studio del campo di osservazione da un determinato punto del territorio (analisi del campo visivo) e le relazioni di visibilità con altri siti del medesimo comprensorio territoriale<sup>236</sup>.

Come già scritto, sono state effettuate solamente le prime a causa di un campione dati non eccellente per l'area in esame, in ogni caso la base di partenza per poter realizzare analisi simili è un modello digitale del terreno (DEM o DTM), possibilmente ad alta risoluzione, per originare una piattaforma cartografica da cui estrapolare interrogazioni che tengano conto di fiumi e corsi d'acqua, pendenze e distanze da percorrere in ambienti tridimensionali.

Le griglie utilizzate recano un valore numerico che indica al sistema delle informazioni metriche e qualitative sul suolo, che descrivono le relazioni spaziali e permettono la strutturazione di *query* tipiche dei database mediante algoritmi implementati all'interno

---

<sup>234</sup> MANCONI 1993.

<sup>235</sup> ALBA 2009.

<sup>236</sup> DI ZIO, BERNABEI 2009.

degli applicativi GIS; nel nostro caso ogni cella verrà identificata da un valore numerico che indicherà la presenza o meno di visibilità a partire dai punti di osservazione prescelti<sup>237</sup>.

Le ultime versioni della *viewshed analysis* implementate in ArcGIS permettono di modificare numerosi parametri, tra cui il punto di vista, mediante un'operazione di *offset*<sup>238</sup>; in questo modo rispetto all'analisi al suolo è possibile collocare l'ipotetico punto di osservazione ad una quota X rispetto al suolo, esattamente come si potrebbe fare dalla cima di una torre nuragica, ipotizzando che questa possa superare i 10 metri<sup>239</sup>.

L'algoritmo di analisi del software, calcolando la visibilità da quel dato punto, posto a una determinata altezza, genera una nuova mappa raster dicotomica, dove ogni cella prenderà valore "1" se questa è visibile oppure "0" se invece non lo è, colorando il nuovo tematismo con due colori differenti e visualizzandoli sul modello digitale del terreno (2D) o sul TIN (3D).

Nelle Figure 30, 31 e 32 si possono osservare le due tipologie di visualizzazione su piattaforma bidimensionale (a sinistra), la tonalità di rosso indica che quella superficie non è visibile mentre le tonalità di verde indicano quelle visibili. In quella tridimensionale (a destra) le possibilità di personalizzazione aumentano permettendo di creare fasci di luce per le porzioni di terreno visibile e lasciare in ombra quelle non visibili.

---

<sup>237</sup> FORTE 2002.

<sup>238</sup> Con questo termine si intende lo slittamento un valore rispetto al punto di osservazione.

<sup>239</sup> Non si hanno notizie certe sull'altezza dei nuraghi ma è plausibile pensare che questa potesse essere compresa tra i 10 e i 22 metri. Per la bibliografia generale sulla civiltà nuragica e sulle tipologie costruttive si veda MORAVETTI, ALBA, FODDAI 2014; CONTU 1997; DEPALMAS 2006; FODDAI 2007; LILLIU 1982.

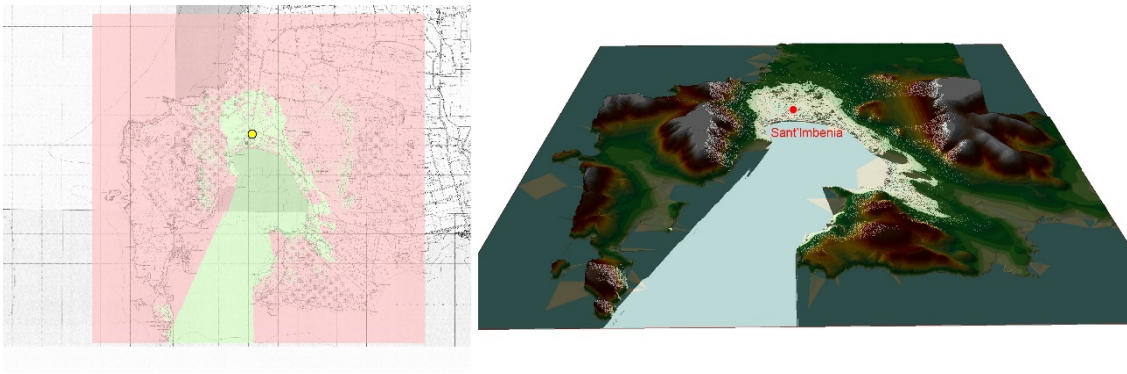


Fig. 30. Analisi di visibilità dal sito di Sant'Imbenia, in 2d (a sinistra) e 3d (a destra).

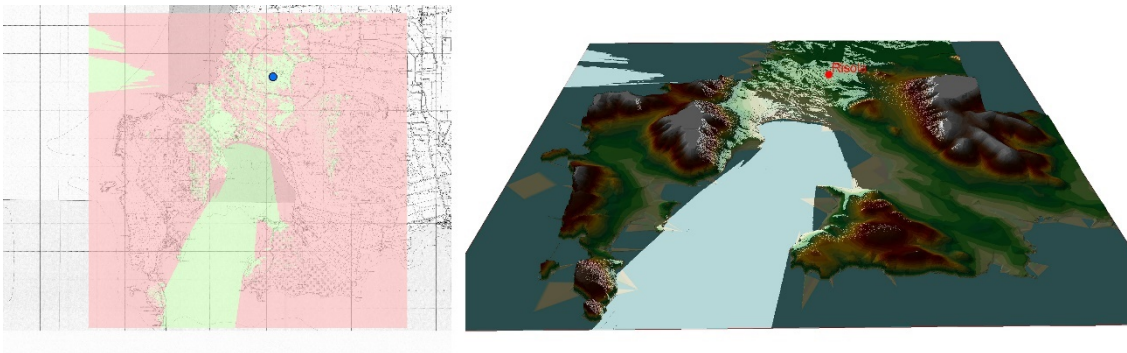


Fig. 31. Analisi di visibilità dal sito di Risola, in 2d (a sinistra) e 3d (a destra).

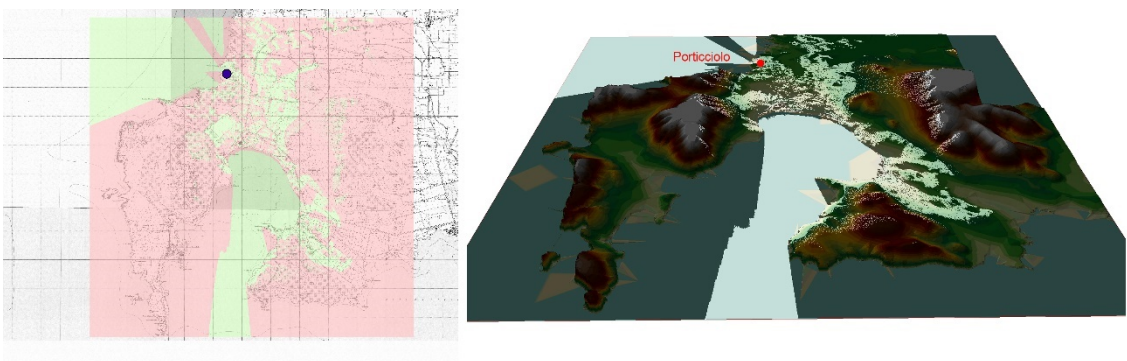


Fig. 32. Analisi di visibilità dal sito di Porticciolo, in 2d (a sinistra) e 3d (a destra).

Tali strumenti di analisi, se inseriti in una ricerca territoriale ampia e completa, potrebbero essere utili per ricavare elementi analitici per la determinazione dei siti incerti in base alla reciproca visibilità all'interno di comprensori territoriali tipici dell'età del Bronzo e del Ferro.

In questo caso, i risultati delle analisi spaziali eseguite evidenzerebbero come i tre siti presi in esame ricoprirebbero una porzione visuale molto simile, tanto da poter valutare dei rapporti di intervisibilità tra i tre diversi siti.

Mentre Risola riusciva a vedere sia Sant'Imbenia che Porticciolo, considerando sempre il punto di vista privilegiato dalla cima di una torre nuragica, Sant'Imbenia non riusciva a vedere Porticciolo, che però vedeva a sua volta Risola.

Da queste considerazioni, basate su un campione molto limitato di analisi sembrerebbe che i tre insediamenti, teoricamente coevi tra loro, facessero in qualche modo parte dello stesso sistema, quantomeno visivo, di controllo territoriale. Con quali rapporti verso gli altri numerosi insediamenti nuragici presenti nel territorio non possiamo ancora saperlo, come non abbiamo la certezza che tali sistemi avessero una reale corrispondenza nel territorio.

Come già detto in precedenza, questi esempi di macro scala, presentati a margine della ricerca, più propri dell'archeologia dei paesaggi che della *computer vision* applicata all'archeologia, sono strumenti utili alla comprensione dei contesti analizzati. Sta all'archeologo utilizzarli secondo un raziocinio che prenda in considerazione oltre che i processi matematici, la loro reale applicabilità in contesti umani così ricchi di variabili che spesso poco hanno a che fare col calcolo statistico o la geometria.

## **2.6 La documentazione 3D del sito di Sant'Imbenia: media scala.**

La superficie di territorio che, dagli anni Ottanta a oggi, è stata interessata dagli scavi archeologici nel sito nuragico di Sant'Imbenia ha un'estensione di circa 1.800 m<sup>2</sup> e comprende il nuraghe, il quale è stato ripulito dalla vegetazione, l'area immediatamente

a nord ovest, attualmente sotto una tettoia lignea di protezione, e alcuni saggi a nord est del nuraghe e nel campo di calcetto del camping omonimo.



Fig. 33. Ricognizione aerea realizzata nel 2008 durante un sopralluogo svolto col Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale. Foto L. Sanna



Fig. 34. Ricognizione aerea realizzata nel 2008 durante un sopralluogo svolto col Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale. Foto L. Sanna

La documentazione per la media scala è stata realizzata con processi fotogrammetrici e con il laser scanner. Questo metodo ha permesso di raggiungere un livello maggiore di precisione nella fotogrammetria e al contempo riuscire a realizzare il rilievo completo del sito mediante la possibilità di sezionare la nuvola di punti ad una distanza definita che, in questo caso, ha corrisposto a un intervallo di 50 cm.

Tale livello di analisi è stato realizzato tenendo in considerazione le prospezioni geofisiche realizzate da P. Johnson della *Faculty of Classics* of Cambridge che indicherebbero l'estensione dell'abitato in almeno 90 metri verso nord rispetto al nuraghe<sup>240</sup>.

I risultati delle indagini magnetiche e geo-elettriche hanno evidenziato delle anomalie compatibili con un abitato, localizzate sotto il campo di calcetto si estendono per una novantina di metri arrivando fin quasi la Strada Provinciale 55 che conduce verso Capo Caccia.

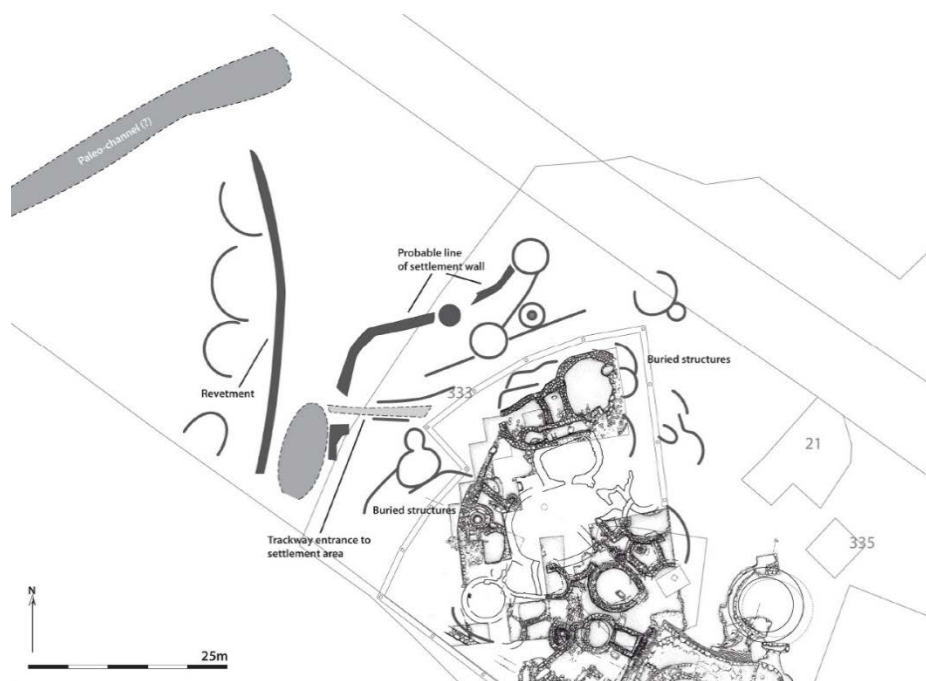


Fig. 35. Planimetria con le indagini geognostiche e di resistività elettrica (elaborazione P. JOHNSON)<sup>241</sup>

<sup>240</sup> JOHNSON 2009; JOHNSON 2010; JOHNSON 2012, pp. 1753-1770.

<sup>241</sup> da RENDELI 2014 p. 546.

Le indagini evidenziano inoltre quella che è stata interpretata come una sorta di canale dall'andamento curvilineo di cui al momento non è possibile stabilire se potesse avere una qualche relazione con il resto dell'abitato.

Appare assodato come l'estensione dell'insediamento coinvolgesse un'area più ampia rispetto gli interventi di indagine archeologica svolti finora, pertanto se dovessimo considerare il nuraghe come fulcro centrale dell'abitato potremmo quantificare l'estensione dello stesso in almeno 3,0 ettari<sup>242</sup>.

### **2.6.1 Il rilievo con laser scanner.**

Il rilievo 3D completo del sito di Sant'Imbenia è stato effettuato nella campagna di indagine archeologica del 2015 utilizzando il laser scanner a differenza di fase, capace di acquisire 1.016.027 punti al secondo con accuratezza sub-millimetrica.

In continuità con le attività di documentazione in corso dal 2008, con l'introduzione del laser scanner è stato possibile intervenire sull'intero sito con un rilievo generale di maggiore dettaglio.

Le acquisizioni pianificate e realizzate per poter ricoprire adeguatamente l'intera superficie sono state in tutto 52, durante le quali è stato possibile ricoprire circa il 90 % dell'intera superficie dello scavo.

Sono stati posizionati complessivamente 40 target a riconoscimento semi automatico da parte del sistema, che, grazie anche al rilievo realizzato con la stazione totale, hanno permesso il corretto allineamento e registrazione delle nuvole di punti.

Sebbene il numero minimo di mire necessarie per effettuare la registrazione delle scansioni debba essere almeno di tre, nel sito di Sant'Imbenia sono stati posizionati in modo da averne sempre almeno cinque visibili. I target sono stati collocati sulla tettoia che sovrasta lo scavo in modo da coprire uniformemente l'area di scansione, evitando di interferire con le strutture e favorendo il posizionamento su piani diversi.

---

<sup>242</sup> RENDELI 2014, p. 538.



Le nuvole di punti sono state allineate utilizzando il software proprietario distribuito con lo strumento, lo Z+F LaserControl versione 8.4.6, utilizzando la procedura standard che prevede, in fase di settaggio l'inserimento del rilievo effettuato con la stazione totale<sup>243</sup> che permette la roto-traslazione nel sistema di riferimento della rete topografica di inquadramento. La procedura di allineamento delle scansioni è avvenuta mediante riconoscimento semiautomatico dei marker; in questo modo si riducono gli errori causati da uno scorretto posizionamento del centro del marker. In alternativa si potrebbe utilizzare qualsiasi segno riconoscibile sulle superfici acquisite, ma tale sistema è risultato spesso fallace a causa di una non sempre facile comprensione della porzione di monumento che si sta prendendo come punto di riferimento.

Durante la prima registrazione effettuata dopo la scansione, il software restituiva dei parametri di errore troppo alti per un rilievo (entro i 10 cm), questo a causa di una scansione, la 32°, che utilizzava dei marker posizionati a una distanza di circa 30 metri dallo strumento, acquisendoli con una qualità non ottimale.

L'eliminazione di questa stazione ha permesso il giusto riallineamento delle acquisizioni migliorando sensibilmente il livello di precisione e generando un rilievo 3D finale per nuvola di punti con errore medio di 1 mm. Il report generato dal software e qua di seguito allegato<sup>244</sup>, riporta per ogni scansione dei valori di misurazione compresi tra 0,19 e 2,09 mm restituendo pertanto un modello che conserva un livello di precisione sub centimetrico.

Il risultato ottenuto è frutto di tre giorni di acquisizione e riversamento dati su memoria di massa e circa due settimane di tentativi effettuati col fine di ottenere il risultato migliore con l'allineamento, valutando di volta in volta il giusto rapporto tra il numero di marker e la qualità di lettura degli stessi da parte del software.

La nuvola di punti ottenuta è stata utilizzata per due differenti obiettivi: il primo è quello di avere un supporto tridimensionale estremamente preciso, da cui ottenere qualsiasi

---

<sup>243</sup> Il software permette di caricare file con estensione TXT o IDX.

<sup>244</sup> A scopo esemplificativo sono state inserite solamente tre scansioni su 52.

informazione metrica, il secondo è quello di realizzare la piattaforma su cui impostare la ricostruzione virtuale dell'intero sito.

## Register report

Date: dom set 24 2017 17:32:03  
Build with: Z+FLaserControl 8.4.6.12391  
Project: 'simbenia'  
Master scan position: 1  
52 scans in 52 scan positions  
52 of 52 scan positions used for registration  
52 of 52 scans registered

**Standard deviation of the targets, calculated from the scan data (52 Scans)**

Result registration scan to scan average:1.5044 mm std:0.7199 mm min:0.6222 mm max:2.3333 mm used targets:269

## Scan position '7'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 0.0000 m 0.0000 m 0.0000 m

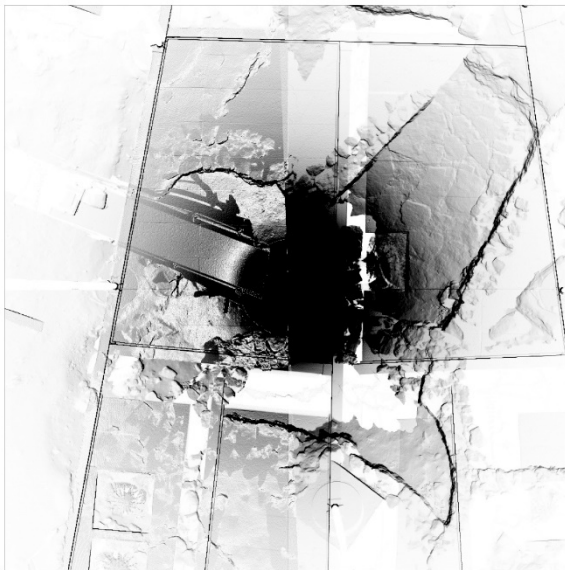
Result registration scan to scan average:0.6565 mm std:0.3574 mm min:0.2458 mm max:1.2636 mm used:7 targets

Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'041'	0.3	-0.1	-0.1	0.2	activated	used	1
2.	'045'	0.7	0.3	0.6	-0.3	activated	used	2
3.	'047'	0.5	0.4	-0.2	-0.0	activated	used	2
4.	'029'	1.3	0.3	-0.8	0.9	activated	used	1
5.	'049'	0.8	-0.5	0.5	-0.2	activated	used	2
6.	'048'	0.2	0.1	-0.2	0.1	activated	used	2
7.	'024'	0.8	-0.6	-0.1	-0.6	activated	used	1
8.	'05'					activated	not used	0

## Scan 'simbe7'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'High' quality 'High'



## Scan position '8'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 4.4713 m -4.2718 m -0.0067 m

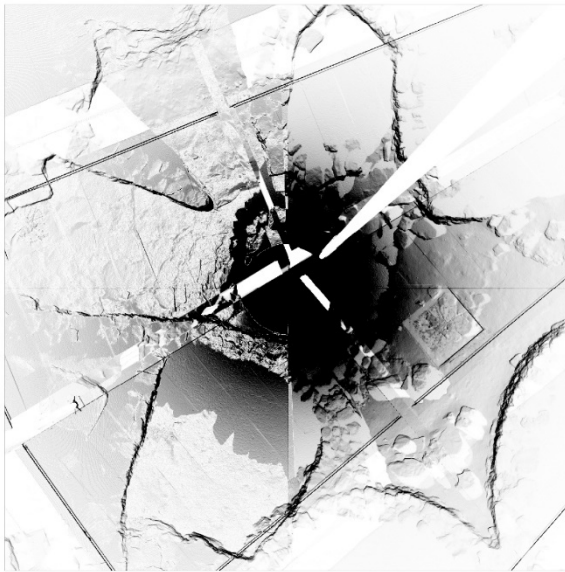
Result registration scan to scan average:1.0511 mm std:0.7474 mm min:0.1908 mm max:2.0936 mm used:8 targets

Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'022'	0.2	-0.2	0.0	-0.1	activated	used	1
2.	'048'	1.3	-0.4	0.7	-1.0	activated	used	2
3.	'049'	1.8	0.3	-1.0	1.4	activated	used	2
4.	'047'	0.3	-0.1	-0.0	0.2	activated	used	2
5.	'045a'	0.9	-0.0	0.1	-0.8	activated	used	1
6.	'045'	0.3	0.1	0.1	-0.3	activated	used	2
7.	'02'	2.1	1.7	-0.1	1.3	activated	used	1
8.	'01'	1.6	-1.4	0.4	-0.7	activated	used	1
9.	'040'					activated	not used	0

## Scan 'simbe8'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'High' quality 'High'



## Scan position '9'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 0.6973 m -3.8592 m -0.6744 m

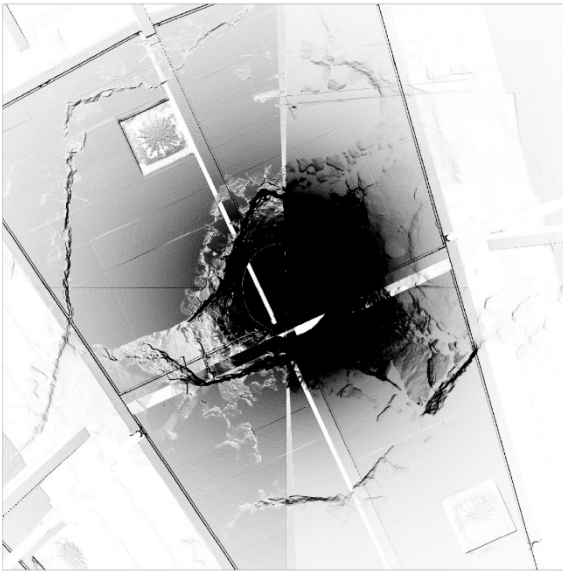
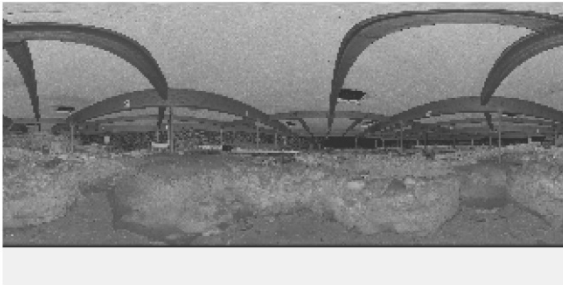
Result registration scan to scan average:0.9896 mm std:0.5767 mm min:0.1908 mm max:2.0936 mm used:11 targets

Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'045a'	0.9	0.0	-0.1	0.8	activated	used	1
2.	'048'	1.1	0.2	-0.5	0.9	activated	used	2
3.	'024'	0.8	0.6	0.1	0.6	activated	used	1
4.	'029'	1.3	-0.3	0.8	-0.9	activated	used	1
5.	'047'	0.4	-0.3	0.3	-0.2	activated	used	2
6.	'045'	1.0	-0.4	-0.7	0.6	activated	used	2
7.	'01'	1.6	1.4	-0.4	0.7	activated	used	1
8.	'02'	2.1	-1.7	0.1	-1.3	activated	used	1
9.	'022'	0.2	0.2	-0.0	0.1	activated	used	1
10.	'049'	1.3	0.2	0.5	-1.2	activated	used	2
11.	'041'	0.3	0.1	0.1	-0.2	activated	used	1
12.	'04'					activated	not used	0
13.	'050'					activated	not used	0
14.	'035'					activated	not used	0

## Scan 'simbe9'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'High' quality 'High'



La media scala rappresenta la piattaforma su cui strutturare qualsiasi futura attività di documentazione grafica, certamente poco gestibile con i suoi 7,83 Gigabyte di dati grezzi, è però in grado di supportare qualsiasi applicazione fotogrammetrica o restituire sezioni dell'intero scavo con pochi, anche se non semplici, passi.

L'approfondimento che nella micro scala ha permesso di costruire un supporto informativo della sequenza dell'ambiente 47 è stato possibile grazie alla precisione dei rilievi laser scanner unitamente alle applicazioni fotogrammetriche che, rendendo più agile il sistema, non trascurano il dato metrico.

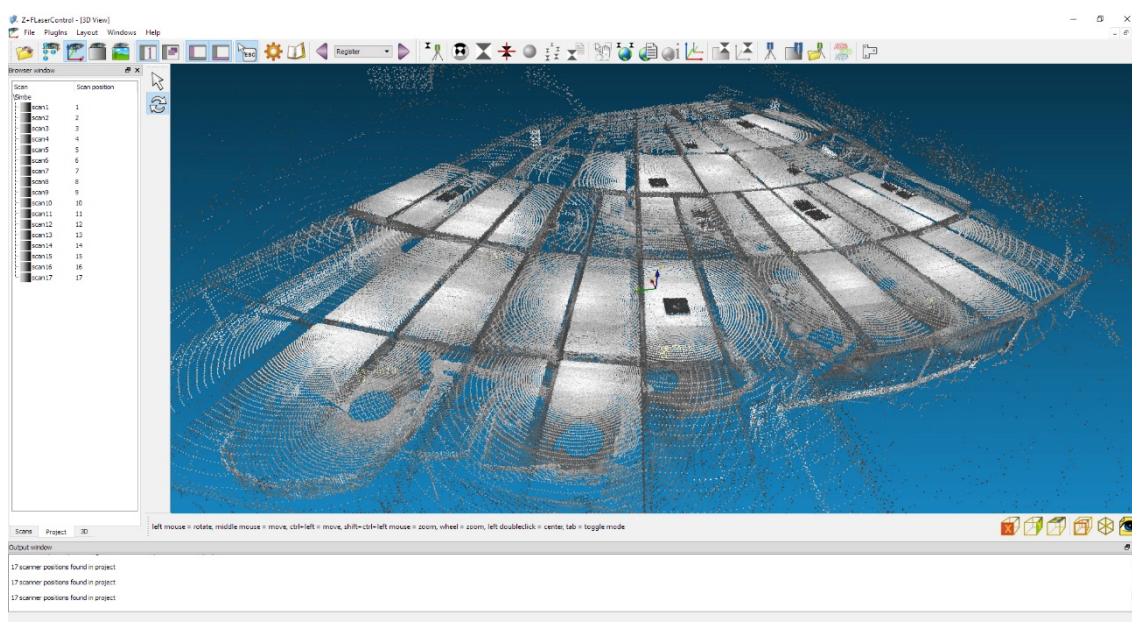


Fig. 36. Il rilievo effettuato mediante laser scanner dopo la fase di allineamento.

La nuvola di punti creata con i parametri sopra descritti è stata successivamente esportata per la creazione della piattaforma su cui è stata implementata l'applicazione di *Virtual Archaeology* su Sant'Imbenia.

L'esportazione è avvenuta in formato ASCII standard (.asc), si tratta di un formato dati aperto utilizzato spesso nei moderni applicativi GIS per la creazione di modelli digitali di elevazione del terreno.



Fig. 37. Il rilievo effettuato mediante laser scanner dopo la fase di allineamento. Visuale dall'ambiente 47.



Fig. 38. Il rilievo effettuato mediante laser scanner dopo la fase di allineamento. Visuale generale.



Questa operazione, di per sé non lunghissima, ha prodotto però un notevole incremento della quantità di memoria necessaria per memorizzare il progetto, passando dai quasi 8 Gigabyte per le scansioni memorizzate con formato proprietario.zfs, ai quasi 52 Gigabyte con formato *open data*.

Il vantaggio nell'utilizzo di tali formati è da ricercare nella totale interoperabilità del rilievo 3D, tuttavia un incremento tale della nuvola di punti genera non pochi imprevisti nella gestione del lavoro se non si riesce ad operare con una workstation dotata di una discreta quantità di RAM e spazio di memorizzazione.

Per la post produzione del lavoro è stato utilizzato il pacchetto della Geomagic Studio versione 2014.3.0; dotato di un'interfaccia utente molto semplice, ha un ottimo sistema di gestione di nuvole di punti e mesh con numerose funzioni semi automatiche.

La pulizia del rilievo è avvenuta eliminando inizialmente le parti periferiche all'area di scavo, costituite da vegetazione e rumore di fondo del segnale e la tettoia, che raddoppiava il numero dei punti rilevati: si è passati quindi da poco più di 50.000.000 di punti a poco più di 20.000.000, precisamente 21.587.012 punti, riducendo il rilievo di quasi il 60 %.

Una volta eseguita la pulizia "manuale" è stato possibile effettuare le operazioni di eliminazione automatica del rumore, selezionare punti disconnessi e marginali, il tutto intervenendo su alcune impostazioni determinanti il limite di deviazione e le iterazioni tra elementi.

Oltre a questo è stato possibile eliminare i doppi, ovvero misurazioni del medesimo punto avvenute in due o più scansioni e sovrapposte dopo il processo di allineamento mediante marker e unire le nuvole di punti in un unico file, più semplice da gestire per la creazione dell'oggetto 3D.

La fase successiva del lavoro ha riguardato la creazione del modello digitale attraverso la strutturazione di una mesh poligonale è un processo mediante il quale dall'unione dei punti precedentemente elaborati è possibile creare un insieme di vertici, spigoli e superfici che hanno definito la forma dell'abitato in 3D.

Anche in questo caso il supporto di Geomagic è stato indispensabile per una gestione semplificata del lavoro che, con un semplice comando e la gestione di alcune impostazioni, ha generato una mesh che successivamente ha analizzato per definirne errori e proporre, nei limiti di un software di gestione delle nuvole di punti e mesh, delle possibili soluzioni.

Lo strumento *mesh doctor* è in grado di eliminare punte generate da processi errati o da elementi non strutturati all'interno della nuvola di punti, eliminare porzioni non coerenti della mesh, riempire fori e rieditare il modello stesso per ottenere un risultato più omogeneo rispetto alle superfici.

Questa serie di attività gestite dal software hanno il vantaggio di semplificare il lavoro su un modello digitale, anche se tendono ad appiattire il lavoro precedentemente realizzato, quasi vanificando tutto il lavoro svolto, in realtà, viste le finalità per cui questa seconda copia del rilievo viene elaborata, tale lavoro si rende indispensabile per poter creare una piattaforma interattiva capace di girare su qualsiasi macchina.

Successivamente alla creazione del modello si è proceduto ad una decimazione ulteriore della mesh e un ricampionamento dell'intero oggetto digitale, che a questo punto inizia a perdere quel dettaglio estremo che si aveva con la nuvola di punti ma ne trae guadagno in termini di gestione.

A questo punto il modello tridimensionale dell'abitato era pronto per essere esportato in formato .obj e successivamente caricato all'interno della piattaforma videoludica Unity sulla quale è stata implementata l'applicazione di archeologia virtuale riguardante la ricostruzione del sito di Sant'Imbenia.

Le attività finora descritte sono frutto di numerosi tentativi, realizzati nel corso di tre anni di sperimentazioni col fine di produrre un sistema di gestione del rilievo tridimensionale a "misura di archeologo", utilizzando le tecnologie disponibili e al contempo valutando il rapporto tra i costi, tempo e risorse e i benefici, in termini di precisione, accuratezza ma soprattutto obiettivi della ricerca.

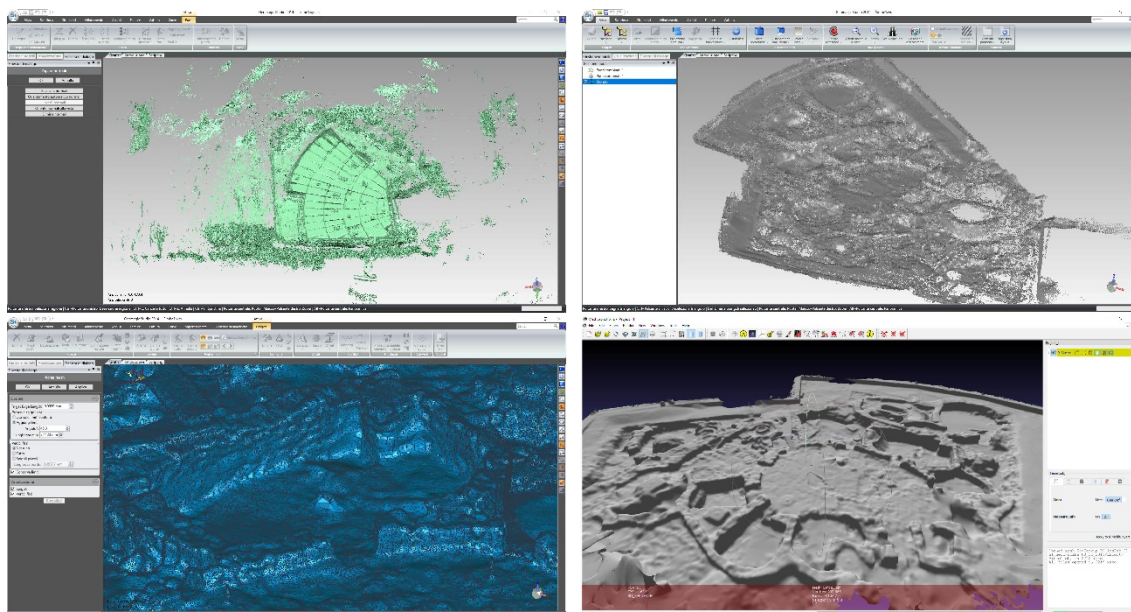


Fig. 39. La trasformazione della nuvola di punti in mesh

## 2.6.2 Il rilievo fotogrammetrico.

I rilievi fotogrammetrici realizzati per la media scala di analisi sono stati realizzati con tre differenti set di immagini, una da drone<sup>245</sup> a circa 30 metri di quota e due da foto aeree<sup>246</sup> a 290 e 380 metri.

Eccezion fatta per le immagini ottenute recentemente da drone, un Phantom 3 Pro della DJI, le altre immagini sono state acquisite per scopi conoscitivi del territorio, ma non finalizzati al rilievo fotogrammetrico; per questo motivo non sono stati rispettati gli accorgimenti consigliati per le riprese e le foto suddette, primo fra tutti quello di non modificare la focale durante le acquisizioni.

<sup>245</sup> Si ringrazia Vincenzo Palleschi del Laboratorio di Spettroscopia Laser e Applicata dell'Istituto di Chimica dei Composti Organometallici del CNR di Pisa per aver messo a disposizione le immagini acquisite durante le attività svolte nel sito di Sant'Imbenia in occasione del Training Camp su tecniche innovative per i beni culturali applicato a siti e reperti archeologici, organizzato dall'Università di Sassari dal 14 al 22 settembre 2017.

<sup>246</sup> Le riprese aeree vennero realizzate dallo scrivente durante alcune ricognizioni aeree svolte su diversi siti archeologici del nord Sardegna nel 2008 in collaborazione col Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale.

Il set fotografico è formato dalle seguenti immagini acquisite a 386 metri di quota: 27 con una focale di 18 mm, 22 con una focale di 55 mm, una sola immagine con 42, 38, 30, 22, 40, 28, 20 e 35 mm.

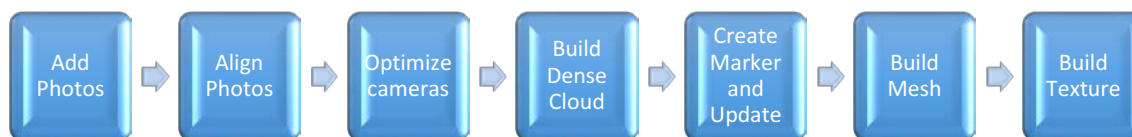
Il tutto è stato utilizzato per ricreare la superficie intorno al nuraghe per un raggio di circa 150 metri, col fine di valutare la possibilità di utilizzo del modello ottenuto per ricreare lo spazio virtuale da inserire nella ricostruzione del sito di Sant’Imbenia.

Stesso discorso per la seconda battuta di immagini, acquisite ad una quota di 290 metri e composta da 22 immagini con focale di 55 mm e le restanti 4 immagini rispettivamente a 42, 38, 30 e 22 mm.

I marker inseriti nel progetto fotogrammetrico sono stati calcolati riportando distanze cartografiche e utilizzando rilievi di macro-area già eseguiti durante le attività di scavo.

L’ultimo gruppo di immagini, come già detto, è stato acquisite recentemente e utilizzato per valutare il rilievo fotogrammetrico georiferito mediante GPS montato su SAPR e il livello di precisione e accuratezza ottenibili in assenza di stazione totale.

Il workflow realizzato per costruire i modelli 3D dell’area intorno al nuraghe Sant’Imbenia è stato schematicamente il seguente:



Nel dettaglio, dopo aver inserito e allineato le immagini, si è proceduto alle loro ottimizzazioni; tale processo permette di ridurre ulteriormente l’errore causato dalla mancata calibrazione e garantisce una più corretta gestione dell’intero processo.

L’allineamento delle camere è necessario affinché il software possa stimare la posizione dei singoli fotogrammi in riferimento allo spazio in cui si trovano generando successivamente una nuvola di punti.

Photoscan procede automaticamente alla calibrazione della fotocamera secondo determinati parametri, che, attraverso lo strumento “Optimize Cameras...”, vengono ulteriormente raffinati aumentando l’accuratezza del dato.

A questo punto gli step successivi risultano quasi automatici, in quanto, è possibile modificare alcuni parametri in rapporto al tipo di approccio che si vuole dare al processo di ricostruzione.

Va precisato che, solitamente, queste variabili sono utilizzate nel caso in cui tali processi necessitino di filtri di profondità, ovvero nel caso in cui al progetto manchino alcuni dettagli non considerati a causa di una bassa densità della nuvola di punti.

Perciò se non si vogliono applicare delle maschere, utili per selezionare parti del rilievo ed escluderne altre, dopo aver creato la nuvola di punti densa, si può procedere alla creazione della mesh ed eventualmente applicare una texture.

La sintesi dei report prodotti da Photoscan, relativi ai tre modelli realizzati e di seguito allegati, indica tre risultati che, pur non dimostrando la precisione ottenuta mediante il rilievo laser scanner effettuato nel sito, raggiungono pienamente gli obiettivi di quella parte della ricerca legata alla ricostruzione virtuale del sito.

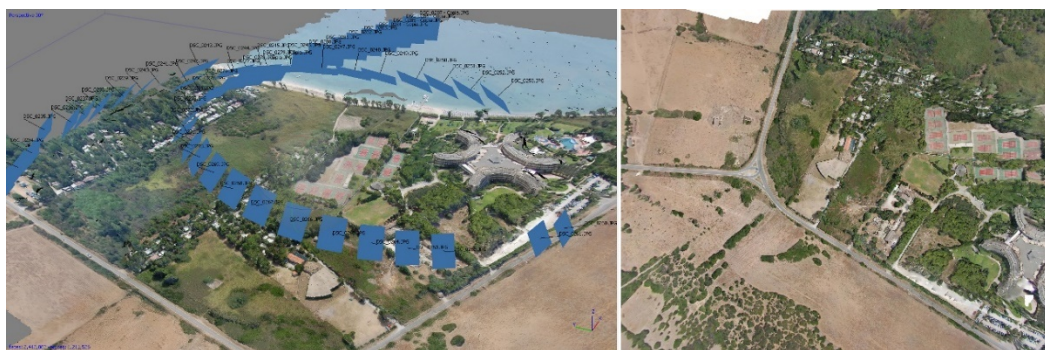


Fig. 40. Il rilievo fotogrammetrico ampio effettuato sulla base delle immagini acquisite durante la ricognizione effettuata con i Carabinieri del Nucleo Tutela Patrimonio Culturale nel 2008. Ripresa prospettica e azimutale.

Il sorvolo, effettuato a 380 m dal suolo, sull'ampia area intorno al monumento ha fornito un GSD appena superiore ai 10 cm e ha permesso di acquisire 61 immagini con una Nikon D40. Pur non avendo effettuato tali riprese con l'obiettivo di realizzare un rilievo fotogrammetrico, la consistente documentazione fotografica acquisita durante la ricognizione aerea, ha consentito oggi di effettuare un buon rilievo fotogrammetrico, utile base su cui impostare applicazioni di archeologia virtuale.

Durante la medesima missione venne fatto un sorvolo sul monumento ad una quota inferiore riuscendo a scattare 26 foto a circa 290 m dal suolo con una Nikon D40, che

hanno permesso di realizzare un rilievo fotogrammetrico con un GSD di poco superiore ai 4 cm.

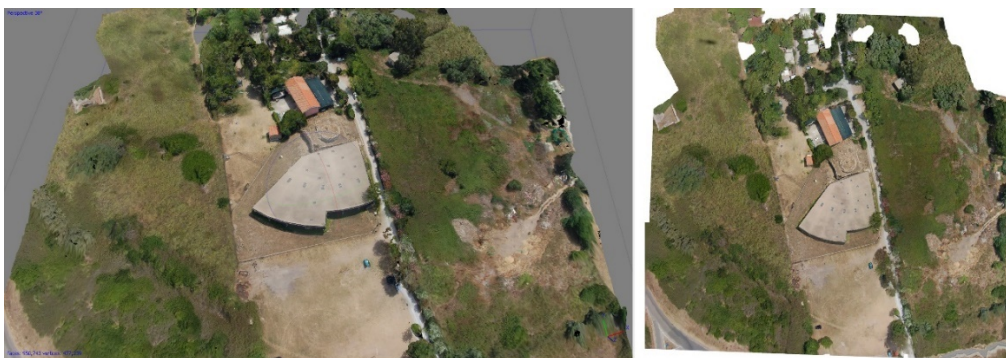


Fig. 41. Il rilievo fotogrammetrico del nuraghe effettuato in base alle immagini acquisite durante la ricognizione effettuata con i Carabinieri del Nucleo Tutela Patrimonio Culturale nel 2008. Ripresa prospettica e azimutale.

Attraverso la terza ed ultima ripresa aerea è stato possibile realizzare il rilievo fotogrammetrico della struttura nuragica oggi incastonata tra la tettoia lignea che protegge l'area di scavo e una struttura edilizia realizzata per accogliere i turisti del Camping.

Le 116 immagini sono state acquisite da un drone che montava una camera FC300X con una focale da 3.61 mm, volando ad una quota media di 34 metri dal suolo, che hanno permesso di elaborare un rilievo fotogrammetrico con un GSD poco superiore ai 6 mm.

I primi due set fotografici sopraindicati si sono rivelati poco utili per l'elaborazione del rilievo fotogrammetrico, non essendo stati effettuati appositamente per questo scopo.

Tuttavia le possibilità che un applicativo come Photoscan fornisce, anche con immagini effettuate quasi dieci anni or sono senza alcuna "pretesa fotogrammetrica", si sono dimostrate valide in rapporto all'utilizzo dei modelli e al livello di precisione utile per raggiungere un risultato ottimale.

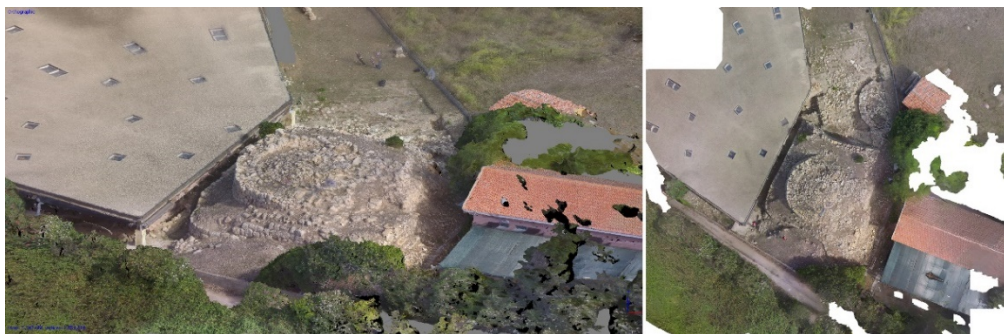


Fig. 42. Il rilievo fotogrammetrico del nuraghe effettuato durante le attività seminariali svolte nel settembre 2017 durante il Training Camp. Ripresa prospettica e azimutale.

# Agisoft PhotoScan

Processing Report  
25 September 2017





## Survey Data

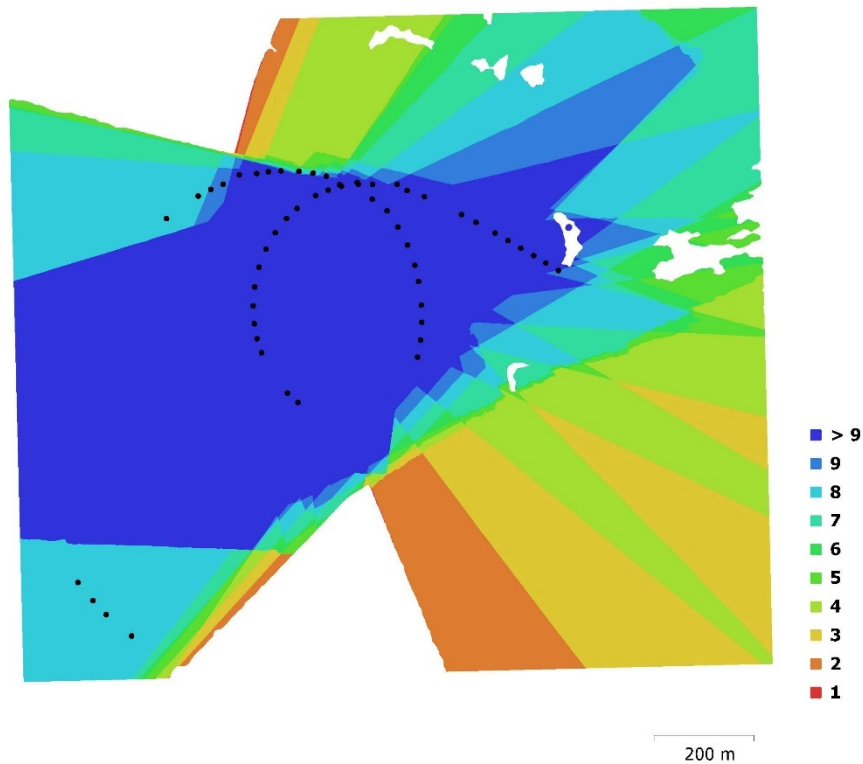


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	61	Camera stations:	61
Flying altitude:	386 m	Tie points:	48,672
Ground resolution:	11.2 cm/pix	Projections:	197,455
Coverage area:	1.75 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.76 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D40 (42 mm)	3008 x 2000	42 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (48 mm)	3008 x 2000	48 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (38 mm)	3008 x 2000	38 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No

<b>Camera Model</b>	<b>Resolution</b>	<b>Focal Length</b>	<b>Pixel Size</b>	<b>Precalibrated</b>
NIKON D40 (34 mm)	3008 x 2000	34 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (18 mm)	3008 x 2000	18 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (55 mm)	3008 x 2000	55 mm	8.03 x 8.03 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (30 mm)	3008 x 2000	30 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (22 mm)	3008 x 2000	22 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (35 mm)	3008 x 2000	35 mm	8.06 x 8.06 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

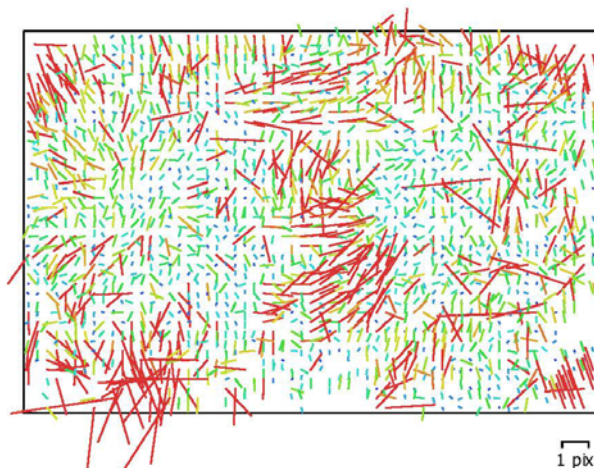


Fig. 2. Image residuals for NIKON D40 (42 mm).

### NIKON D40 (42 mm)

2 images

Type  
Frame

Resolution  
3008 x 2000

Focal Length  
42 mm

Pixel Size  
7.99 x 7.99  $\mu\text{m}$

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
F	5269.6	1.6	1.00	-0.04	-0.41	-0.23	0.04	-0.13	0.03	-0.06	-0.15
Cx	87.5328	2.5		1.00	0.01	-0.10	-0.13	-0.11	0.24	0.91	-0.16
Cy	27.1139	3.1			1.00	-0.64	0.03	0.09	0.03	-0.03	0.08
B1	60.6498	1.3				1.00	0.03	-0.02	-0.04	-0.05	0.46
B2	109.825	0.95					1.00	0.07	-0.05	-0.45	0.05
K1	0.104699	0.002						1.00	-0.93	-0.08	0.07
K2	-0.980993	0.022							1.00	0.21	-0.05
P1	-0.00344412	0.00021								1.00	-0.16
P2	0.00328324	0.00011									1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

LUCA SANNA

Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.

Problematiche e metodologie proposte.

Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo

Università degli Studi di Sassari

# Camera Calibration

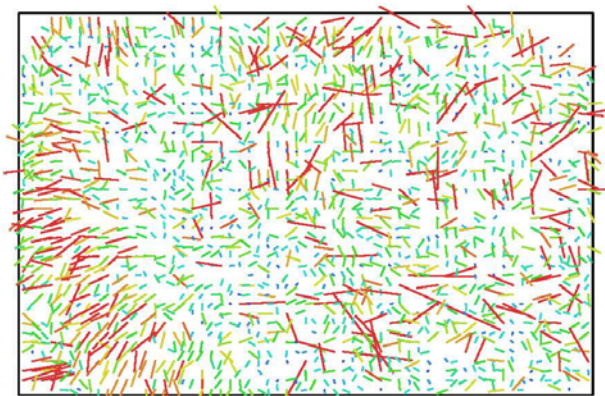


Fig. 3. Image residuals for NIKON D40 (48 mm). 1 px

## NIKON D40 (48 mm)

1 images

Type <b>Frame</b>	Resolution <b>3008 x 2000</b>	Focal Length <b>48 mm</b>	Pixel Size <b>7.99 x 7.99 μm</b>
----------------------	----------------------------------	------------------------------	-------------------------------------

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>6211.29</b>	4.5	1.00	-0.18	-0.21	-0.83	-0.10	-0.00	-0.04	-0.07	-0.39
<b>Cx</b>	<b>133.369</b>	3.4		1.00	0.04	0.17	0.39	-0.15	0.30	0.75	0.04
<b>Cy</b>	<b>24.9979</b>	6.5			1.00	-0.31	0.07	0.06	-0.04	-0.08	0.33
<b>B1</b>	<b>-44.6275</b>	4.3				1.00	0.06	-0.04	0.07	0.11	0.34
<b>B2</b>	<b>49.0134</b>	5.3					1.00	0.27	-0.20	-0.26	0.00
<b>K1</b>	<b>0.166248</b>	0.0028						1.00	-0.94	-0.25	0.01
<b>K2</b>	<b>-1.49125</b>	0.033							1.00	0.38	0.00
<b>P1</b>	<b>0.00190496</b>	0.00021								1.00	0.00
<b>P2</b>	<b>0.00179088</b>	0.00014									1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

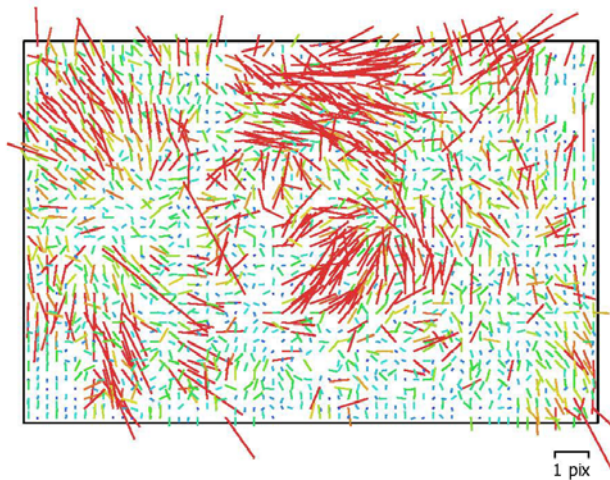


Fig. 4. Image residuals for NIKON D40 (38 mm).

### NIKON D40 (38 mm)

2 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **38 mm** Pixel Size **7.99 x 7.99  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>5031.67</b>	1.4	1.00	0.13	-0.15	-0.47	-0.07	0.03	-0.04	0.18	-0.29
<b>Cx</b>	<b>147.662</b>	1.5		1.00	0.01	-0.12	0.09	-0.15	0.20	0.79	-0.02
<b>Cy</b>	<b>-46.4955</b>	2.6			1.00	-0.72	0.16	-0.02	0.05	-0.12	-0.03
<b>B1</b>	<b>-64.5821</b>	1.4				1.00	0.01	-0.00	-0.03	-0.10	0.50
<b>B2</b>	<b>120.126</b>	0.88					1.00	-0.04	0.02	-0.49	0.09
<b>K1</b>	<b>0.113404</b>	0.0015						1.00	-0.97	-0.05	-0.01
<b>K2</b>	<b>-0.866631</b>	0.014							1.00	0.09	0.04
<b>P1</b>	<b>0.00316808</b>	0.00012								1.00	-0.08
<b>P2</b>	<b>0.00147721</b>	8.1e-05									1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Calibration

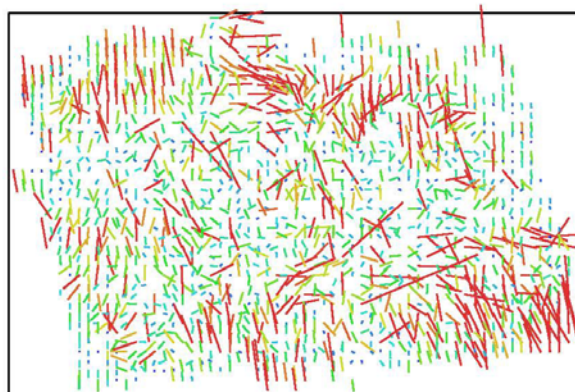


Fig. 5. Image residuals for NIKON D40 (34 mm). 1 pix

## NIKON D40 (34 mm)

1 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>3008 x 2000</b>	<b>34 mm</b>	<b>7.99 x 7.99 <math>\mu</math>m</b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>4350.88</b>	3.7	1.00	-0.16	-0.11	-0.89	-0.11	-0.13	0.11	0.08	-0.21
<b>Cx</b>	<b>129.041</b>	2.4		1.00	-0.04	0.22	0.37	0.02	0.05	0.61	0.01
<b>Cy</b>	<b>-107.294</b>	4.3			1.00	-0.31	0.12	-0.02	-0.02	-0.29	-0.14
<b>B1</b>	<b>-53.968</b>	3.6				1.00	0.16	0.16	-0.13	0.02	0.35
<b>B2</b>	<b>16.7598</b>	4.8					1.00	0.24	-0.22	-0.44	-0.04
<b>K1</b>	<b>0.121641</b>	0.0024						1.00	-0.95	-0.06	-0.09
<b>K2</b>	<b>-0.985806</b>	0.019							1.00	0.13	0.08
<b>P1</b>	<b>0.00539788</b>	0.00024								1.00	0.01
<b>P2</b>	<b>0.00164378</b>	0.00011									1.00

Table 5. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

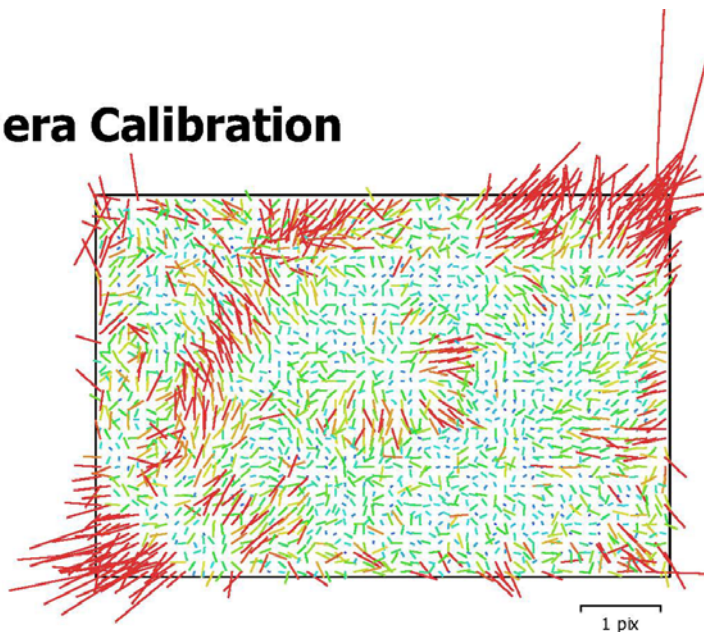


Fig. 6. Image residuals for NIKON D40 (18 mm).

### NIKON D40 (18 mm)

28 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **18 mm** Pixel Size **7.99 x 7.99  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>2397</b>	0.12	1.00	0.53	-0.53	0.01	0.57	-0.00	0.08	-0.23	0.24
<b>Cx</b>	<b>59.7265</b>	0.21		1.00	-0.48	0.17	0.60	0.11	-0.11	0.37	0.19
<b>Cy</b>	<b>-8.42402</b>	0.2			1.00	-0.46	-0.62	0.04	-0.03	0.08	0.19
<b>B1</b>	<b>-14.0991</b>	0.1				1.00	0.42	-0.28	0.13	0.04	0.24
<b>B2</b>	<b>47.6921</b>	0.2					1.00	0.00	-0.09	-0.35	0.55
<b>K1</b>	<b>-0.0921987</b>	9.9e-05						1.00	-0.87	0.05	-0.05
<b>K2</b>	<b>0.045375</b>	0.00017							1.00	0.06	-0.03
<b>P1</b>	<b>-0.000580691</b>	1.9e-05								1.00	-0.34
<b>P2</b>	<b>0.000551188</b>	2e-05									1.00

Table 6. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

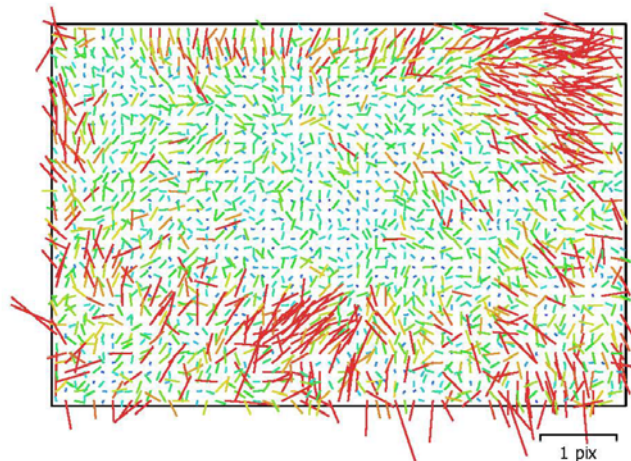


Fig. 7. Image residuals for NIKON D40 (55 mm).

### NIKON D40 (55 mm)

23 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **55 mm** Pixel Size **8.03 x 8.03  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>6947.9</b>	2.3	1.00	-0.07	-0.75	0.09	0.11	-0.18	0.07	-0.14	-0.15
<b>Cx</b>	<b>-61.4239</b>	2.3		1.00	-0.02	0.02	-0.05	0.08	-0.13	0.93	0.02
<b>Cy</b>	<b>-109.551</b>	3.4			1.00	-0.59	-0.18	0.13	-0.02	0.04	0.15
<b>B1</b>	<b>22.8621</b>	1.1				1.00	0.17	0.00	-0.03	-0.03	0.45
<b>B2</b>	<b>40.6567</b>	0.64					1.00	-0.06	0.04	-0.34	0.04
<b>K1</b>	<b>0.0296522</b>	0.0014						1.00	-0.93	0.08	0.12
<b>K2</b>	<b>-0.449196</b>	0.022							1.00	-0.15	-0.10
<b>P1</b>	<b>-0.00573316</b>	0.00014								1.00	0.00
<b>P2</b>	<b>0.000904215</b>	8.9e-05									1.00

Table 7. Calibration coefficients and correlation matrix.



## Camera Calibration

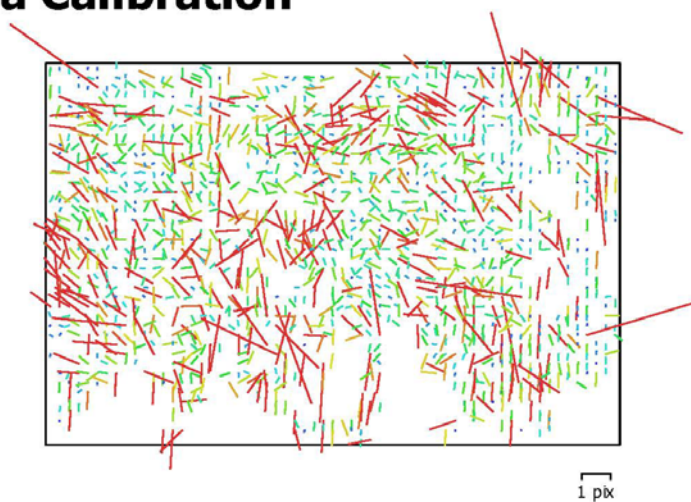


Fig. 8. Image residuals for NIKON D40 (30 mm).

### NIKON D40 (30 mm)

1 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **30 mm** Pixel Size **7.99 x 7.99  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>3842.35</b>	11	1.00	0.17	-0.97	0.37	0.20	-0.51	0.20	0.02	0.61
<b>Cx</b>	<b>35.1577</b>	2		1.00	-0.17	0.07	0.67	0.19	-0.18	0.35	0.21
<b>Cy</b>	<b>-69.676</b>	10			1.00	-0.58	-0.21	0.46	-0.16	-0.01	-0.68
<b>B1</b>	<b>41.3317</b>	1.5				1.00	0.13	-0.14	0.01	-0.02	0.74
<b>B2</b>	<b>32.3848</b>	1.4					1.00	0.15	-0.22	-0.44	0.19
<b>K1</b>	<b>0.00757675</b>	0.0015						1.00	-0.90	-0.05	-0.26
<b>K2</b>	<b>-0.205527</b>	0.0082							1.00	0.13	0.09
<b>P1</b>	<b>0.00137867</b>	0.00013								1.00	0.06
<b>P2</b>	<b>-1.86622e-05</b>	0.00012									1.00

Table 8. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

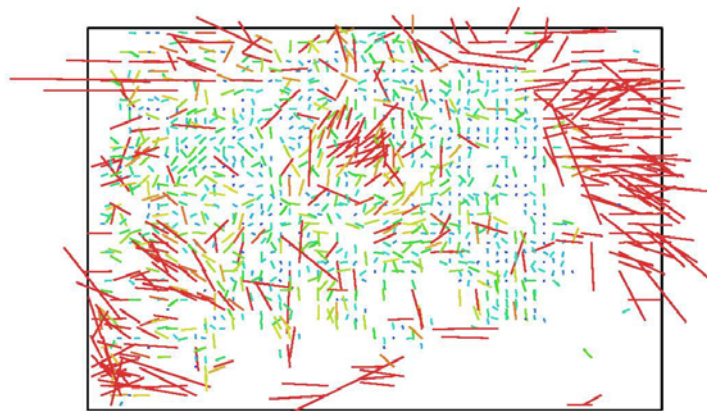


Fig. 9. Image residuals for NIKON D40 (22 mm). 1 pix

### NIKON D40 (22 mm)

1 images

Type  
Frame

Resolution  
3008 x 2000

Focal Length  
22 mm

Pixel Size  
7.99 x 7.99  $\mu\text{m}$

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>2783.58</b>	7.8	1.00	0.56	-0.98	0.69	0.45	-0.72	0.28	-0.21	0.93
<b>Cx</b>	<b>40.3575</b>	1.8		1.00	-0.61	0.54	0.81	-0.39	0.18	-0.06	0.63
<b>Cy</b>	<b>-78.3004</b>	8.4			1.00	-0.82	-0.54	0.68	-0.23	0.26	-0.96
<b>B1</b>	<b>28.9316</b>	1.3				1.00	0.56	-0.50	0.16	-0.29	0.86
<b>B2</b>	<b>31.8161</b>	1.4					1.00	-0.28	0.06	-0.60	0.56
<b>K1</b>	<b>-0.0550406</b>	0.00093						1.00	-0.82	0.11	-0.66
<b>K2</b>	<b>-0.0334549</b>	0.0019							1.00	0.11	0.24
<b>P1</b>	<b>-0.00152835</b>	0.00012								1.00	-0.25
<b>P2</b>	<b>0.0017932</b>	0.00023									1.00

Table 9. Calibration coefficients and correlation matrix.

LUCA SANNA

Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.

Problematiche e metodologie proposte.

Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo

Università degli Studi di Sassari

# Camera Calibration

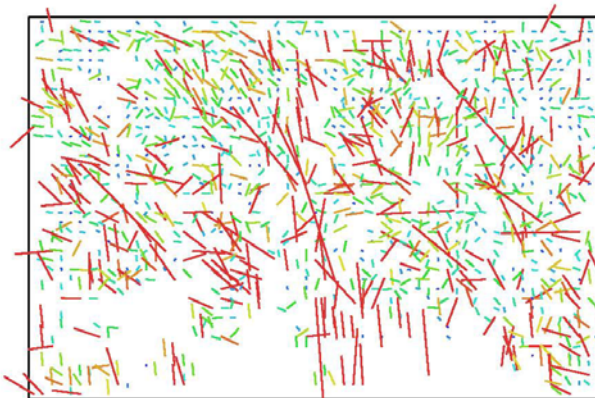


Fig. 10. Image residuals for NIKON D40 (35 mm). 1 pix

## NIKON D40 (35 mm)

2 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>3008 x 2000</b>	<b>35 mm</b>	<b>8.06 x 8.06 <math>\mu</math>m</b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	P1	P2
<b>F</b>	<b>4695.52</b>	8.3	1.00	0.62	-0.95	0.36	-0.03	-0.43	0.31	-0.12	0.43
<b>Cx</b>	<b>59.9576</b>	3.8		1.00	-0.64	0.46	0.27	-0.28	0.17	0.56	0.64
<b>Cy</b>	<b>-219.039</b>	13			1.00	-0.59	-0.04	0.33	-0.23	0.12	-0.46
<b>B1</b>	<b>24.1536</b>	2				1.00	0.01	0.02	-0.02	0.17	0.60
<b>B2</b>	<b>23.8915</b>	1.7					1.00	-0.12	0.07	-0.19	0.10
<b>K1</b>	<b>-0.0144058</b>	0.0022						1.00	-0.95	0.07	-0.13
<b>K2</b>	<b>-0.0799351</b>	0.017							1.00	-0.06	0.04
<b>P1</b>	<b>-0.000933903</b>	0.00019								1.00	0.32
<b>P2</b>	<b>0.00371094</b>	0.00013									1.00

Table 10. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Scale Bars

<b>Label</b>	<b>Distance (m)</b>	<b>Error (m)</b>
point 1_point 3	43.99	-0.07004
point 4_point 5	100.474	0.0736387
point 6_point 7	91.8151	0.0451474
<b>Total</b>		<b>0.0642042</b>

Table 11. Control scale bars.

# Digital Elevation Model

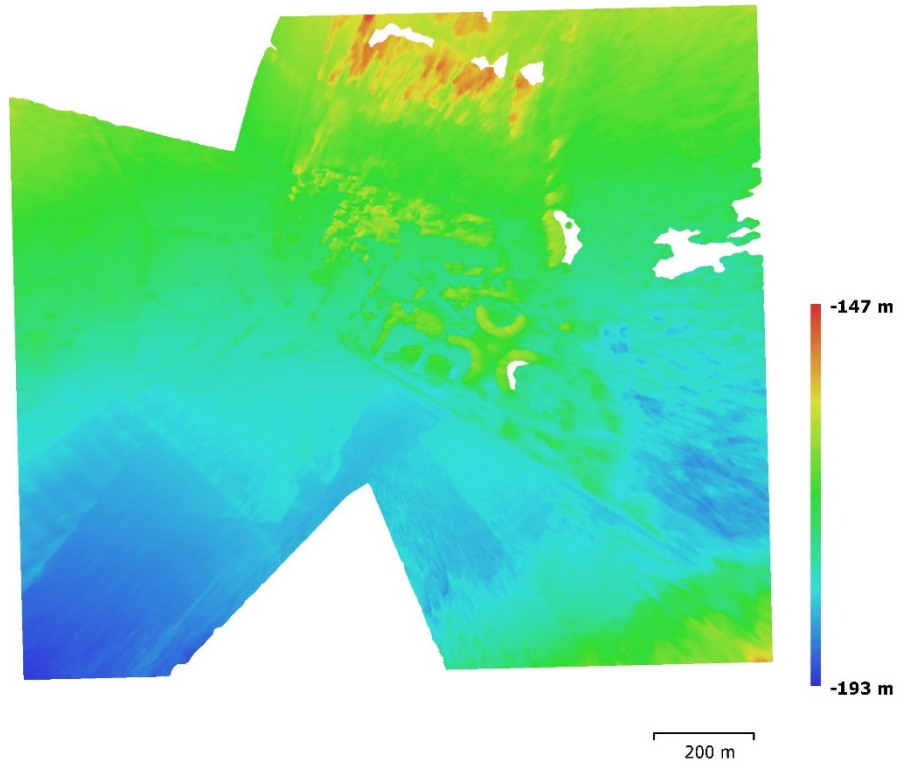


Fig. 11. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown  
Point density: unknown

# Processing Parameters

<b>General</b>	
Cameras	61
Aligned cameras	61
Markers	8
Scale bars	3
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	48,672 of 56,218
RMS reprojection error	0.2094 (0.759587 pix)
Max reprojection error	2.72471 (18.5686 pix)
Mean key point size	3.29338 pix
Effective overlap	4.60299
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	4 minutes 51 seconds
Alignment time	31 seconds
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1, k2, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	5 seconds
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	11,474,269
<b>Reconstruction parameters</b>	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	2 hours 9 minutes
Dense cloud generation time	34 minutes 3 seconds
<b>Model</b>	
Faces	2,294,847
Vertices	1,151,432
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Face count	2,294,848
Processing time	10 minutes 32 seconds
<b>DEM</b>	
Size	8,904 x 8,869
Coordinate system	Local Coordinates (m)
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	27 seconds
<b>Orthomosaic</b>	
Size	17,591 x 12,691
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Channels	3, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic

Surface	Mesh
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	1 minutes 43 seconds
<b>Software</b>	
Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64

# Agisoft PhotoScan

Processing Report  
25 September 2017





# Survey Data

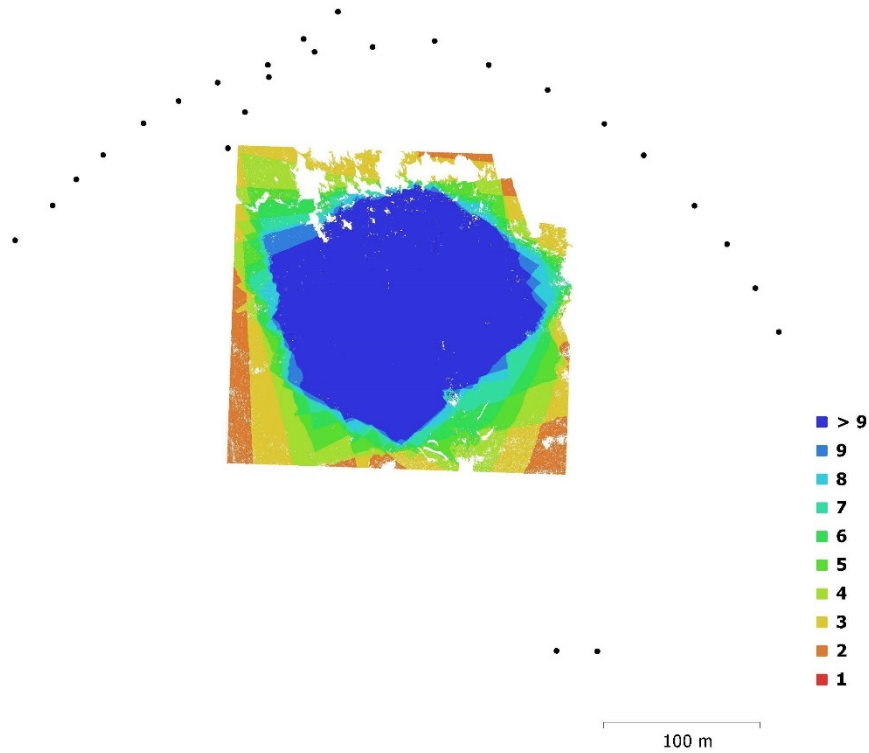


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	26	Camera stations:	26
Flying altitude:	287 m	Tie points:	23,692
Ground resolution:	4.76 cm/pix	Projections:	92,561
Coverage area:	0.0383 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.53 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D40 (55 mm)	3008 x 2000	55 mm	8.03 x 8.03 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (42 mm)	3008 x 2000	42 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (38 mm)	3008 x 2000	38 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No

<b>Camera Model</b>	<b>Resolution</b>	<b>Focal Length</b>	<b>Pixel Size</b>	<b>Precalibrated</b>
NIKON D40 (30 mm)	3008 x 2000	30 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No
NIKON D40 (22 mm)	3008 x 2000	22 mm	7.99 x 7.99 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

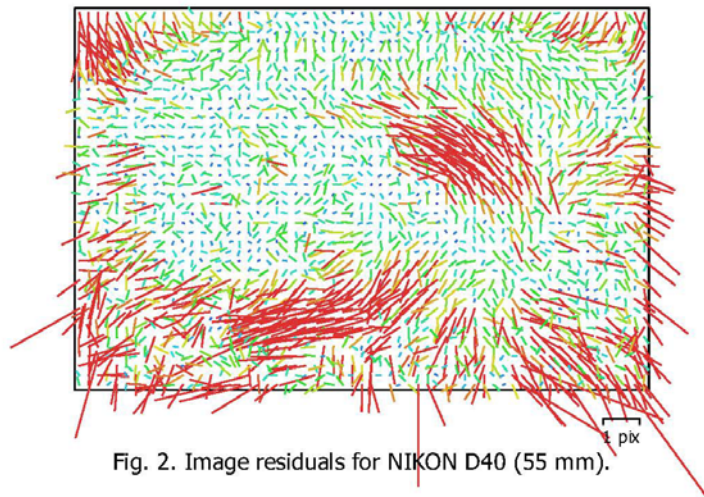


Fig. 2. Image residuals for NIKON D40 (55 mm).

### NIKON D40 (55 mm)

22 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **55 mm** Pixel Size **8.03 x 8.03  $\mu$ m**

	Value	Error	F	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>6730.25</b>	5.1	1.00	-0.69	-0.12	-0.11	-0.07	-0.16
<b>B1</b>	<b>-13.3331</b>	3.3		1.00	0.12	0.00	-0.00	0.71
<b>B2</b>	<b>-47.1094</b>	1.6			1.00	0.08	-0.78	0.14
<b>K1</b>	<b>-0.0978566</b>	0.0017				1.00	-0.04	-0.14
<b>P1</b>	<b>0.0118479</b>	0.00014					1.00	-0.14
<b>P2</b>	<b>0.0218795</b>	0.00038						1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

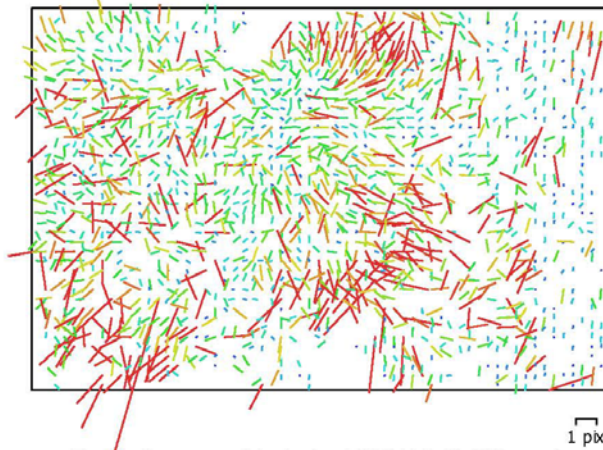


Fig. 3. Image residuals for NIKON D40 (42 mm).

### NIKON D40 (42 mm)

1 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **42 mm** Pixel Size **7.99 x 7.99  $\mu$ m**

	Value	Error	F	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>5267.18</b>	8.7	1.00	-0.49	0.18	-0.22	-0.15	0.27
<b>B1</b>	<b>-20.9724</b>	3.8		1.00	-0.04	0.20	0.21	0.59
<b>B2</b>	<b>-18.1159</b>	3.4			1.00	0.04	-0.71	0.12
<b>K1</b>	<b>-0.101557</b>	0.0035				1.00	0.46	0.01
<b>P1</b>	<b>0.0131748</b>	0.00044					1.00	0.09
<b>P2</b>	<b>0.0152858</b>	0.0006						1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Calibration

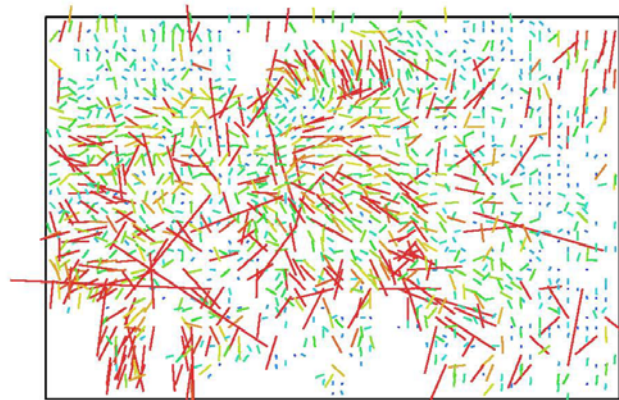


Fig. 4. Image residuals for NIKON D40 (38 mm). 1 pix

## NIKON D40 (38 mm)

1 images

Type  
Frame

Resolution  
3008 x 2000

Focal Length  
38 mm

Pixel Size  
7.99 x 7.99  $\mu\text{m}$

	Value	Error	F	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>4632.73</b>	8.3	1.00	-0.56	0.14	-0.28	-0.12	0.19
<b>B1</b>	<b>-20.8865</b>	3.7		1.00	-0.07	0.21	0.16	0.59
<b>B2</b>	<b>-13.3202</b>	3.3			1.00	-0.04	-0.75	0.07
<b>K1</b>	<b>-0.102195</b>	0.0035				1.00	0.48	-0.02
<b>P1</b>	<b>0.0164861</b>	0.00049					1.00	0.08
<b>P2</b>	<b>0.0140802</b>	0.00059						1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

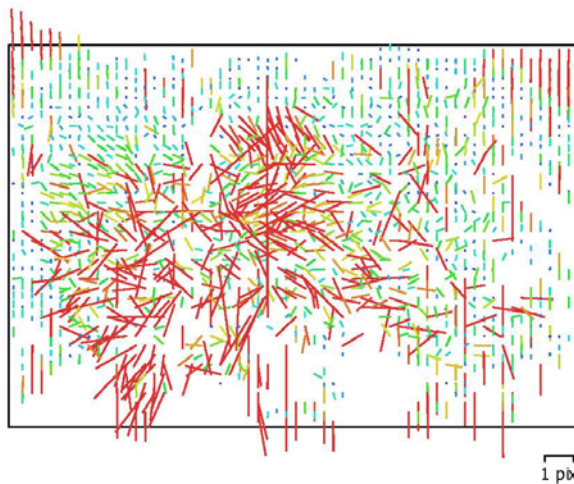


Fig. 5. Image residuals for NIKON D40 (30 mm).

### NIKON D40 (30 mm)

1 images

Type **Frame** Resolution **3008 x 2000** Focal Length **30 mm** Pixel Size **7.99 x 7.99  $\mu$ m**

	Value	Error	F	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>3703.86</b>	8.1	1.00	-0.64	0.10	-0.27	-0.15	0.14
<b>B1</b>	<b>-9.39058</b>	3.7		1.00	-0.09	0.29	0.24	0.55
<b>B2</b>	<b>-19.8908</b>	3.6			1.00	-0.14	-0.78	0.11
<b>K1</b>	<b>-0.101918</b>	0.0039				1.00	0.57	-0.02
<b>P1</b>	<b>0.0190324</b>	0.00067					1.00	0.01
<b>P2</b>	<b>0.0121468</b>	0.00062						1.00

Table 5. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Calibration

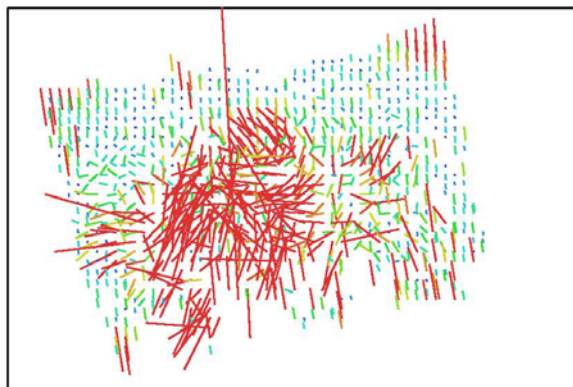


Fig. 6. Image residuals for NIKON D40 (22 mm). 1 pix

## NIKON D40 (22 mm)

1 images

Type  
Frame

Resolution  
3008 x 2000

Focal Length  
22 mm

Pixel Size  
7.99 x 7.99  $\mu\text{m}$

	Value	Error	F	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>2723.41</b>	8.3	1.00	-0.72	0.06	-0.34	-0.18	0.11
<b>B1</b>	<b>-29.2027</b>	3.9		1.00	-0.14	0.48	0.34	0.45
<b>B2</b>	<b>-25.009</b>	4.6			1.00	-0.23	-0.83	0.18
<b>K1</b>	<b>-0.121148</b>	0.0047				1.00	0.64	0.07
<b>P1</b>	<b>0.0214492</b>	0.0011					1.00	-0.06
<b>P2</b>	<b>0.00962497</b>	0.00071						1.00

Table 6. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Scale Bars

<b>Label</b>	<b>Distance (m)</b>	<b>Error (m)</b>
point 1_point 2	29.8392	-0.210804
point 3_point 4	20.7939	0.373908
point 1_point 3	59.0211	-0.208874
point 2_point 4	69.5557	0.185657
point 2_point 3	54.0777	-0.0722874
point 1_point 4	78.9978	-0.0322383
<b>Total</b>		<b>0.211584</b>

Table 7. Control scale bars.



# Digital Elevation Model

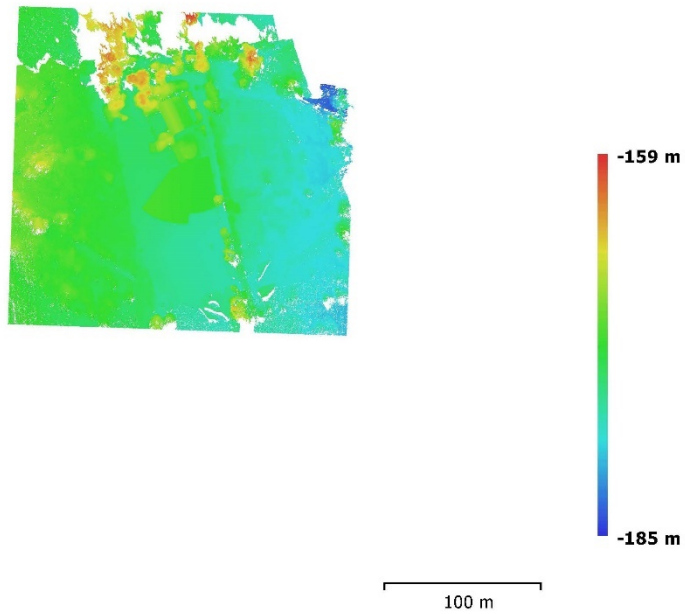


Fig. 7. Reconstructed digital elevation model.

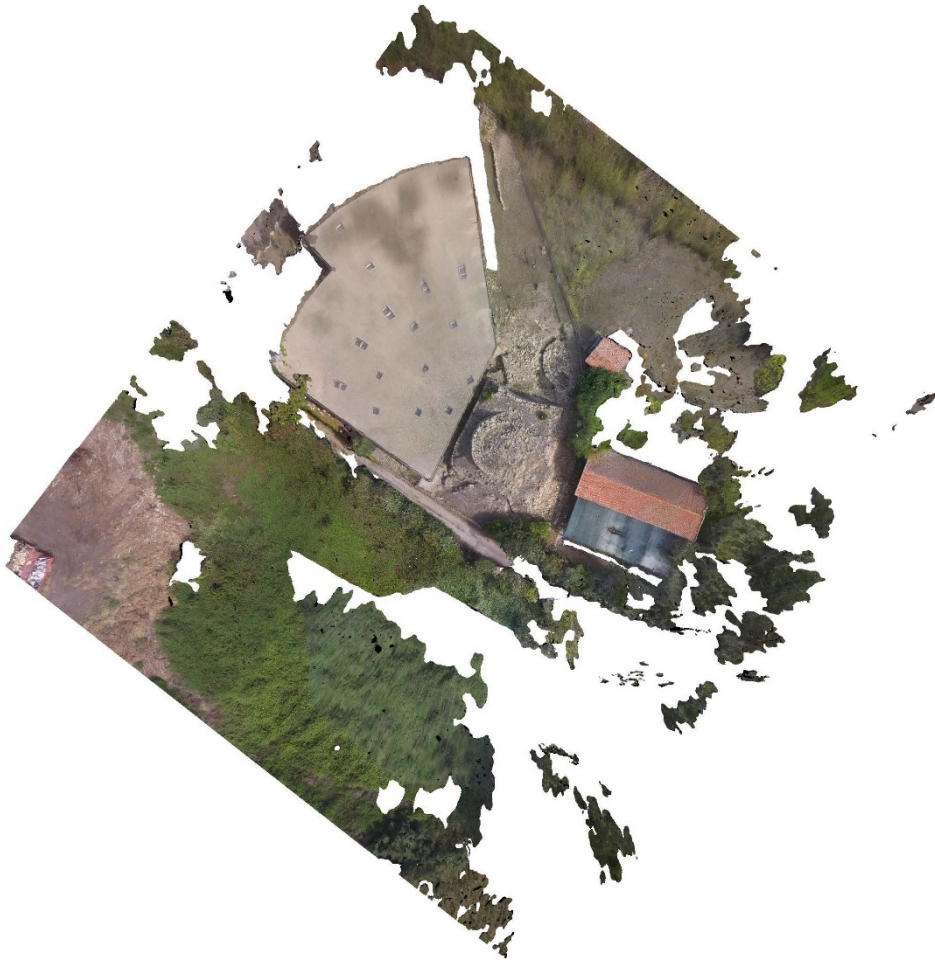
Resolution: unknown  
Point density: unknown

# Processing Parameters

<b>General</b>	
Cameras	26
Aligned cameras	26
Markers	5
Scale bars	6
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	23,692 of 25,901
RMS reprojection error	0.462413 (1.52575 pix)
Max reprojection error	20.8556 (49.2487 pix)
Mean key point size	3.60068 pix
Effective overlap	4.25034
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	1 minutes 35 seconds
Alignment time	6 seconds
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	f, b1, b2, k1, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	0 seconds
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	5,169,053
<b>Reconstruction parameters</b>	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	34 minutes 23 seconds
Dense cloud generation time	2 minutes 20 seconds
<b>Orthomosaic</b>	
Size	4,889 x 4,650
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Channels	3, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	35 seconds
<b>Software</b>	
Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64

# Agisoft PhotoScan

Processing Report  
26 September 2017



## Survey Data

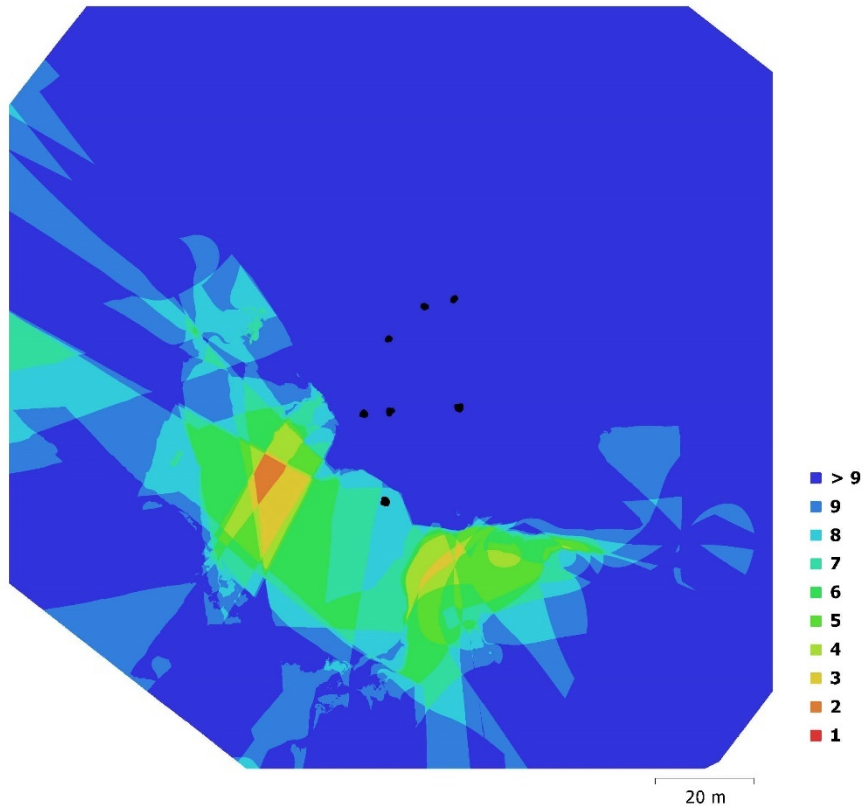


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	116	Camera stations:	116
Flying altitude:	33.9 m	Tie points:	89,216
Ground resolution:	6.58 mm/pix	Projections:	428,161
Coverage area:	0.0229 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.709 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC300X (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

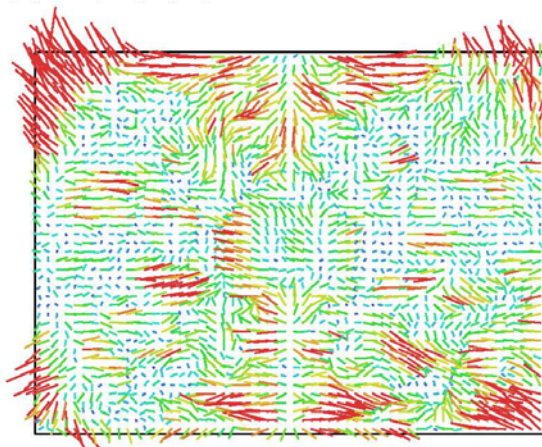


Fig. 2. Image residuals for FC300X (3.61 mm).

### FC300X (3.61 mm)

116 images

Type **Frame** Resolution **4000 x 3000** Focal Length **3.61 mm** Pixel Size **1.56 x 1.56  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>2331.37</b>	0.026	1.00	0.01	-0.34	-0.23	-0.02	-0.46	0.46	-0.42	0.38	0.03	-0.30
<b>Cx</b>	<b>-11.3997</b>	0.042		1.00	-0.01	0.02	-0.02	-0.01	0.00	-0.00	0.00	0.96	0.01
<b>Cy</b>	<b>-15.7679</b>	0.041			1.00	-0.13	0.04	-0.05	0.02	-0.02	0.01	-0.02	0.86
<b>B1</b>	<b>-2.49078</b>	0.008				1.00	-0.04	0.01	-0.02	0.01	-0.01	0.01	0.12
<b>B2</b>	<b>0.513645</b>	0.0077					1.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.14	-0.00
<b>K1</b>	<b>0.000272468</b>	7.7e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.87	-0.01	-0.06
<b>K2</b>	<b>-0.0297004</b>	0.00029							1.00	-0.99	0.96	0.00	0.02
<b>K3</b>	<b>0.0602999</b>	0.00043								1.00	-0.99	-0.00	-0.01
<b>K4</b>	<b>-0.0262375</b>	0.00021									1.00	0.00	0.01
<b>P1</b>	<b>-0.000545249</b>	5.5e-06										1.00	0.01
<b>P2</b>	<b>-0.000747646</b>	4.8e-06											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Locations

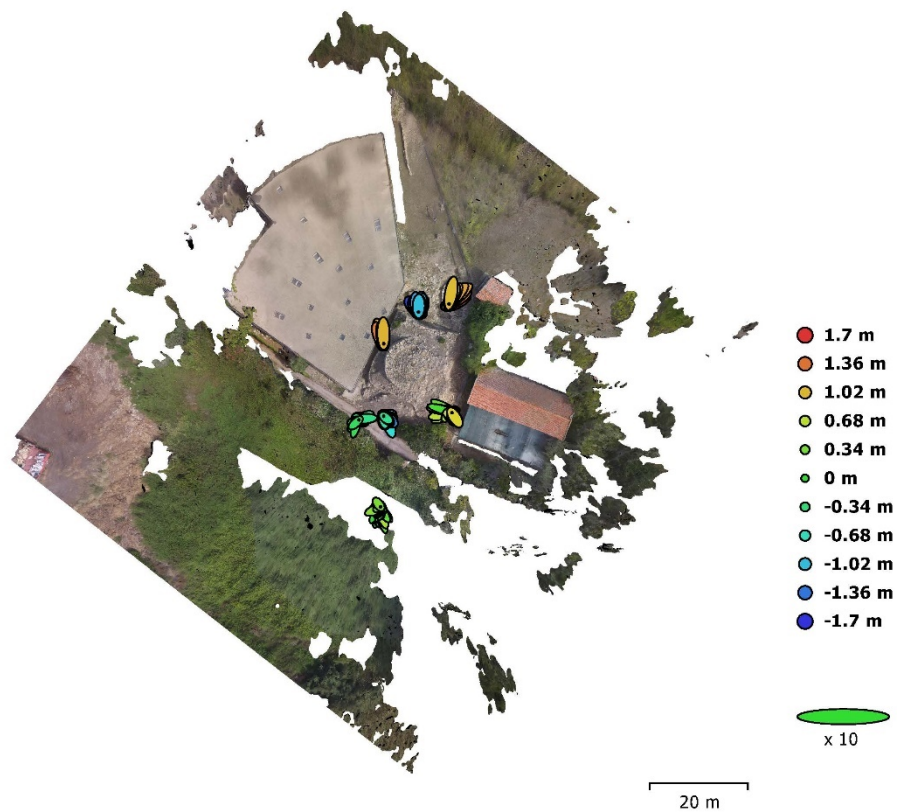


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
17.9506	20.6026	79.4374	27.3257	84.0059

Table 3. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

## Digital Elevation Model

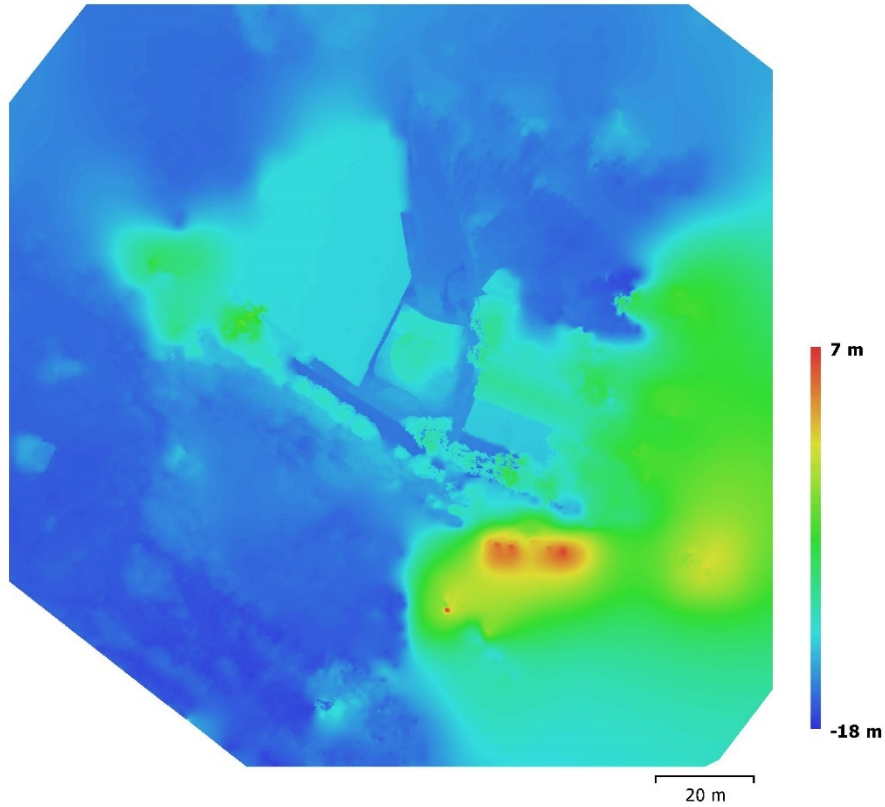


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.48 cm/pix  
Point density: 45.8 points/cm<sup>2</sup>

# Processing Parameters

<b>General</b>	
Cameras	116
Aligned cameras	116
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	89,216 of 116,401
RMS reprojection error	0.234462 (0.708612 pix)
Max reprojection error	1.46572 (33.5432 pix)
Mean key point size	3.04099 pix
Effective overlap	4.42396
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	9 minutes 46 seconds
Alignment time	2 minutes 14 seconds
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	7 seconds
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	23,537,901
<b>Reconstruction parameters</b>	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	2 hours 7 minutes
Dense cloud generation time	2 hours 10 minutes
<b>Model</b>	
Faces	4,707,570
Vertices	2,376,558
Texture	4,096 x 4,096 x 8, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Face count	4,707,570
Processing time	22 minutes 20 seconds
<b>Texturing parameters</b>	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
UV mapping time	2 minutes 26 seconds
Blending time	3 minutes 51 seconds
<b>DEM</b>	
Size	17,883 x 17,663
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Dense cloud



Interpolation	Enabled
Processing time	2 minutes 17 seconds
<b>Orthomosaic</b>	
Size	32,953 x 31,343
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4978)
Channels	3, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	6 minutes 6 seconds
<b>Software</b>	
Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64

## 2.7 La documentazione 3D del sito di Sant’Imbenia: micro scala

Più che una vera e propria scala d’intervento, la proposta di gestione della documentazione nell’ambiente 47 dell’abitato di Sant’Imbenia è esemplificativo dell’evoluzione nella gestione dei dati di scavo e di come si auspica possa procedere nel sito algherese.

Ancora oggi sono pochi i casi in Italia in cui la registrazione e la gestione completa della documentazione archeologica viene affidata *in toto* a sistemi digitali e questo non è un demerito; una documentazione analogica, spesso eseguita in cantiere, oltre ad essere più consona all’ambiente in cui viene realizzata (polvere, acqua, urti potrebbero danneggiare i computer o i tablet rischiando di perdere intere giornate di lavoro), permette di conservare una parte di dati “grezzi” che costituiranno comunque la base di qualsiasi intervento o revisione successiva del lavoro.

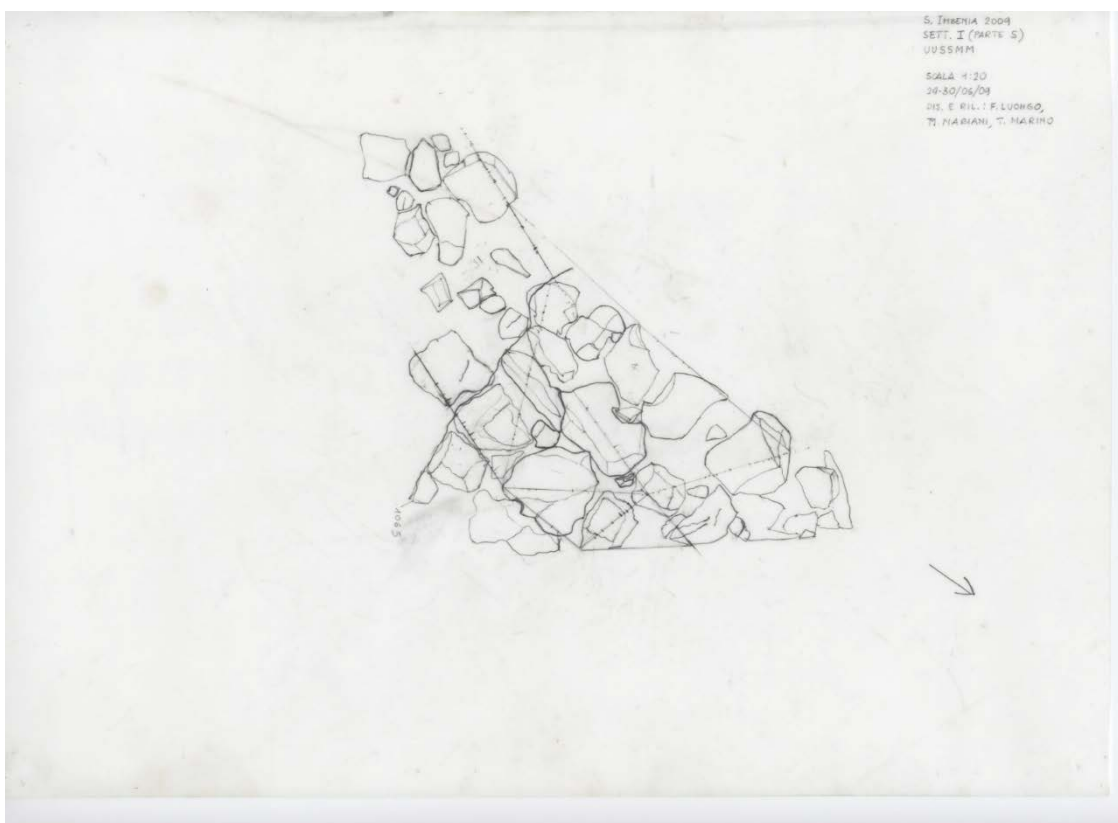


Fig. 43. Sant’Imbenia, ambiente 47. Il rilievo tradizionale effettuato mediante trilaterazione

Tuttavia la sempre maggiore diffusione delle tecnologie, assieme a tempi d'intervento sul campo, talvolta stretti, porta ad impennare il lavoro sull'utilizzo di tali apparecchiature, condizionando spesso la tipologia dei documenti prodotti.

Il lavoro di documentazione svolto durante le indagini archeologiche a Sant'Imbenia ha prodotto planimetrie, sezioni, immagini e schede relative a qualsiasi unità stratigrafica individuata e scavata e una quantità di dati, digitali e cartacei, che necessitavano di ordine e organizzazione per una più semplice gestione del lavoro.

Raccogliere l'intero archivio di documenti prodotti in anni di ricerca non è stato semplice, così come non lo è stato il trasferimento delle numerose planimetrie cartacee in digitale.

Questo è stato l'inizio di un percorso che s'intende fare nei prossimi anni e di cui questo vuole essere il primo tassello.

A questa prima fase di raccolta della documentazione è succeduta quella di creazione della piattaforma informatizzata capace di gestire schede di unità stratigrafica, planimetrie e immagini digitali.

La scelta d'implementare una piattaforma GIS è stata obbligata per gestire mediante un unico applicativo diversi archivi, dando però priorità all'aspetto spaziale e geografico della ricerca.

Le potenzialità di tali sistemi in archeologia sono ormai note<sup>247</sup>: un GIS è in grado di archiviare, ordinare e gestire dati alfanumerici e geografici, in formato sia raster che vettoriale, mediante livelli informativi differenti.

La piattaforma GIS realizzata ha permesso di raccogliere per il momento schede, planimetrie e immagini, auspicando un'implementazione strutturale, qualitativa e quantitativa di dati in un prossimo futuro.

Lo stesso materiale è stato poi trasposto su un visualizzatore tridimensionale, che, tramite la ricostruzione delle superfici acquisite puntualmente durante lo scavo – come quote,

---

<sup>247</sup> Per le metodologie e le problematiche della gestione della documentazione su piattaforma GIS si veda VALENTI 1998 e successivi; CATTANI 2002 e successivi

relative prime e poi assolute – è stata in grado di visualizzare l'intera sequenza stratigrafica dell'ambiente 47.

Benché le problematiche degli standard e della gestione dei dati archeologici tridimensionali siano già state affrontate nel primo capitolo, occorre precisare che anche nel caso di gestione di dati alfanumerici è importante che il materiale prodotto rispetti le medesime caratteristiche d'interoperabilità e verifica.

La progettazione degli archivi è stata svolta in modo da soddisfare le esigenze di chi si trovava ad immagazzinare dati ed era avvezzo al formato della scheda cartacea e a un sistema digitale che, per la sua architettura relazionale, trae giovamento dal controllo di immissione del dato mediante l'utilizzo di *thesauri* e menu a tendina.

Oggi la scelta di un'architettura di tipo relazionale può sembrare limitativa, ma al momento, vista la qualità del dato disponibile e la sua quantità, era l'unica attuabile. La struttura stessa del sistema informativo, alquanto basica, è stata pensata in funzione di una prossima mappatura degli archivi, che attualmente dispongono di un contenitore adatto alla consultazione e all'organizzazione del patrimonio documentale di Sant'Imbenia.

Le motivazioni intervenute sulla scelta dei software utilizzati derivano da progetti già in parte sperimentati in altri contesti, che su questo progetto di ricerca sono stati plasmati e raffinati secondo le esigenze specifiche del progetto stesso.

Il database è stato implementato su FileMaker Pro 12<sup>248</sup>, valida soluzione per

The screenshot shows a FileMaker Pro Advanced window with the title 'FileMaker Pro Advanced - [Schede US 47]'. The interface includes a menu bar (File, Modifica, Visualizza, Inserisci, Formattazione, Record, Script, Strumenti, Finestre, Aiù), a toolbar with navigation icons, and a record display area showing 'Record 10 / 10 Trovati (Non ordinati)'. The main form is titled 'Ministero per i Beni e le Attività Culturali' and contains the following sections:

- Header:** 'U S' and 'N. CATALOGO GENERALE' / 'N. CATALOGO INTERNAZIONALE'.
- Form Fields:** LOCALITÀ, ANNO (2010), AREA, SETTORE (II), AMBIENTE (47), SAGGIO, QUADRATO, QUOTE, N° di US (147).
- DEFINIZIONE E POSIZIONE:** 'Pietre di piccole e medie dimensioni di forma subquadrangolare disposte a circolo poste nel quadrante Sud-occidentale'.
- CRITERI DI DISTINZIONE:** 'Artificiale sincronico'.
- STATO DI CONSERVAZIONE:** 'conservati i limiti originali'.
- DESCRIZIONE:** 'Pietre di piccole e medie dimensioni con andamento circolare, probabilmente con la funzione di alloggiamento di un palo. L'US in questione taglia un battuto sottostante, US 135, e si posiziona a circa 60 cm dall'USM 55; il suo diametro esterno misura 60 cm.'
- Diagram:** A circular diagram on the right side of the form, labeled '147' in the center and '135' at the bottom, with a vertical line passing through the center.
- Form Fields (Bottom):** 'EGUALE A' (140), 'SI APPOGGIA A' (132), 'COPRIE DA' (148), 'TAGLIA' (135), 'TRASFORMA IN'.

Fig. 44. Il modello di schede US utilizzato nel database a Sant'Imbenia

<sup>248</sup> <http://www.filemaker.com/it/>

qualsiasi tipologia di utente grazie a un'interfaccia del tutto simile al modello delle schede ministeriali.

Il sistema informativo geografico è stato implementato sul software della ESRI<sup>249</sup> ArcGIS. Si è optato per questa soluzione per la semplicità d'utilizzo rispetto ad altri applicativi, anche *Open Source*, ma soprattutto per mantenere omogeneità con le altre piattaforme già realizzate ed utilizzate all'interno delle ricerche in corso.

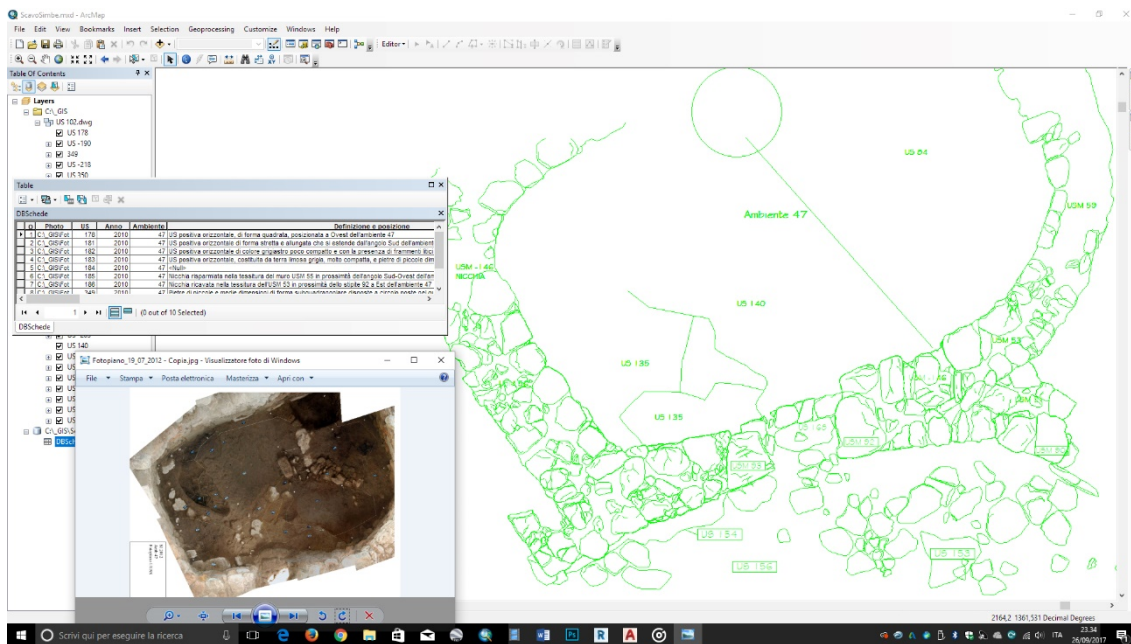


Fig. 45. La schermata del GIS con schede archiviate, planimetrie e immagini delle UUSS

La connessione tra il database e il GIS, avvenuta mediante feature ID (assegnazione di identificativi numerici univoci definiti da numero di US), inizialmente ha dato qualche problema di configurazione a causa dei valori di default dei campi di testo del database che venivano visualizzati come vuoti nel GIS.

Il problema è stato risolto ridimensionando i campi di testo di FMP da 1.000.000 caratteri, decisamente sovradimensionati per le schede US, a poche migliaia.

<sup>249</sup> <https://www.esri.com/en-us/home>

Ad ogni scheda US è stato associata l'immagine dell'US mediante un "Hyperlink", creando un campo testuale nella tabella di attributi nel quale inserire il percorso della cartella immagini allegata al database.

Il lavoro realizzato riguarda la prima implementazione di una piattaforma GIS destinata ad evolvere nel corso dei prossimi anni, in una prospettiva diacronica e multidimensionale, che, sfruttando le potenzialità di calcolo della tecnologia GIS e della Computer Vision, sarà in grado di ottenere simulazioni di modelli interpretativi spaziali in 4D, ovvero un GIS tridimensionale che prende in considerazione anche il fattore tempo.

Il rilievo 3D con il laser scanner ha permesso di documentare l'intero abitato, mentre con la tecnica *Structure for Motion* è stata realizzata la documentazione dei singoli ambienti che confluiranno nella piattaforma suddetta.

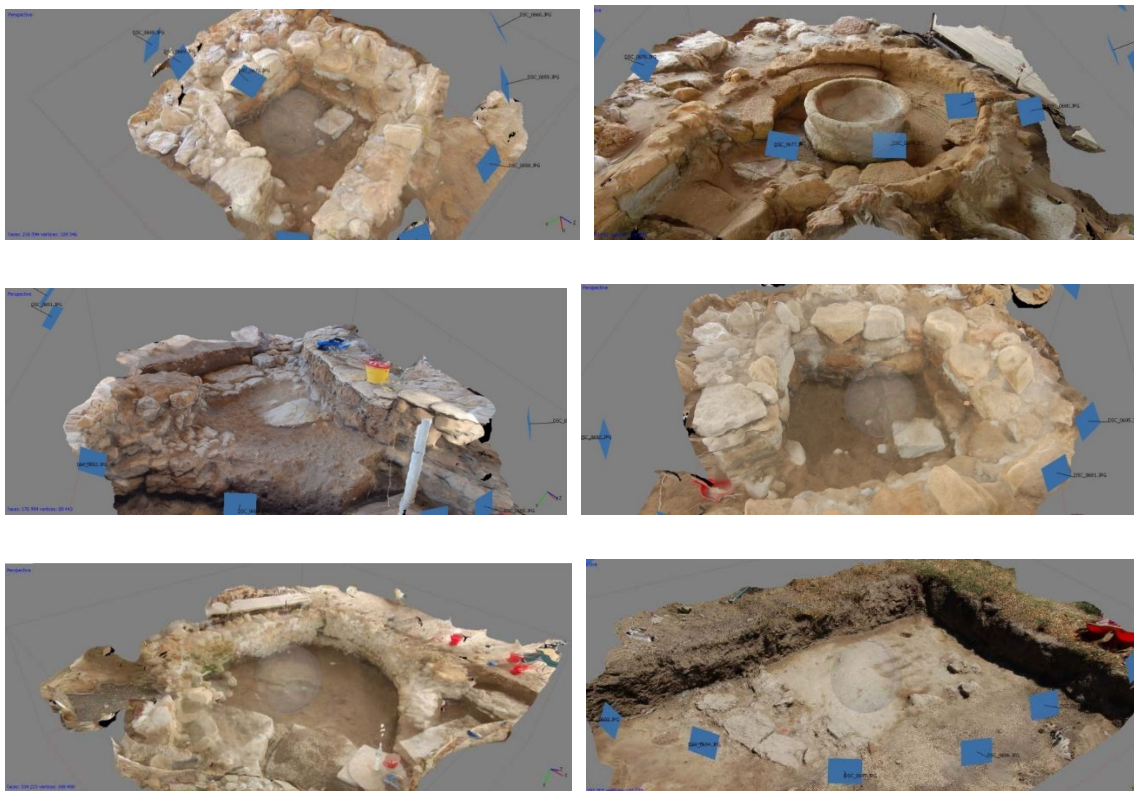


Fig. 46. Alcuni degli ambienti acquisiti mediante fotogrammetria nel sito di Sant'Imbenia

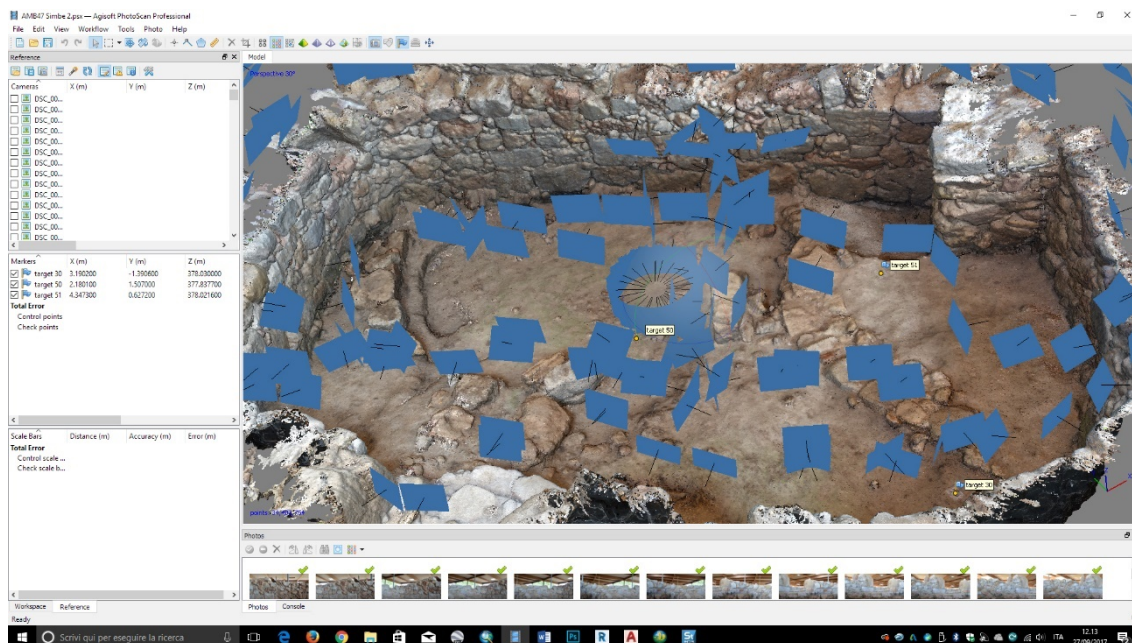


Fig. 47. L'ambiente 47 durante il processo di elaborazione fotogrammetrica

A tal proposito è stata realizzata la prima piattaforma 3D in ambiente GIS applicata all'ambiente 47, già informatizzato, tramite l'applicativo ArcScene, contenuto in ArcGIS.

Il modello 3D della capanna è stato esportato con la texture in un formato importabile nel GIS; tra le poche scelte effettuabili è stato preferito<sup>250</sup> il "Collada", acronimo di COLLABorative Design Activity con estensione .dae, in quanto formato di interscambio realizzato in codice XML e distribuito insieme al codice sorgente.

Viste le dimensioni del file, ancora troppo ampie, la mesh di questo è stata ulteriormente decimata, passando da 6.347.120 di triangoli a 1.068.544. Il valore di riduzione è stato selezionato dopo svariati tentativi, in quanto giusta via di mezzo tra grandezza (in Megabyte) e dettaglio del modello.

In questo modo si è creato il "contenitore" delle planimetrie che si presentavano però in differenti formati: raster e vettoriali. I primi erano ulteriormente divisi in cartacei, acquisiti con scanner piano e fotopiani vettorializzati. In entrambi i casi è stato poi

<sup>250</sup> Le altre soluzioni possibili prevedevano i file con estensione .wrl, .3ds, .skp.

necessario eseguire una nuova vettorializzazione finalizzata questa volta alla creazione delle superfici 3D.

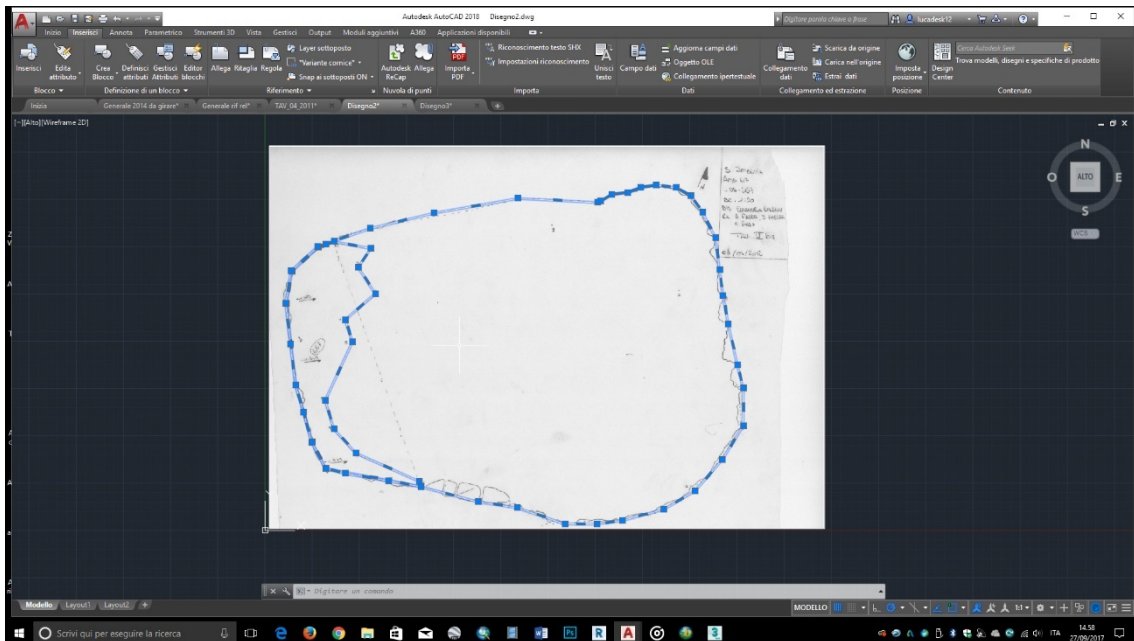


Fig. 48. La vettorializzazione dell'ambiente 47 finalizzata alla creazione delle superfici di ogni singola US da inserire nel GIS 3D.

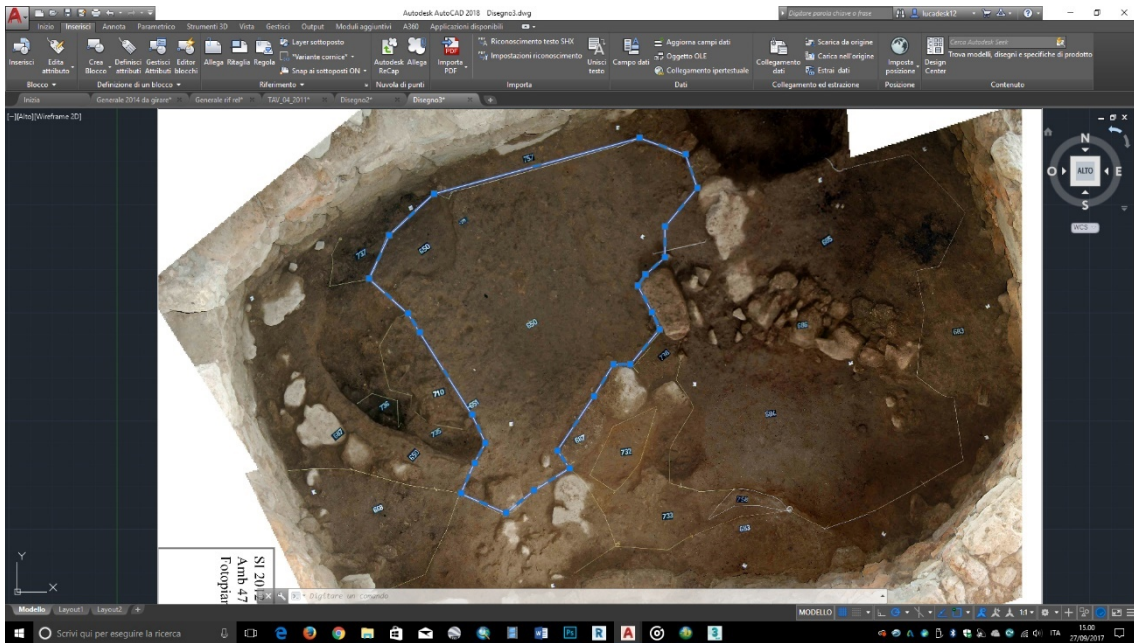


Fig. 49. La vettorializzazione di una US dell'ambiente 47 finalizzata alla creazione delle US da inserire nel GIS 3D.



Queste sono state completamente ricostruite in base alle quote, creando una sorta di modello digitale del terreno con punti molto ampi e un livello non altamente preciso e fedele alla realtà. Questa fase del lavoro è stata svolta con AutoCAD e 3DStudio Max: le planimetrie sono state rielaborate completamente, estrapolando i limiti e ricreandoli con lo strumento polilinea chiusa per i rilievi digitali, mentre i raster sono stati vettorializzati manualmente *ex novo*.

Su 3DStudio Max questo materiale è stato modellato mediante la creazione di superfici e successiva estrusione. Onde evitare di ottenere superfici orizzontali e troppo “artificiali” è stato utilizzato lo strumento “terrain” che ha prodotto delle superfici più verosimili.

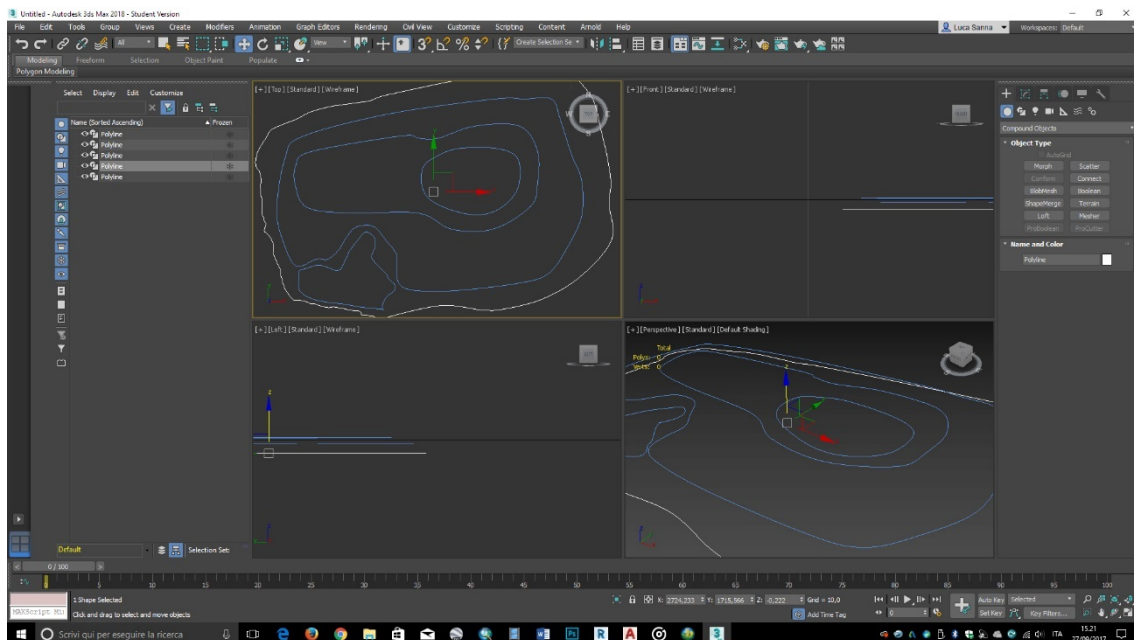


Fig. 50. L’elaborazione delle superfici relative ad ogni US con 3D Studio Max.

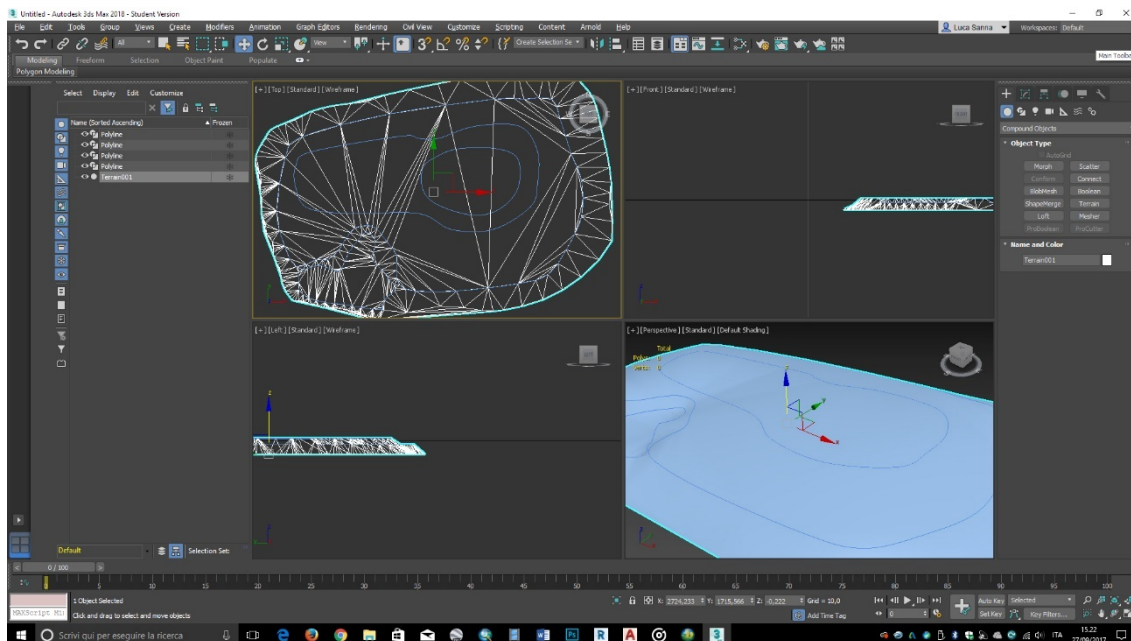


Fig. 51. L'elaborazione delle superfici relative ad ogni US con 3D Studio Max.

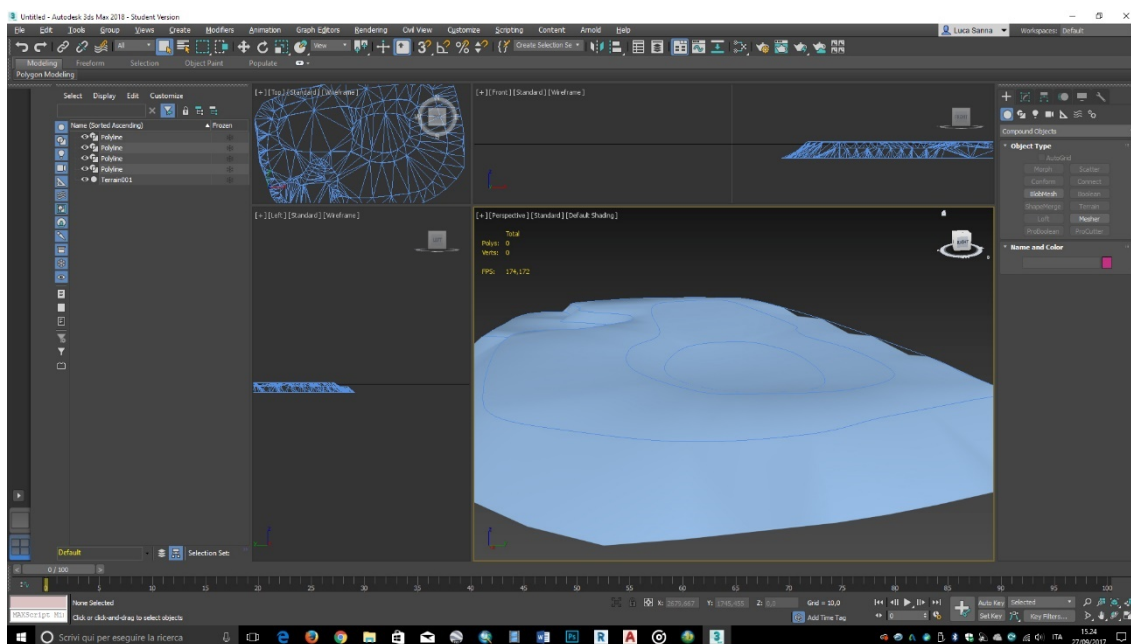


Fig. 52. L'elaborazione delle superfici relative ad ogni US con 3D Studio MAX.

Le diverse superfici, pertinenti ad ogni US, sono state sovrapposte secondo le relative quote e inserite su ArcScene secondo la sequenza stratigrafica.

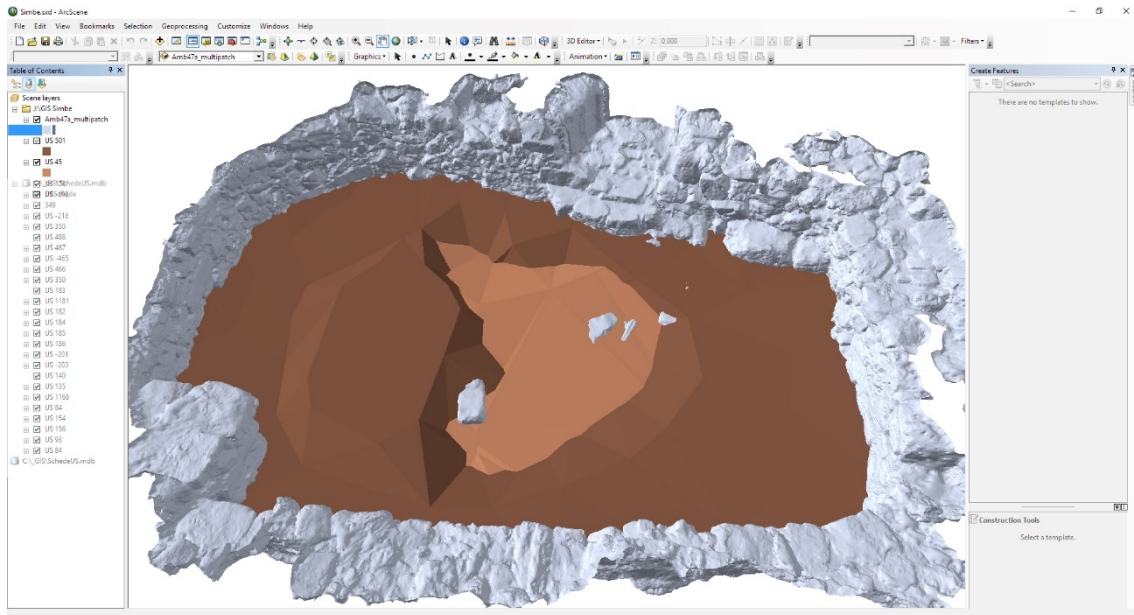


Fig. 53. Il Gis 3D dell'Ambiente 47.

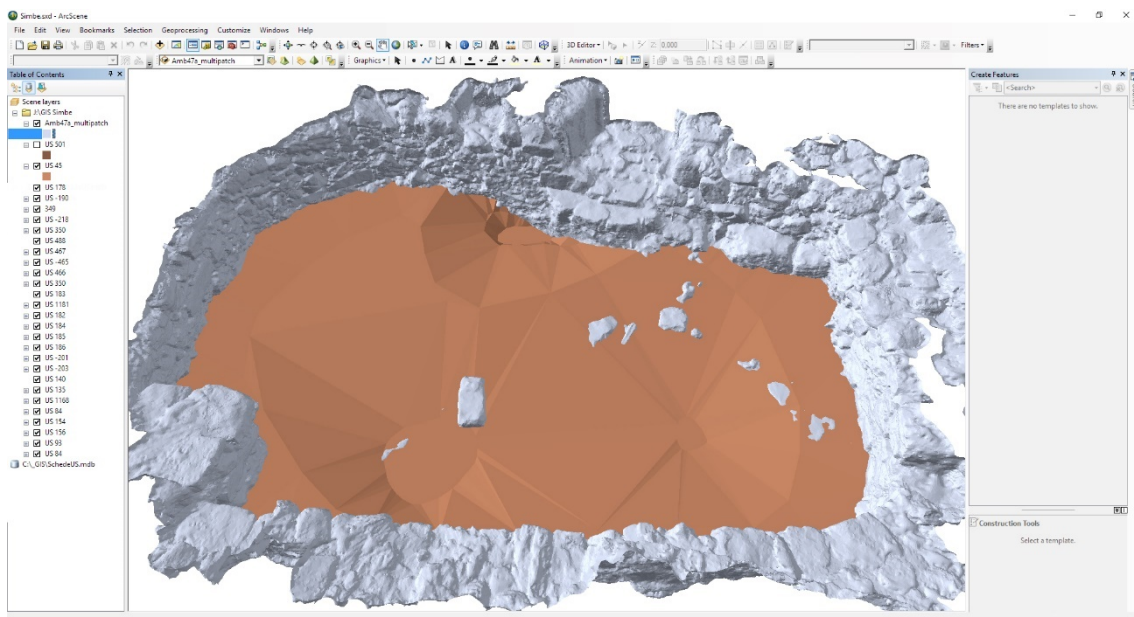


Fig. 54. Il Gis 3D dell'Ambiente 47.

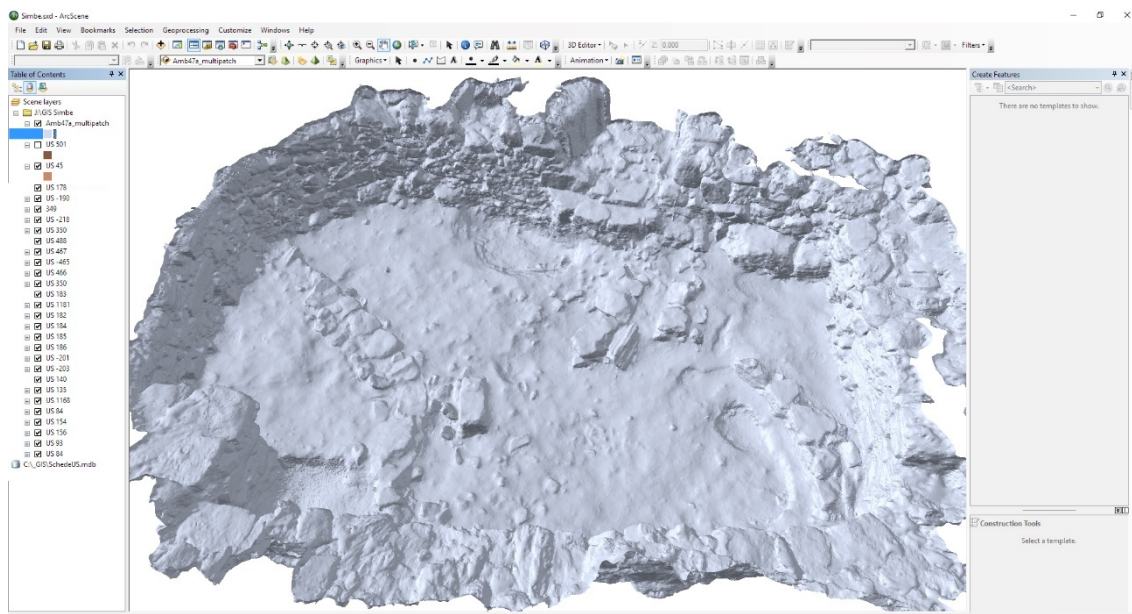


Fig. 55. Il Gis 3D dell'Ambiente 47.

Come si può vedere il risultato è parziale poiché l'elevata precisione del modello fotogrammetrico contrasta con l'approssimazione del modello digitale dell'unità stratigrafica. Si tratta di un problema già noto, laddove si parla appunto di GIS 2D e mezzo.

Al termine di questo processo misto tra analogico e digitale, tra nuvole di punti e modellazione 3D la scelta di utilizzare un sistema informativo geografico è risultata, comunque, la più sicura pur con i limiti che ancora oggi affliggono questi strumenti in ambito tridimensionale<sup>251</sup>.

Per quanto riguarda la modellazione delle unità stratigrafiche, probabilmente si sarebbe potuto ottenere un risultato migliore, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto visivo. Tuttavia si è preferito riportare il dato grezzo (pur con quel minimo di soggettività che subentra nella lettura di una pianta cartacea o di un'immagine) ed evitare modifiche che avrebbero comunque alterato il dato archeologico acquisito con la strumentazione analogica.

<sup>251</sup> LAURENZA, PUTZOLU 2001, pp. 209-216

Se il GIS tradizionale resta comunque una “casa sicura” per quei dati che ancora vanno revisionati e ulteriormente raffinati per il passaggio al digitale, quello 3D è ancora troppo chiuso in sé stesso, con poche possibilità di interscambio e gestione di dati aperti.

Tuttavia il test effettuato sull’Ambiente 47 si è rivelato uno strumento dalle considerevoli potenzialità, certamente ancora utile al fine della gestione di una documentazione archeologica mista tra digitale e analogico.

È chiaro che una metodologia simile avrebbe maggiore peso se si disponesse dei modelli tridimensionali di tutte le US scavate, senza la necessità di dover modellare *ex novo* delle superfici che chiaramente non contengono il medesimo potenziale informativo di un rilievo.

Tale processo di analisi ha contemplato l’utilizzo di un metodo naturalmente destinato ad evolversi in un contesto di ricerca multidisciplinare e multilivello, capace di sviluppare una *pipeline* lineare completa, dalla nuvola di punti alla consultazione online dei modelli 3D per scopi scientifici, all’applicazione videoludica di archeologia virtuale.

## 2.8 La divulgazione attiva

“Tutti i sistemi di visualizzazione *computer-based* devono essere essenzialmente trasparenti, verificabili da altri ricercatori o professionisti, poiché la validità – e quindi la finalità – delle conclusioni prodotte da tali visualizzazioni dipenderà in gran parte dalla capacità degli altri di confermare o rifiutare i risultati ottenuti (Principio N. 7 della Carta di Siviglia)<sup>252</sup>”.

È questo l’obiettivo che si è cercato di raggiungere durante questo lungo percorso, rispettando il più possibile le linee guida della suddetta carta, documentando qualsiasi attività svolta col fine di rendere il lavoro effettuato più trasparente possibile e cercando di non tralasciare alcun aspetto legato alle potenzialità della *Computer Vision*.

---

<sup>252</sup> GABELLONE 2012

Il naturale approdo di questo percorso di ricerca è rappresentato dall'archeologia virtuale, per le doti comunicative della disciplina e la mole di dati acquisiti durante le campagne di scavo.

Gli strumenti sono stati forniti dalle tecnologie di *authoring* integrato multiplatforma utilizzate per la creazione di videogiochi 3D, contenute nel software utilizzato, la cui versatilità permette di visualizzare contenuti interattivi e animazioni 3D in tempo reale.

Nella fattispecie il candidato selezionato è stato l'applicativo Unity<sup>253</sup>, un sistema multiplatforma<sup>254</sup> disponibile anche con un web player on line, legato all'estensione di Adobe Flash, che permette una diffusione globale sulla maggior parte dei browser attualmente in circolazione<sup>255</sup>.

Unity, che consente di utilizzare un editor molto basilico per la progettazione di contenuti, è impiegato in archeologia perché disponibile di un motore di gioco per l'esecuzione di ambientazioni multimediali.

Il *game engine* di Unity 3D ha permesso, mediante il suo motore di gioco, la creazione di una piattaforma su cui caricare i numerosi contenuti interattivi, soprattutto scientifici, che la ricerca a Sant'Imbenia ha prodotto.

La scelta su Unity è ricaduta principalmente per la sua apertura ad un gran numero di formati di file provenienti dalla maggior parte dei programmi di grafica, sia proprietari che open source, quali Maya, 3DS Max, Blender, ecc.

Unity è capace di gestire in maniera nativa l'interattività tramite *script* definiti dal compilatore, il quale associa i vari oggetti della scena ad azioni attivabili da un click del mouse, dalla pressione di un tasto sulla tastiera o semplicemente avvicinandosi all'oggetto.

---

<sup>253</sup> <https://unity3d.com/>

<sup>254</sup> Produce applicativi per sistemi operativi Microsoft Windows e MacOS che girano su Microsoft Windows, Mac, Linux, Xbox 360, PlayStation 3, PlayStation Vita, Wii, iPad, iPhone, Android, Windows Mobile, Playstation 4, Xbox One e Wii U.

<sup>255</sup> Fino a qualche anno fa Flash Player, assieme a pochi altri plug-in, permetteva di integrare applicazioni multimediali nelle pagine web, diventando *de facto* uno standard dopo la nascita e la diffusione di YouTube.

La definizione di forza di gravità e la gestione delle collisioni, fondamentale per impedire all'avatar l'attraversamento dei muri, sono funzioni con le quali ci si deve confrontare durante la programmazione di tali strumenti.

L'interfaccia di Unity 3D, molto simile ai più diffusi applicativi di modellazione 3D, permette agevolmente di districarsi tra le particolarità del sistema e le opzioni meno visibili.

Il sistema funziona in modalità multilivello, con un elenco di oggetti presenti nella scena e i vari "Assets" che consentono la gestione del sistema mediante script, texture e vari componenti di gioco distribuiti da Unity.

La decisione dello *storyboard* per Sant'Imbenia è stata dettata dalla bibliografia prodotta: innanzitutto si è lavorato sulla topografia dell'abitato ovvero sui dati oggettivi. Successivamente sono stati analizzati il dato archeologico e l'interpretazione dello stesso, collocandolo entro un determinato range cronologico e culturale. Il terzo livello di analisi si è soffermato sulle interpretazioni ovvero su quei dati che, mediante la metodologia archeologica, è possibile desumere dallo scavo.

Tutto questo si è tradotto in un primo tentativo che vedeva la collocazione del nuraghe e del relativo abitato esattamente nel luogo in cui si trova topograficamente. Ma in tal modo il richiamo al collegamento tra il nuraghe e il mare e la sua funzione di controllo sulla baia di Porto Conte però venivano a mancare<sup>256</sup>. Se l'obiettivo di un sistema multimediale applicato ad un monumento è anche quello di enfatizzare le peculiarità del sito, ma la decisione di far partire il percorso dell'avatar dal mare, quasi fosse un mercante arrivato a proporre le sue merci, non ha funzionato in quanto il mare risultava troppo lontano e per raggiungere il nuraghe erano necessari circa due minuti. Tale lasso di tempo all'interno di un gioco che prevede il movimento in un'area ricoperta presumibilmente da macchia mediterranea, senza poter creare alcuna interazione, fece desistere da questa prima soluzione.

---

<sup>256</sup> GARAU, RENDELI 2012, GARAU *et al* 2015.

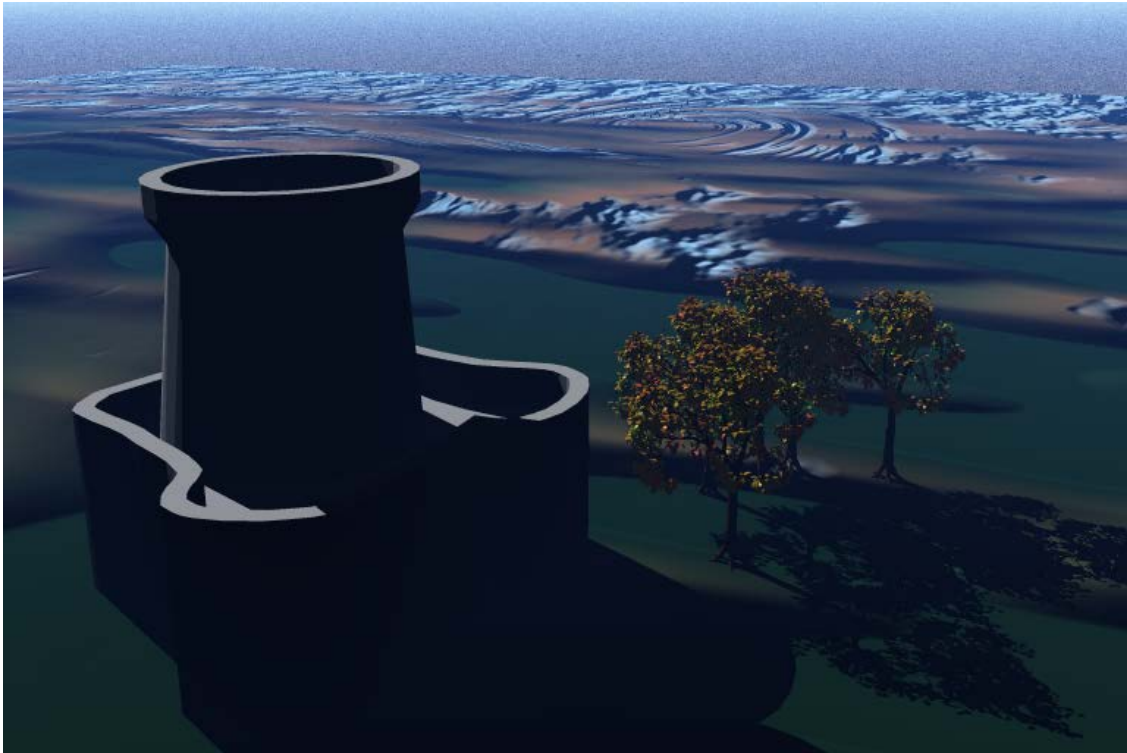


Fig. 56. Una delle prime rappresentazioni dell'area di Sant'Imbenia. Il progetto è stato poi modificato

Un suggerimento utile è stato offerto dal rilievo fotogrammetrico realizzato grazie al volo più in quota effettuato dall'elicottero dei Carabinieri del Nucleo Tutela Patrimonio Culturale del 2008. Tale rilievo ha costituito la base per il sistema virtuale

Se non viene rispettata una ricostruzione filologicamente corretta, si è tuttavia cercato di proporre sistemi di visualizzazione computer-based “essenzialmente trasparenti, ad esempio verificabili da altri ricercatori o professionisti, dato che la validità – e quindi la finalità – delle conclusioni prodotte da tali visualizzazioni dipenderà in gran parte dalla capacità degli altri di confermare o rifiutare i risultati ottenuti.”<sup>257</sup>

La scelta, anche in questo caso, è stata dettata dalla pratica sul campo che ha permesso di sottoporre a giudizio del lavoro degli esperti in materia: è stato infatti chiesto il supporto di alcuni giovani parenti e figli di amici, i quali, ostentando conoscenza di applicativi

---

<sup>257</sup> Cfr. nota 248, principio N. 7 della Carta di Siviglia.



videoludici, hanno bocciato *in toto* l'applicazione<sup>258</sup>. Tale bocciatura è stata in gran parte determinata dall'impossibilità di "uccidere" o "disintegrare" alcun nemico, ma la nota più dolente è risultata quella del "lungo e noioso" percorso da seguire per arrivare al nuraghe.

Si è quindi elaborata una nuova versione del videogioco riducendo le dimensioni del sito e avvicinando lo stesso al mare; tale soluzione ha trovato riscontro positivo presso i giovani revisori, dai quali è stata definita "carina".

Nella pratica del lavoro il palinsesto realizzato si basa sulle proporzioni reali del sito, grazie all'enorme quantità di materiale digitale elaborato in questi anni di attività sul campo.

Oltre alla creazione della struttura portante, costituita dall'abitato, l'aggiunta dei dettagli è stata possibile grazie ai materiali e alle texture disponibili, anche gratuitamente, nello shop di Unity.

È, infatti scaricabile a titolo gratuito, o a pagamento, un grande numero di oggetti digitali creati da utenti Unity che mettono a disposizione le loro abilità di modellatori per la community.

Dopo aver preso visione dei numerosi tutorials disponibili in rete e aver scaricato qualche valido esempio completo, si è iniziato a processare le nuvole di punti con il fine di alleggerirle e poterle inserire all'interno di Unity.

Le prime elaborazioni del sito risultano molto schematiche; sulla base del rilievo 3D si è cercato di utilizzare il modello per implementare la struttura già rilevata ed "aggiungere" le ricostruzioni. Poiché tali elaborazioni sono apparse assai laboriose e imperfette dal punto di vista visivo, si è preferito lavorare su planimetrie verificate ed eventualmente corrette grazie al rilievo laser scanner e su queste impostare il modello 3D.

---

<sup>258</sup> Per l'occorrenza l'applicativo è stato sottoposto all'attenzione dei giovani cugini dello scrivente.

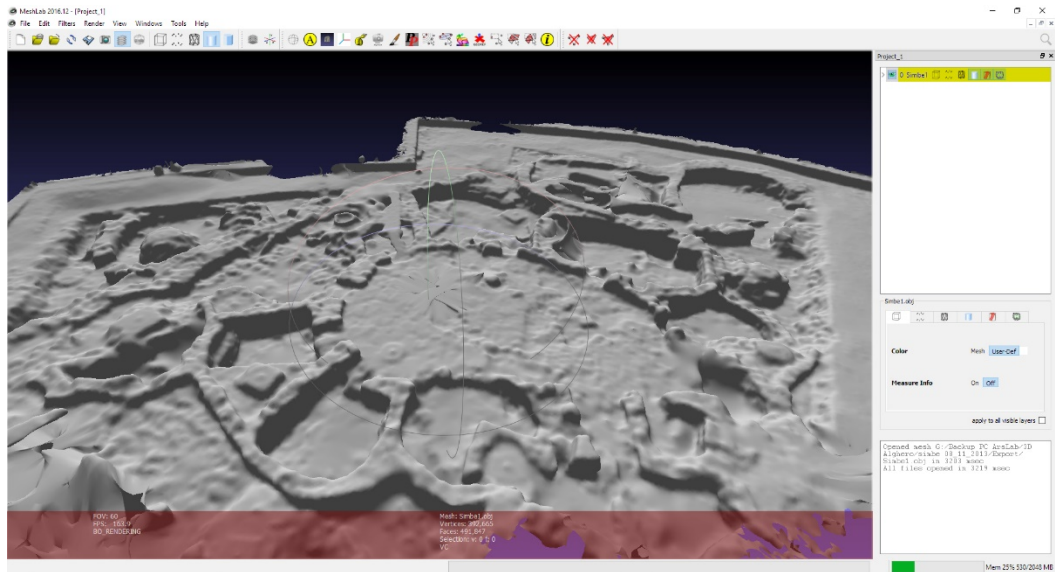


Fig. 57. L'esportazione del rilievo laser scanner 3D ad una risoluzione inferiore finalizzato alla ricostruzione del sito

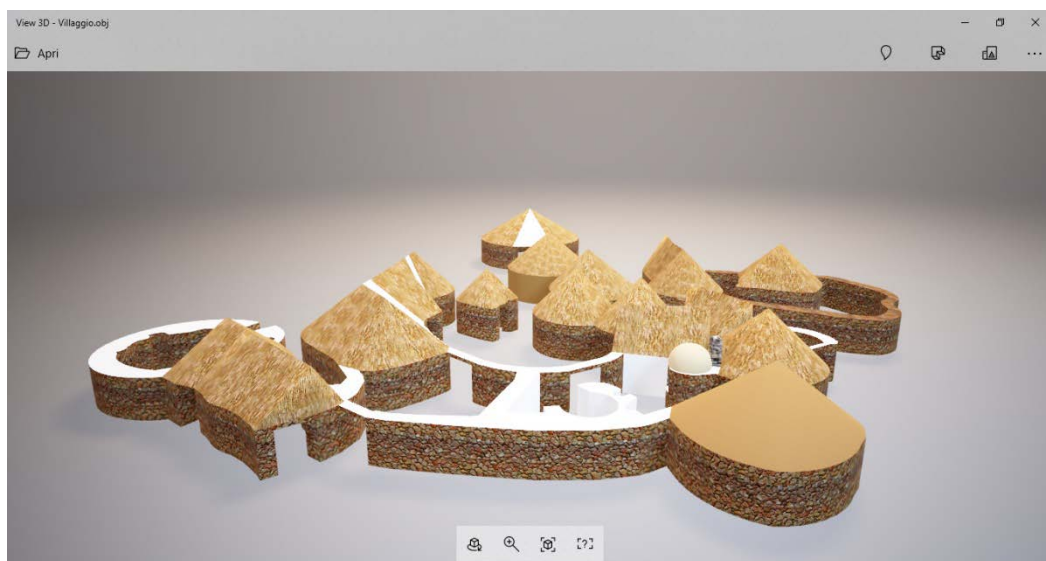


Fig. 58. La base della ricostruzione realizzata sul rilievo laser scanner 3D ad una risoluzione inferiore

Col fine di prendere confidenza con gli strumenti di Unity la prima ricostruzione è stata realizzata con Sketchup, software tendenzialmente ritenuto inizialmente di basso livello, ma attualmente sempre più utilizzato in contesti di BIM e di modellazione urbana.

Successivamente sono stati utilizzati i sistemi di modellazione di 3D Studio Max, talvolta sullo stesso lavoro già implementato su Sketchup.

Il risultato consiste in un “videogioco” nel quale sono possibili alcuni approfondimenti attraverso degli script che permettono di illustrare dettagli e particolari degli ambienti visitati, ma anche notizie e approfondimenti pertinenti allo scavo. Il tutto in totale libertà di movimento e di interazione con il sistema.



Fig. 59. Alcune vedute della ricostruzione virtuale del sito di Sant'Imbenia.



Fig. 60. Vedute generale sulla ricostruzione del sito di Sant'Imbenia.

## 2.9 Il materiale prodotto

La piattaforma documentale digitale in tre dimensioni, realizzata nel sito di Sant'Imbenia, mediante la combinazione di tecniche *image-based* e *range-based*, ha rappresentato lo scheletro della ricerca svolta per la presente tesi.

Le possibilità tecnologiche sperimentate hanno permesso di spaziare dalla documentazione di scavo alle numerose funzionalità multimediali, atte a elaborare, condividere e distribuire dati e contenuti culturali, nell'ottica di una disseminazione globale delle informazioni, rivolta a qualsiasi utente, ricercatore o semplice consumatore di conoscenza, al fine di garantire diverse forme di accesso all'informazione.

La progettazione delle differenti infrastrutture multimediali realizzate nella presente ricerca è stata possibile grazie alla piattaforma documentale fornita dal rilievo tridimensionale effettuato.

Il lavoro di documentazione svolto nel sito di Sant'Imbenia è stato sviluppato su differenti scale grazie ai *dataset* acquisiti sia da terra che in volo, talvolta per scopi differenti da quelli legati alla ricostruzione fotogrammetrica del sito.

Ogni singolo elaborato è stato realizzato, spesso dopo molti tentativi, allo scopo di rappresentare lo stato dell'area archeologica in esame e le modificazioni apportate dal tempo e dall'uomo.

In archeologia la rappresentazione di un monumento o di un sito si effettua contestualmente al processo di documentazione e analisi, a partire dalla pianificazione del rilievo alla realizzazione del prodotto finale, in due o tre dimensioni, a seconda degli obiettivi e delle tecnologie disponibili e del supporto, cartaceo o digitale, che si vuole utilizzare.

La scala che analizza la porzione più ampia del territorio di Porto Conte è stata realizzata tramite la piattaforma GIS al fine d'inquadrare il sito e di analizzarlo compiutamente in relazione all'areale di riferimento.

La piattaforma è stata elaborata sovrapponendo alla cartografia IGM 1:25.000 il mosaico del modello digitale del terreno fornito dal Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna con passo di campionamento di 1 m.

Dal raster ottenuto unendo le singole porzioni del territorio intorno al sito di Sant'Imbenia è stato possibile ricrearne in tre dimensioni l'orografia mediante la conversione del raster stesso in un modello di superfici TIN (Triangulated Irregular Network), sul quale sono stati applicati degli algoritmi in grado di simulare l'intervisibilità tra il sito e il suo territorio.

L'elaborato finale è rappresentato da un file proprietario del *software* utilizzato, nel nostro caso ArcGis, con estensione .mxd o .sxd, rispettivamente generati da ArcMap e ArcScene (quest'ultimo applicativo permette la visualizzazione e l'elaborazione dei dati GIS in tre dimensioni grazie all'estensione 3D *analyst*).

È stato possibile esportare rappresentazioni di tale elaborazione sia in due che in tre dimensioni. In 2D sono state redatte carte di visibilità sulla base dell'IGM (immagini raster), integrata dai tematismi disponibili nel Geoportale (idrografia, uso del suolo, ecc.) e dai layer realizzati ad integrazione dell'analisi (il sito di Sant'Imbenia è stato messo in relazione con gli insediamenti nuragici della stessa fase cronologica posti a breve distanza)<sup>259</sup>. Per tale scopo sono stati utilizzati file raster in diversi formati e risoluzione

---

<sup>259</sup> Purtroppo non esiste uno studio territoriale completo. Per la bibliografia di riferimento e per l'analisi insediativa del territorio in esame si veda ALBA 2012; GARAU 2012 con bibl. prec.

sui quali è possibile applicare un *layout* e un fattore di scala per ottenere una stampa cartacea in qualsiasi formato.

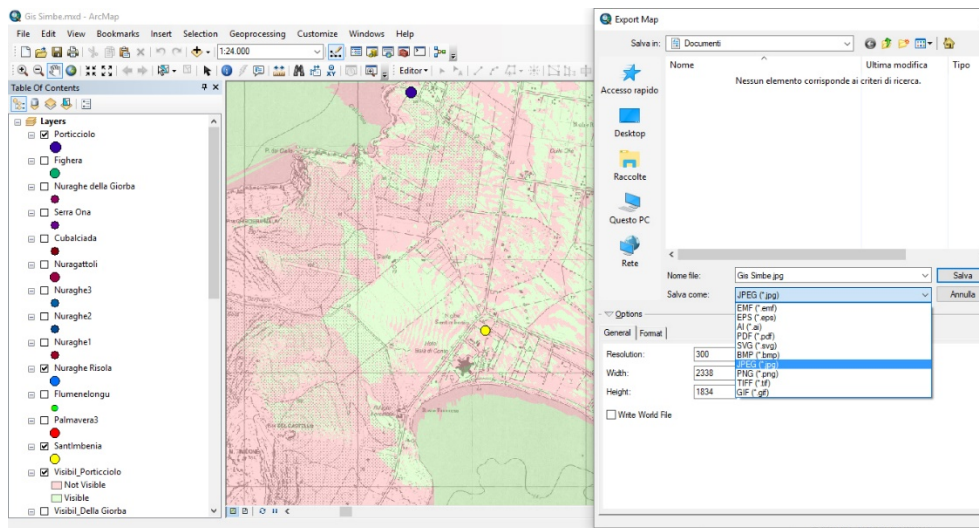


Fig. 61. La piattaforma GIS dell'area di Porto Conte, ove sorge il sito di Sant'Imbenia.

L'esportazione delle elaborazioni in tre dimensioni è avvenuta con il software ArcScene, che di default ha la possibilità di esportare nel formato .wrl, nato nel 1994 per un impiego sul Web divenuto ormai obsoleto e non più sviluppato. Poiché scegliere quest'opzione avrebbe significato produrre un oggetto digitale incongruente rispetto al percorso di ricerca svolto, si è optato di procedere utilizzando l'estensione *Data interoperability*, che ha permesso, attraverso alcune operazioni di codifica del TIN, l'esportazione in formato .obj e .3ds.

Grazie a questa conversione è possibile utilizzare i file 3D realizzati in ambiente GIS in qualsiasi piattaforma *software* capace di gestire tali formati.

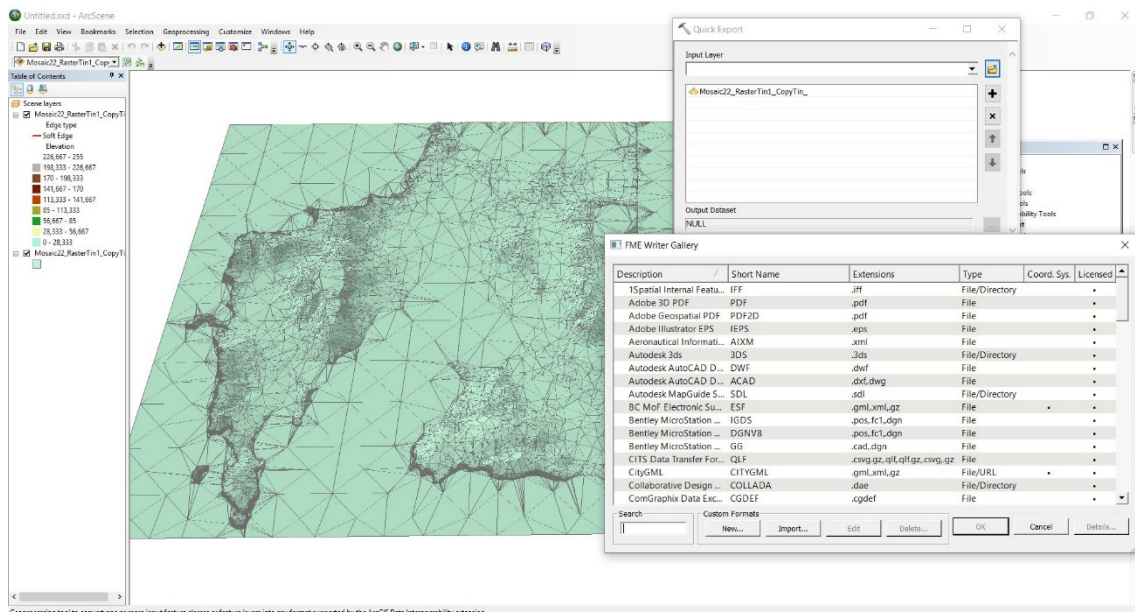


Fig. 62. La piattaforma GIS 3D dell'area di Porto conte, ove sorge il sito di Sant'Imbenia

I rilievi fotogrammetrici realizzati grazie alle immagini acquisite dal sorvolo effettuato in collaborazione col Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale della Sardegna nel 2008 e con il SAPR nel 2017 hanno permesso di intervenire su una porzione più ristretta di territorio, limitrofa al villaggio nuragico in esame.

Attraverso tali rilievi è stato possibile produrre un modello digitale del terreno ad alta risoluzione, un'ortofoto con un GSD che varia tra gli 11 cm (per gli elaborati realizzati dall'elicottero) e i 6.6 mm (per quelli realizzati dal drone) e tre modelli tridimensionali. Da questi ultimi sono state estrapolate sezioni orizzontali e verticali (in formato vettoriale \*.dwg), utili per la documentazione archeologica dell'area.

Sempre nel sito di Sant'Imbenia i rilievi con il laser scanner hanno permesso di creare una rete topografica precisa e affidabile da cui ricavare i capisaldi per la calibrazione dei rilievi fotogrammetrici realizzati per tutti gli ambienti indagati negli anni Duemila.

È stato inoltre possibile ricavare sezioni, orizzontali e verticali, in file vettoriale (\*.dwg) per la documentazione dell'area di scavo sottostante la copertura di protezione e delle prospettive (*bubble view*) per navigare all'interno delle scansioni mediante il software della Autodesk Recap. Pur non trattandosi di un applicativo *open source*, esso è disponibile gratuitamente con licenza docente-studente ed è l'unico in grado di operare

con le nuvole di punti generate dal laser scans Z+F in dotazione senza la necessità del software proprietario Z+F Laser Control.

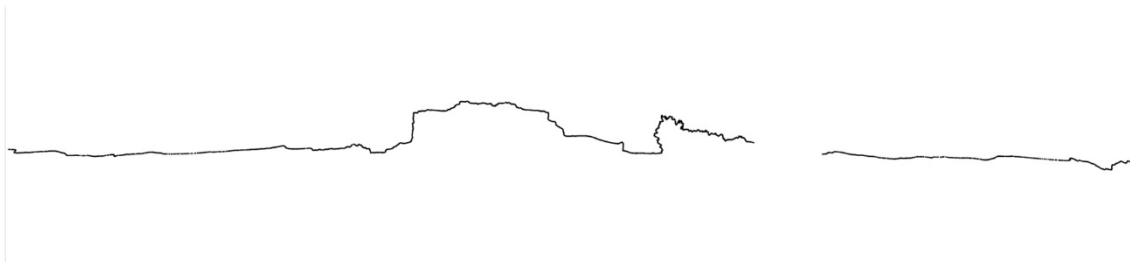
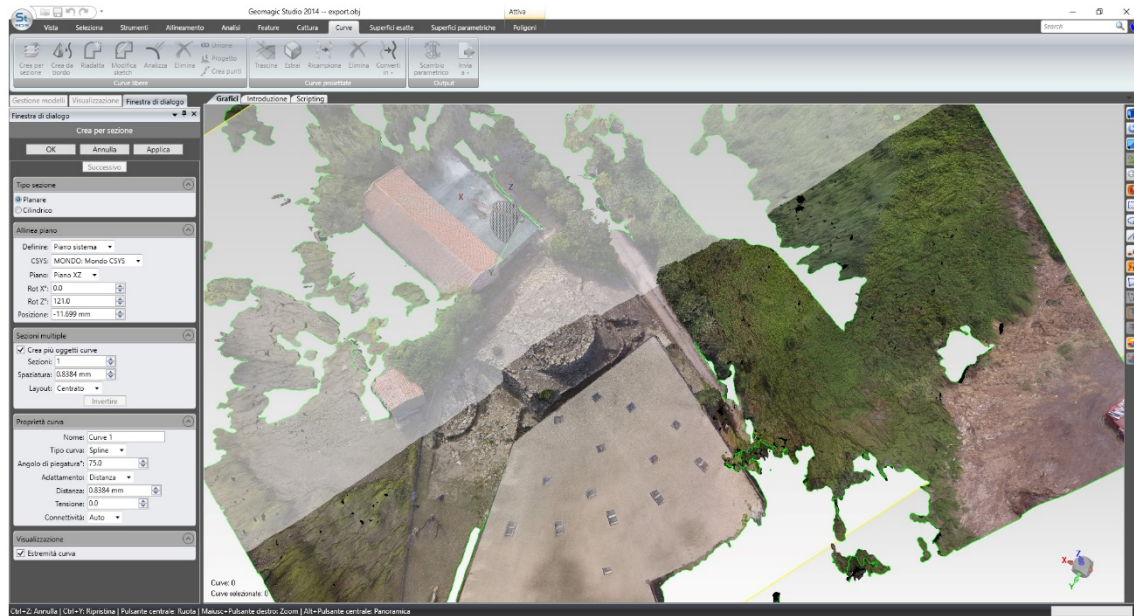


Fig.63. La realizzazione di sezioni da modelli 3D dell'area di Sant'Imbenia.

Per gli ambienti rilevati mediante fotogrammetria la calibratura è avvenuta tramite l'utilizzo di marker acquisiti con la stazione totale oppure ricavando dei capisaldi dalle coordinate prelevate dalla nuvola di punti generata dal laser scanner.

Nel sito di Sant'Imbenia sono stati realizzati i rilievi fotogrammetrici 3D di ventitrè aree indagate, i fotopiani e le relative sezioni orizzontali e verticali in formato vettoriale.



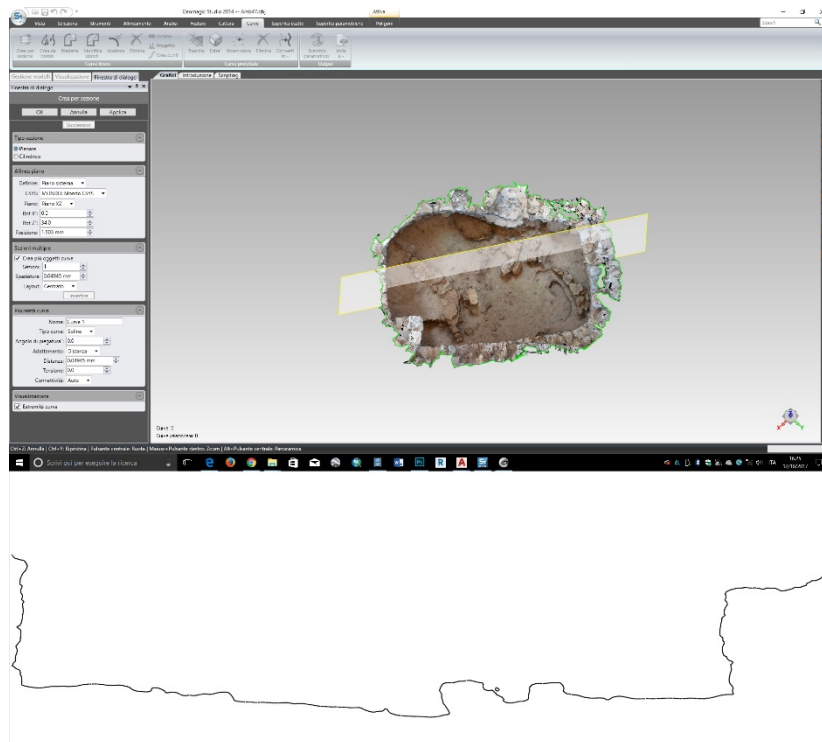


Fig. 64. La realizzazione di sezioni da modelli 3D dell'Ambiente 47.



Fig.65 Il fotopiano dell'ambiente 47.

L'intero materiale tridimensionale prodotto, doverosamente semplificato nelle forme e decimato nella *mesh* che lo componeva, è stato utilizzato per creare una piattaforma di *game engine* finalizzata alla realizzazione di una visita virtuale interattiva all'interno del villaggio così come esso poteva apparire tra VIII e VII secolo a.C. circa.

Unity3D permette di creare ambientazioni virtuali interattive all'interno delle quali è possibile muoversi liberamente come in un videogioco FPS (in prima persona - *First Person Shooter*).

L'ambientazione virtuale può essere salvata su PC con sistema operativo MacOS o Windows, ma, grazie all'integrazione con Flash, è utilizzabile anche via Web, che ne permette quindi una diffusione globale.

Uno degli obiettivi di questa tesi è, infatti, quello di mostrare le potenzialità che può offrire la *Computer Vision* applicata ai beni culturali, utilizzando gli stessi elaborati digitali prodotti per documentare lo scavo archeologico.

Tali potenzialità oggi esprimono maggiore efficacia grazie alla rete e alla diffusione che i supporti virtuali sopra citati possono offrire in termini di diffusione del patrimonio culturale.

## 2.10 Le schede metadati

### Scheda 1

Modello 3D del territorio intorno al nuraghe e al sito di Sant'Imbenia, nel territorio comunale di Alghero (SS). Nuraghe complesso con insediamento pluristratificato composto di numerosi ambienti indagati tra gli anni '80 e il 2015. Il sito nasce durante l'età del Bronzo e ha una continuità fino all'Età del Ferro (XIV-VI sec. a.C.).

#### Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari, Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
Europeana Rights	Free access no re use
Spatial	<a href="https://pleiades.stoa.org/places/783133250">https://pleiades.stoa.org/places/783133250</a>
Start Date	XIV BC
End Date	VI BC
Period Name	Bronze age-Iron age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/aat/300005727">http://vocab.getty.edu/aat/300005727</a>

#### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model Nuraghe Sant'Imbenia
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

#### Paradata Activity 1

LUCA SANNA  
Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.  
Problematiche e metodologie proposte.  
Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo  
Università degli Studi di Sassari

Metadata	Information
Name	Acquisition
Description	61 photos have been shot from different points of view by Nikon D40 Camera with 18-55mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 386 mt.
Purpose	Aerial survey for Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale
Techniques	metric survey
Equipment	helicopter
Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist

### Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud and to build a textured dense surface model.
Purpose	3D model creation
Techniques	metric survey, points triangulation, Scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	helicopter, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist

### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	helicopter, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist

## Scheda 2

Modello 3D del territorio intorno al nuraghe e al sito di Sant'Imbenia, nel territorio comunale di Alghero (SS). Nuraghe complesso con insediamento pluristratificato composto di numerosi ambienti indagati tra gli anni '80 e il 2015. Il sito nasce durante l'età del Bronzo e ha una continuità fino all'Età del Ferro (XIV – VI sec. a.C.).

Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
Europeana Rights	Free access no re use
Spatial	<a href="https://pleiades.stoa.org/places/783133250">https://pleiades.stoa.org/places/783133250</a>
Start Date	XIV BC
End Date	VI BC
Period Name	Bronze age-Iron age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/aat/300005727">http://vocab.getty.edu/aat/300005727</a>

#### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model Nuraghe Sant'Imbenia
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

#### Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	Acquisition
Description	26 photos have been shot from different points of view by Nikon D40 Camera with 18-55mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 287 mt.
Purpose	Aerial survey for Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale
Techinques	metric survey
Equipment	helicopter

Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist
-------	---

### Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud and to build a textured dense surface model.
Purpose	3D model creation
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	helicopter, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist

### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	helicopter, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, freelance archaeologist

### Scheda 3

Modello 3D del nuraghe e del sito di Sant’Imbenia, nel territorio comunale di Alghero (SS). Nuraghe complesso con insediamento pluristratificato composto di numerosi ambienti indagati tra gli anni '80 e il 2015. Il sito nasce durante l’età del Bronzo e ha una continuità fino all’Età del (XIV – VI sec. a.C.).

#### Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS

Europeana Rights	Free access no re use
Spatial	<a href="https://pleiades.stoa.org/places/783133250">https://pleiades.stoa.org/places/783133250</a>
Start Date	XIV BC
End Date	VI BC
Period Name	Bronze age-Iron age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/aat/300005727">http://vocab.getty.edu/aat/300005727</a>

### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model Nuraghe Sant'Imbenia
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy <a href="mailto:rendeli@uniss.it">rendeli@uniss.it</a>
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

### Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	Acquisition
Description	116 photos have been shot from different points of view by FC300X Camera with 3.61 mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 34 mt.
Purpose	documentation
Techinques	metric survey
Equipment	DJI Phantom 3 Pro Drone
Actor	Vincenzo Palleschi, person, researcher Laboratorio di Spettroscopia Laser e Applicata dell'Istituto di Chimica dei Composti Organometallici del CNR di Pisa.

### Paradata Activity 2

LUCA SANNA  
 Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.  
 Problematiche e metodologie proposte.  
 Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo  
 Università degli Studi di Sassari

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud ant to build a textured dense surface model.
Purpose	3D model creation
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	DJI Phantom 3 Pro Drone, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	DJI Phantom 3 Pro Drone, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

### Scheda 4

Modello 3D dell'ambiente 47 nel sito di Sant'Imbenia, territorio comunale di Alghero (SS). Nuraghe complesso con insediamento pluristratificato composto di numerosi ambienti indagati tra gli anni '80 e il 2015. L'ambiente assume tali caratteristiche nel corso dell'Età del Ferro (secoli IX-VIII a.C.), quando il villaggio, nell'ambito di un progetto di ristrutturazione generale, venne diviso in isolati e i vani vennero organizzati attorno a un grande spazio centrale aperto.

Heritage Asset

Metadata	Information
----------	-------------



Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
Europeana Rights	Free access no re use
Spatial	<a href="https://pleiades.stoa.org/places/783133250">https://pleiades.stoa.org/places/783133250</a>
Start Date	IX BC
End Date	VIII BC
Period Name	Iron age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/aat/300005727">http://vocab.getty.edu/aat/300005727</a>

#### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model Nuraghe Sant'Imbenia
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Marco Rendeli Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy Italy rendeli@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

#### Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	Acquisition
Description	136 photos have been shot from different points of view by Nikon D5100 Camera with 18-55mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 2 mt.
Purpose	documentation
Techinques	metric survey
Equipment	Manfrotto tripod
Actor	Luca Sanna, person, PhD student

### Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud ant to build a textured dense surface model, calibration performed with Laser scanner Z+F 5006h and total tation Leica Geosystems TPS400 data
Purpose	3D model creation
Techinques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	Manfrotto tripod, Laser scanner Z+F 5006h, total tation Leica Geosystems TPS400, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techinques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	Manfrotto tripod, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

## Cap. 3

### La chiesa e il monastero di Salvennor (Ploaghe-SS)

#### 3.1 Il contesto storico

La diffusione del monachesimo in Sardegna durante l'Alto Medioevo non è supportata da numerose attestazioni documentarie scritte. Le scarse notizie permettono tuttavia di caratterizzare le primissime forme monastiche dei primi secoli dopo Cristo con un forte ascetismo, derivante dalla pedissequa imitazione della vita di Gesù Cristo narrata nel Vangelo.

Tale fenomeno in Sardegna trova le prime (e rare) attestazioni a Cagliari nel VI secolo con l'arrivo dell'esule Fulgenzio, vescovo di Ruspe, in Tunisia che, cacciato dai sovrani vandali, impiantò una comunità religiosa di monaci intorno alla chiesa di San Saturnino<sup>260</sup>.

Esigue sono le attestazioni riguardanti gli insediamenti monastici in Sardegna in epoca bizantina. Solo nel X secolo l'isola, pur nominalmente sotto il governo di Bisanzio, guadagnerà la sua autonomia politica e volgerà i suoi interessi verso la cristianità latina<sup>261</sup>. Una seconda, importante, ondata di migrazione di monaci dall'Italia alla Sardegna avvenne nell'XI secolo: è, infatti, dal 1063 che le cronache descriveranno dei rapporti tra i giudici e le istituzioni monastiche del continente, con la richiesta del giudice Barisone I di Torres a Montecassino, alla quale seguì l'invio di dodici monaci e di un abate per realizzare la prima fondazione benedettina in Sardegna.

Purtroppo questa prima operazione non avrà successo in quanto i monaci, partiti da Gaeta, vennero intercettati e depredati dai Pisani, che, nel perseguimento della loro politica, mal tolleravano l'insediamento dei monaci nell'isola<sup>262</sup>.

A una nuova richiesta dello stesso Barisone fece seguito, nel 1065, l'invio di due monaci che vennero accolti con grande entusiasmo e ricevettero dal giudice la chiesa di Santa

---

<sup>260</sup> MARTORELLI 2010, p. 43.

<sup>261</sup> SANNA 2014, p. 33.

<sup>262</sup> SODDU, DE SANTIS 2009, p. 360, nota 32.

Maria di Bubalis e di Sant'Elia di Montesanto «*cum integro ipso monte [...] cum colonis et servis quamplurimis et cum substantiis ac possessionibus magnis*»<sup>263</sup>.

Da questo momento le comunità monastiche fiorirono numerose, soprattutto nel nord dell'isola, legate alle congregazioni monastiche dei Cassinesi, Vittorini e Camaldolesi fino ai primi decenni del XII secolo; a questi si aggiunsero poi Vallombrosani e Cistercensi dalla seconda metà del XII e fino ai primi decenni del XIII secolo<sup>264</sup>.

In questo fenomeno si colloca la fondazione della chiesa di San Michele Arcangelo, a poche centinaia di metri dalla *villa* di Salvennor, nella *curatoria* di *Figulinas*, appartenente alla diocesi di Ploaghe<sup>265</sup>.

Il villaggio di Salvennor compare per la prima volta nelle fonti in un documento del 1113, all'interno del *Codex Diplomaticus Sardiniae*, con atto trascritto appunto "a *Salbennor*", il 13 settembre, in cui Costantino I de Lacon e sua moglie Marcusa de Gunale ordinano che le chiese di Santa Maria e di San Nicolò de Soliu vengano unite in una unica pievania<sup>266</sup>.

Consistenti invece le citazioni nell'omonimo condaghe: delle 321 schede che compongono il registro redatto nel monastero vallombrosano tra il 1125 e il 1138 oltre la metà si riferiscono alla *villa* e al suo territorio<sup>267</sup>.

Il toponimo ricompare poi nel 1193 in un elenco di arcivescovadi, vescovadi, giudicati, chiese e monasteri in Sardegna sottoposti al pagamento di un canone annuo di una libbra d'argento alla Chiesa Romana da parte del priore del villaggio di *Salvennor*<sup>268</sup>.

Nel corso dei secoli XII-XIII la località viene ricordata in cinque schede del Condaghe del monastero femminile di San Pietro di *Silki*<sup>269</sup>, e più volte nel Condaghe di San Michele di *Salvennor*<sup>270</sup>.

---

<sup>263</sup> TURTAS 2012, pp. 1-49; SODDU, DE SANTIS 2009, p. 353.

<sup>264</sup> SANNA 2014, p. 34.

<sup>265</sup> LIVI 2014, p. 333.

<sup>266</sup> TOLA 1861, pp. 187-188.

<sup>267</sup> LIVI 2017, p. 53

<sup>268</sup> TOLA 1861, p. 278.

<sup>269</sup> BONAZZI 1900.

<sup>270</sup> Il condaghe, pervenutoci in una traduzione castigliana del Seicento, condotta sicuramente su manoscritti originali in lingua sarda, è stato recentemente integrato da un frammento originale in sardo rinvenuto nell'Archivio Storico di Madrid (JAVIERRE MUR 1957, p. 187).

Dalla lettura di questo documento e degli altri condaghi pervenuti<sup>271</sup> si intravede che, accanto ad una struttura economico-sociale dello stato, articolata in *curatorias* e *villas*, ne esisteva un'altra (laica o ecclesiastica) organizzata in *curtes*, *curias* e *domos*, inserite nei grandi latifondi e abitate da famiglie di servi legati al fondo in cui vivevano; questi ultimi venivano venduti, ceduti, rivendicati soprattutto dal punto di vista del lavoro da loro svolto. Sono numerose le schede nei condaghi di San Michele di Salvennor che testimoniano ciò: «... y si tenia hijos la mitad de toda su casa de Salvenor, de hombres y tierras y de viñas, de saltos...»<sup>272</sup>.

Interessante è anche la descrizione topografica dei numerosi possedimenti: «*Comporaili a Gosantine de Kerki ... su saltu suo dessu musuleu d'Othila, ... termen d'ecustu saltu: dave sa ficu de scu. Migali de Salvennor, et essit derettu tottuebe bia appa Andria, e ffalatinke tottuebe bia maiore, ...e torrat totuve sa pala assa corona dessa carica...*»<sup>273</sup>.

Il villaggio di Salvennor è documentato nel 1342 e nei successivi anni 1346-50, con grafie diverse, all'interno delle *Rationes Decimarum*<sup>274</sup>.

Ancora dalle fonti documentarie sappiamo che tra il settembre 1342 e il 1350 venne registrato il versamento di numerosi tributi da parte dei canonici di *Salvene* o *Salvennor*, mentre negli stessi anni sono citati diversi rettori e abati per aver effettuato dei pagamenti. Alcuni anni dopo, il 23 gennaio 1355, l'abate di *Salvennor* venne convocato, come esponente del Braccio Ecclesiastico, al Parlamento celebrato a Cagliari da Pietro IV d'Aragona<sup>275</sup>.

Verso la fine dello stesso secolo, nel 1388, i rappresentanti del villaggio parteciparono alle trattative di pace tra la Corona d'Aragona e il giudicato di Arborea. Tra essi troviamo il *majore* della *villa* Thomasio Seche assieme a Leonardo Pinna, Antonio Tolla, Andrea

---

<sup>271</sup> Tali manoscritti, redatti in lingua sarda (logudorese e campidanese) nei secoli XII e XIII sono importanti per la ricostruzione della vita amministrativa della chiesa o del convento a cui facevano riferimento e dei territori di pertinenza. Attualmente si conoscono e sono stati pubblicati i condaghi di San Gavino, di Barisone II, di Santa Maria di Bonarcado, di San Michele di Salvennor (o Salvenor), di San Nicola di Trullas e di San Pietro in Silki.

<sup>272</sup> DI TUCCI 1912, doc. 242, p. 311.

<sup>273</sup> BONAZZI 1900, doc. 312, p. 73.

<sup>274</sup> SELLA 1945, doc. 897, p. 97; doc. 1688, p. 163; doc. 1723, p. 166; doc. 1756, p. 170; doc. 2250, p. 199; doc. 2289, p. 202; doc. 2517, p. 215; doc. 2518, p. 215; doc. 2662, p. 237; doc. 2663, p. 237.

<sup>275</sup> MELONI 1993, p. 75.

Solina, Petro de Vare, Gantino Murgia e Gantino de Flumen, tutti provenienti da *Salvennor*<sup>276</sup>.

I dati fiscali registrati nel 1415 contano nel nostro villaggio dieci fuochi<sup>277</sup>. Il 16 novembre 1420 *Salvennero*, con Ploaghe e *Figulinas*, venne dato in feudo da Don Alfonso V, re d'Aragona, a Serafino de Montanians, notaio sassarese, come ricompensa per i servizi prestati alla Corona<sup>278</sup>.

Dopo questa data, nessun'altra fonte cita *Salvennor* fino al XVII secolo, quando nell'elenco dei donativi del 1632 risulta che la *villa* doveva una somma di 69,7 lire<sup>279</sup>.

Abbiamo notizia di un testamento stipulato a Sassari nel 1654 e conservato nell'Archivio Parrocchiale di Ploaghe. Da questo sappiamo che la situazione che si viveva a *Salvennor* non era delle migliori. Infatti il dottor Madau, ploaghese e rettore di *Salvennor*, non poteva pagare al dottor Accorrà, precedente rettore del centro trasferitosi a Siligo, la somma annua di duecento lire: «...*per la molta baxa han dat tots els beneficis per rahò del contagi suscedit i que ab tant rigor te afligit aquest present cap de Sasserì Logudor i en particular la dicta villa...*»<sup>280</sup>.

Certamente il villaggio iniziava a risentire degli effetti disastrosi dell'epidemia che dilagava nel capo di Sassari e nel Logudoro; situazione, questa, confermata dalla missiva spedita dal marchese di Laconi, barone di Ploaghe, al suo delegato in Ploaghe, il 23 settembre 1658. Il nobile affermava di aver smarrito la richiesta di esenzione dal pagamento delle tasse dei vassalli di *Salvennor*, pretendendo pertanto pretendeva la riformulazione della petizione e riservandosi di valutarne l'importanza, soprattutto, esigendo di essere informato dell'entità delle somme pagate dai suoi sottoposti.

Nel 1698 il villaggio aveva 17 fuochi, 35 maschi e 37 femmine per un totale di 72 abitanti, mentre nel 1728 s'intravede un calo demografico: 25 fuochi, ovvero 69 abitanti. Per finire, nel censimento del 1751 *Salvennor* risultava completamente disabitato<sup>281</sup>.

---

<sup>276</sup> TOLA 1861-1868, p. 856.

<sup>277</sup> BOSCOLO 1952-1954, pp. 70-254.

<sup>278</sup> ANGIUS 2004, vol. I, p. 477.

<sup>279</sup> LODDO CANEPA 1932.

<sup>280</sup> Studio realizzato dalla Dott.ssa Rosa Anna Cadau nell'ambito del progetto "Beni Culturali", finanziato dalla Regione Sardegna, L.R. 37/98 art. 19 e pubblicato sul sito web <http://domusmaiore.altervista.org/>. Ultima consultazione marzo 2017.

<sup>281</sup> CORRIDORE 1902, p. 126.

La chiesa di San Michele di Salvennor venne edificata nella prima metà del XII secolo, durante il regno di Costantino I, quando nel Logudoro s'insediarono i monaci vallombrosani arrivati in Sardegna a seguito della politica di avvicinamento alla Chiesa di Roma da parte dei giudici di Torres, iniziata un cinquantennio prima, quando, nel 1063 Barisone di Torres offrì terre e prebende ai monaci benedettini<sup>282</sup>.

La chiesa di San Michele di Plaiano (curatoria di Romangia), fatta edificare dal giudice Mariano I, padre di Costantino, fu la prima donazione che, nel 1127, i monaci vallombrosani ricevettero nell'isola. Intorno al 1130-35 questi ricevettero anche la chiesa di Salvennor, fatta costruire presumibilmente dal giudice Mariano I tra il 1065 e il 1082<sup>283</sup>, passata poi ai Vallombrosani secondo modalità non ancora note.

Tuttavia lo studioso Carlo Livi anticipa la cronologia di qualche anno, datando la prima scheda del condaghe di San Michele di Salvennor, redatta dal monaco Bernardo, verso il 1125 e l'ultima, a cura del monaco Placido, scritta entro il 1138<sup>284</sup>.

Nel 1139, con bolla del 25 maggio, il papa Innocenzo II confermava a questi il possesso del monastero e della chiesa<sup>285</sup> e qualche anno più tardi, nel 1153, il pontefice Anastasio IV prese sotto la sua protezione l'ordine di Vallombrosa, già ricco di oltre cinquantadue monasteri, fra i quali, in Sardegna, anche quello di San Michele di Salvennor<sup>286</sup>.

Apprendiamo così che i possedimenti dell'abbazia si estendevano dal romitorio annesso alla chiesa di Santa Maria di Seve o Cea, presso Banari – la quale, come quella di San Michele, aveva il privilegio di una porta santa<sup>287</sup> – ai numerosi *saltos* in territorio della villa di Ploaghe, di *Augustana*, verso il Monte de *Petru Corsu* e *Petras Rubias*, in *Salvennor*, in *campu de Lasari*, nelle ville di *Urieke* e di *Ficulinas*<sup>288</sup>.

Salvennor possedeva le *domos in Billikennor*, in *Consedin*, in *Oruspe* (presso Sennori), in *Murusus* e in *Nurguso* (presso Sassari), in *Ostule* e *Ilvensa* (in territorio di Nuketu), in *Turricla* (presso Padria), in *Puthu Majore*, in *Trullas*, in *Othigeri* e *salinas in Nurra*<sup>289</sup>.

---

<sup>282</sup> BESTA 1909, pp. 75 e sgg.

<sup>283</sup> FARA 1992, vol. I, p. 172.

<sup>284</sup> LIVI 2017, p. 53.

<sup>285</sup> ZANETTI 1965, p. 33.

<sup>286</sup> TOLA 1861, p. 219.

<sup>287</sup> ZANETTI 1968 p. 89.

<sup>288</sup> DI TUCCI 1912, pp. 247-337.

<sup>289</sup> DI TUCCI 1912, pp. 247-337.

L'ampiezza di tali possedimenti e i larghi privilegi concessi dal pontefice Innocenzo II con bolla del 25 maggio 1139 – in particolare la facoltà di proibire a qualsiasi vescovo di poter celebrare nel loro tempio<sup>290</sup> – non impedirono al monastero e alla congregazione di Vallombrosa in Sardegna una lenta decadenza causata dalla caduta del giudicato di Torres (1259) e dalla difficile situazione politica che ne seguì, ma soprattutto dalla definitiva affermazione dei Catalano-aragonesi in tutta la Sardegna, a partire dalla seconda metà del XIII secolo e fino alla seconda metà del XIV secolo.

L'ultimo abate dell'ordine di Vallombrosa fu nel 1403 D. Bartolomeo, priore di San Michele di Plaiano.

Nel 1584, il Fara, nella sua *In Sardiniae de Chorographiam*, scriveva che l'abbazia di San Michele era ormai priva di monaci e semidistrutta<sup>291</sup>.

Nel 1587 papa Sisto V tentò di riportare la congregazione a Salvennor inviando Adriano Ciprario di Palestrina, il quale, nominato abate di San Michele, il 4 ottobre 1599 chiese al viceré di Sardegna la devoluzione al monastero di otto rasieri di sale e di otto lire ogni anno per le otto saline appartenenti al monastero e incamerate sin dal 1507. Dopo quel tentativo il complesso monastico venne definitivamente abbandonato e cadde in rovina<sup>292</sup>.

### 3.2 Il contesto monumentale

La chiesa di San Michele sorge su un altopiano basaltico a circa 3 Km a ovest di Ploaghe, in provincia di Sassari, lungo la statale 597 Sassari-Olbia, nella vallata di Riu de Corte o Su Giardinu; lunga circa 27 metri e larga circa 7, è costruita con conci squadrati in calcare bianco e basalto nero, secondo gli usi delle maestranze pisane attive nel giudicato di Torres intorno alla fine dell'XI secolo<sup>293</sup>. La pianta è a croce “commissa”, a navata unica, e sul transetto si affacciano tre absidi.

---

<sup>290</sup> ZANETTI 1965, p. 35.

<sup>291</sup> FARA 1992, p. 172.

<sup>292</sup> DI TUCCI 1912, p. 337.

<sup>293</sup> DELOGU 1988, p. 250. Per la precisione R. Delogu propone l'edificazione della chiesa tra l'anno 1110 e il 1130, anche se il Fara ritiene che venne edificata sotto il governo del giudice di Torres Mariano I de Lacon-Gunale tra il 1073 e il 1082 (FARA 1992, p. 173).



La facciata è divisa in tre parti da lesene, le quali affiancano il portale con architrave monolitico sovrastato da un arco a tutto sesto, simile a quelli presenti nel transetto meridionale e che mettevano in collegamento la chiesa con il chiostro dell'attiguo convento<sup>294</sup>.

Sul frontone, diviso in tre sezioni da semicolonne, si apre un oculo caratterizzato dall'alternanza di conci in trachite scura e conci in calcare bianco sui quali è inscritta una croce greca. Ognuna di queste sezioni contiene tre archetti che poggiano su mensole a toro<sup>295</sup>.

Le numerose opere di restauro cui fu sottoposto nel corso dei secoli l'edificio sono ancora parzialmente leggibili sulle strutture.

Nel 1857 gli interventi comportarono la soppressione di bacini ceramici e la sostituzione di numerose parti nel transetto, sui fianchi e sulla facciata, mentre sul lato meridionale, probabilmente in quest'occasione, venne murata la Porta Santa, ancora oggi ben riconoscibile<sup>296</sup>.

Attualmente l'edificio chiesastico è coperto da una volta lignea, mentre nei primi anni del XIX secolo venne realizzata una "volta rustica", ancora in parte leggibile nelle imposte delle arcate, che lo Spano definì "senza gusto e senza criterio"<sup>297</sup>.

È Giovanni Francesco Fara il primo a parlare della fondazione della chiesa e del monastero di San Michele di Salvennor, affermando che avvenne per volere di un certo Giudice Mariano e che negli anni in cui scrive, intorno al 1584, i monaci vallombrosani avevano già abbandonato il monastero e la chiesa appariva parzialmente diruta:



Fig. 66. La facciata di San Michele durante le riprese col drone.

<sup>294</sup> BOTTERI, 1978, pp. 101-102.

<sup>295</sup> CORONEO 2005.

<sup>296</sup> CORONEO 1993, sch. 54.

<sup>297</sup> SPANO, 1858, p. 118.

*«Salvennoris ubi est antiquae structurae templum a Mariano iudice olim conditum et divo Michaeli sacrum, abbatia Vallis Umbrosae, Plovacae 2 m. pass. Vicina, nunc a monachis deserta e semiruta»*<sup>298</sup>.

Tale notizia venne riportata, senza alcuna verifica, anche dallo Spano e dal Costa. È grazie ad alcuni documenti rinvenuti e studiati dalla Zanetti che si riesce a dipanare la questione e a datare la fondazione del monastero di San Michele negli anni a cavallo dei secoli XI e XII, mentre il passaggio sotto la gestione vallombrosana avviene tra il 1128 e il 1139<sup>299</sup>. Il complesso monastico venne realizzato a circa 500 m ad est del villaggio medievale di Salvennor, di cui restano visibili i resti delle chiese di Sant'Antonio, Sant'Antimo e San Nicola, al momento uniche testimonianze di un insediamento che venne definitivamente abbandonato tra il 1728 e il 1751<sup>300</sup>.

Nel 1858 lo Spano pubblica un articolo nel quale, con dovizia di particolari, descrive l'area della chiesa e del monastero, abbandonato definitivamente tra il XV e il XVI secolo, in cui sono ancora visibili i resti del refettorio e di un pozzo.

Della chiesa invece si limita a descrivere le superfetazioni realizzate in epoca moderna e il rituale officiato in occasione dell'apertura della Porta Santa, il 25 settembre di ogni anno. *«La chiesa, che tuttora esiste, con una porzione del monastero, è situata in bella pianura che fa fronte ad una amena vallata, irrigata da freschissime fontane e da un rigagnolo appellato Riu de Corte. La facciata principale di questo monastero era rivolta a ponente, e dominava tutta la vallata in cui erano i possessi più nobili del cenobio.»*<sup>301</sup>

E ancora:

*«I maestosi ruderi del monastero che tuttora, dallo spazio che occupano, sono argomento sicuro dell'antica sua grandezza si estendono in quadrato, comprendendo dentro la chiesa. Da pochi anni a questa parte si può dire d'essere stati distrutti più della metà, per essersi serviti dei materiali per la costruzione del ponte e del tronco dello stradone comunale di Ploaghe, incominciato nel 1854. Quelle solide muraglie costrutte a massi squadrate di pietra vulcanica e calcarea sono state distrutte a forza di mina, facendo man bassa di tutto senza criterio, mentre senza distruggere anche i pilastri che stavano intieri,*

---

<sup>298</sup> FARA 1992, p. 172.

<sup>299</sup> MANINCHEDDA, MURTAS 2003, pp. XIII - XIV. Per i documenti citati cfr. ZANETTI 1968.

<sup>300</sup> Secondo lo Spano (1858, p. 114) il villaggio venne distrutto verso gli ultimi anni del XVIII secolo. Per i dati precisi sulla popolazione della villa di Salvennor cfr. CORRIDORE 1902, p. 126.

<sup>301</sup> SPANO 1858, p. 113.

si potevano servire, con risparmio di lavoro, dei materiali che stavano qua e là gettati dalla mano dell'uomo e dal tempo devastatore»<sup>302</sup>.

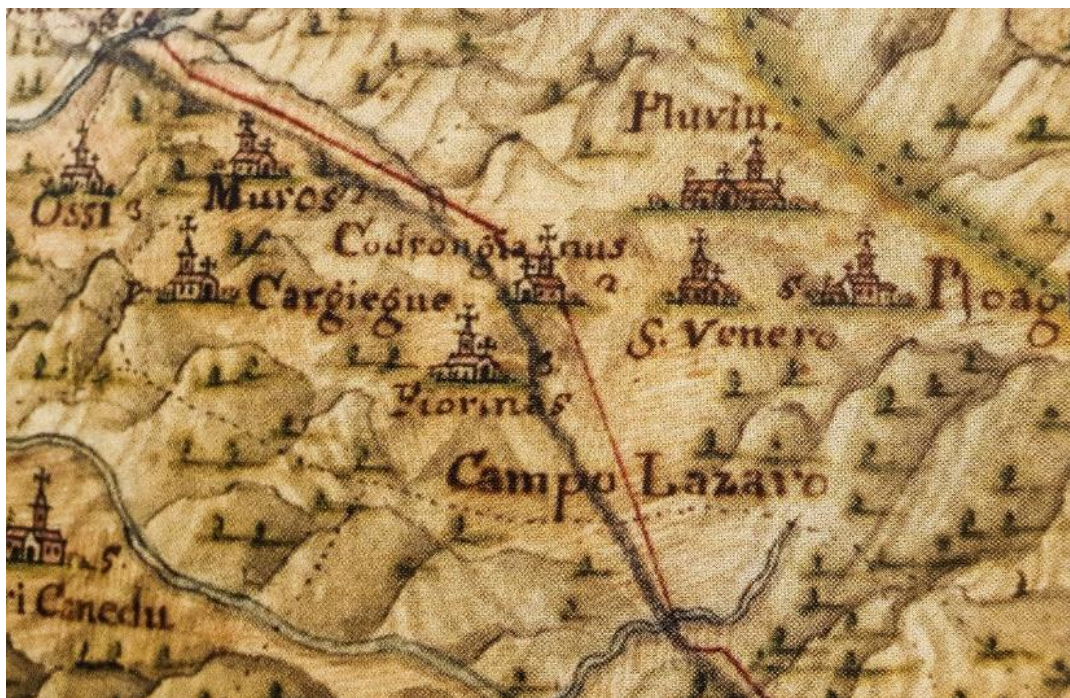


Fig. 67. Particolare della carta del Regno di Sardegna delineata nel 1746, da POLI, ROGGIO 2013.

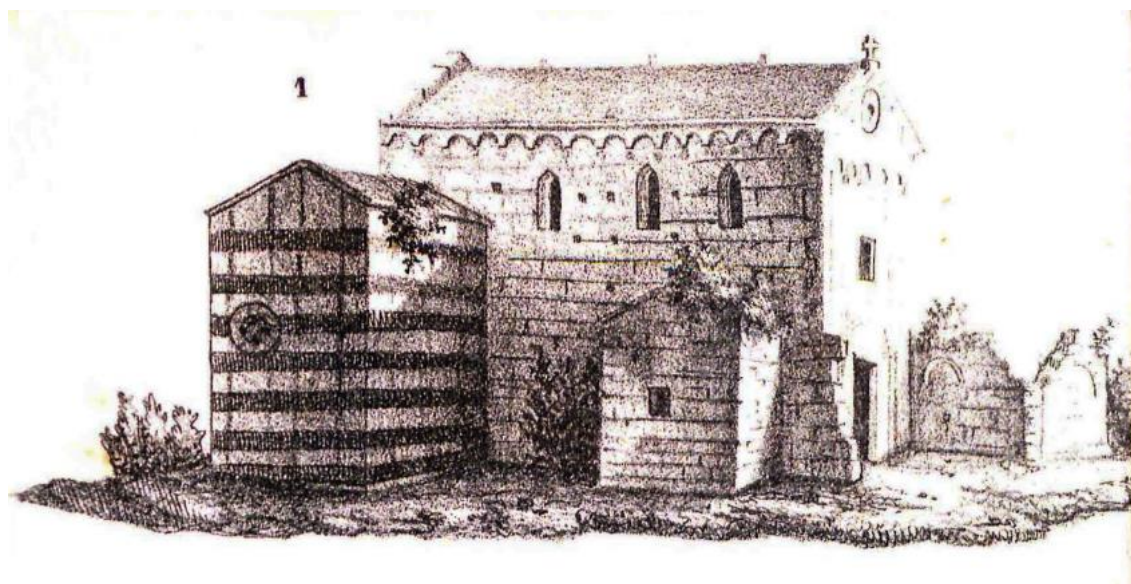


Fig. 68. Disegno della "Chiesa della Badia di Salvennor", prospetto settentrionale, da SPANO 1858

<sup>302</sup> SPANO 1858, p. 114.

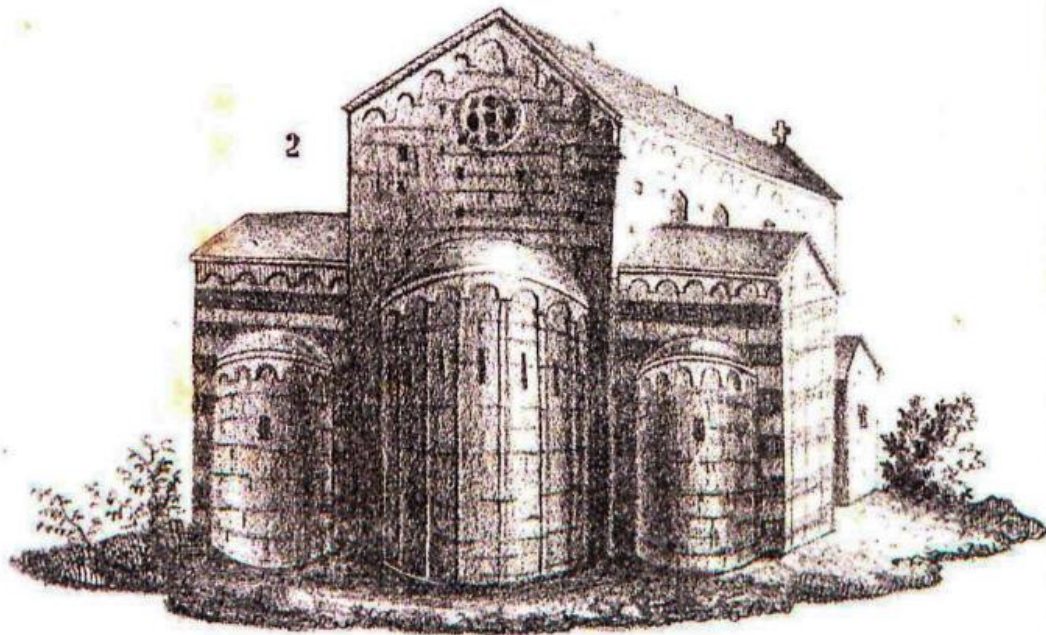


Fig. 69. Disegno della “Chiesa della Badia di Salvennor”, prospetto orientale, da SPANO 1858.

Un'altra importante testimonianza relativa allo stato di abbandono del monastero viene data da Vittorio Angius, che, dopo aver descritto la chiesa e il rituale della Porta Santa, dice che *«Restano ancora molte parti dell'antico celebre monisterio, dove, come abbiám notato, avea sua sede il vicario generale dell'ordine con giurisdizione sopra tutti i cenobii della stessa regola»*<sup>303</sup>.

Anche il La Marmora poco tempo dopo descrive la chiesa di San Michele come un luogo ormai in condizioni di grande degrado, ma con alcune parti del monastero ancora visibili<sup>304</sup>.

---

<sup>303</sup> CASALIS, ANGIUS 2004, p. 189.

<sup>304</sup> LA MARMORA 1927, p. 930.



Fig. 70. Un'immagine dei primi anni del XX secolo che ritrae la chiesa di San Michele. Scheda n° 47 - Ploaghe, archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro.

Tra le fonti pertinenti all'edificio ecclesiastico figurano alcune sequenze tratte dal film ispirato al romanzo *La madre* di Grazia Deledda e intitolato *Proibito*, girato nel 1954 e diretto da Mario Monicelli<sup>305</sup>.

Le immagini inserite nel film mostrano la chiesa già restaurata e con la croce posizionata sopra la facciata ancora integra, ma sul lato meridionale e sulla facciata (le uniche parti inquadrare) presenta dei particolari che potrebbero riferirsi agli interventi di restauro svolti nel 1912 (figg. 71 e 72)<sup>306</sup>.

Riguardo a tali interventi il Delogu è molto dettagliato:

*«Si elencano, qui appresso, le manomissioni di maggior conto avvenute in occasione dei lavori praticati nel 1912.: 1) Prospetto: sono state integralmente sostituite tutte le articolazioni di superficie e cioè, oltre al portale, le lesene, le archeggiature e le cornici. È stato demolito l'intero frontone e lo si è ricostruito con nuovi materiali, integrandolo con una serie di archeggiature fatte ad imitazione, parziale perché senza patere, di quelle*

<sup>305</sup> Il film è visibile su Youtube all'indirizzo: <https://www.youtube.com/watch?v=caQStz-gZ1s>. La sequenza relativa a San Michele di Salvennor inizia a h 1:31:33. Data del collegamento: 01/03/2017.

<sup>306</sup> DELOGU 1988, p. 79.

*allora esistenti nel frontone posteriore. Nella ricostruzione della parasta angolare di sinistra sono state inserite listature trachitiche che non figurano nelle fotografie precedenti ai lavori. È stato aperto l'oculo dello specchio mediano, antico ma non originario, dotandolo di cornice con sagoma inventata per l'occasione; 2.) Tribuna: è stato integralmente demolito e per intero ricostruito con nuovi materiali tutto il paramento delle tre absidi come dei retrostanti muri e del frontone. Nella ricostruzione sono state soppresse tutte le patere. Le archeggiature anziché ad elementi composti sono state ricostruite con un cantone per ogni arco. È stata infine dotata di nuova listatura in trachite la parasta di destra della navata; 3) Fianchi: è stata demolita e rifatta, con un arco per ogni cantone, tutta la serie di archeggiature, comprese le mensole.»<sup>307</sup>*

Nelle immagini del film si riconoscono ancora sia gli interventi (parti bianche) sulle cornici del rosone frontale e del portale (fig. 71), e il rifacimento del paramento murario sul fianco meridionale (fig. 72).



Fig. 71. Il fotogramma estrapolato dal film “Proibito”, girato nel 1954, da Mario Monicelli.

<sup>307</sup> DELOGU 1988, p. 83, nota 50.



Fig. 72. La chiesa di San Michele in un fotogramma del film in cui si vede la superficie muraria restaurata



Fig. 73. Prospetto meridionale: in bianco la superficie muraria restaurata nel 1912.

### 3.3 Il percorso della ricerca e gli strumenti

Il progetto Salvennor è iniziato nel maggio 2014 con una stretta collaborazione tra il Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione, il Dipartimento di Architettura, Design, Urbanistica dell'Università degli Studi di Sassari, l'Arcidiocesi di Sassari, il Comune di Ploaghe e la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Sassari, Olbia-Tempio e Nuoro, ma soprattutto grazie alla volontà dell'Associazione *Musas de Sardigna* di Ploaghe che ha voluto fortemente realizzare questo progetto supportando logisticamente ed economicamente l'intero gruppo di ricerca.

Le ricerche sono state avviate con una campagna di ricognizioni archeologiche intensive, geofisiche e di documentazione grafica e fotografica nell'areale di San Michele realizzate con l'obiettivo di acquisire i dati per ricostruire storicamente i paesaggi della vallata di Salvennor, caratterizzata da un'interessante concentrazione di edifici chiesastici – Sant'Antonio di Salvennor, Sant'Antimo, San Sebastiano – al fine di comprendere la loro natura nel corso del tempo. Riguardo al caso particolare di San Michele, ci si prefigge di disegnare i paesaggi relativi a questa importante azienda fondiaria fondata dai monaci vallombrosani e al relativo territorio.

Nel 2016 le indagini sono proseguite con un'ulteriore campagna di prospezioni geofisiche e lo scavo archeologico lungo il settore meridionale della chiesa: esso ha confermato le indicazioni dei precedenti rilievi geognostici rivelando la presenza di alcune strutture legate al chiostro (la parete settentrionale del portico) e ad altri ambienti del monastero<sup>308</sup>. La documentazione acquisita, attraverso un lavoro di rilievo 3D, studio delle stratigrafie orizzontali e verticali e indagini georadar, è stata utile per effettuare l'analisi muraria dell'edificio ecclesiastico e la ricostruzione del complesso monastico.

L'utilizzo integrato di diversi metodi d'indagine (fotogrammetria, laser scanner 3D, indagini geofisica) svolge un ruolo importante nella ricostruzione del monumento, altrimenti noto esclusivamente da fonti d'archivio. Tuttavia quest'ultime sono state particolarmente utili per i dettagli descritti nelle relazioni ottocentesche sullo stato in cui versava l'area.

---

<sup>308</sup> GARAU, PASCUCI, SANNA 2016.



La ricostruzione è avvenuta grazie al confronto tra diverse fonti – archeologiche, bibliografiche, iconografiche, metriche, geofisiche – con l’obiettivo di realizzare una restituzione tridimensionale il più verisimile possibile.

Il caso studio proposto in questo capitolo, per tipologia di contesto e disponibilità di fonti, offre elementi di spunto per una riflessione sulle possibilità di ricostruzione archeologica degli elevati in modo filologicamente corretto attraverso le tecniche di documentazione e modellazione tridimensionali e le potenzialità che tali tecniche possono avere nel campo della fruizione e comunicazione storica e archeologica.

Si procederà quindi a definire le applicazioni utilizzate per l’interpretazione dei documenti acquisiti per il monastero di San Michele di Salvennor.

### **3.3.1. L’analisi delle fonti archeologiche**

Le fonti documentarie hanno permesso di comprendere il contesto storico-geografico in cui si sviluppano i possedimenti Vallombrosani di San Michele di Salvennor, mentre quelle bibliografiche, soprattutto relative al XIX secolo, hanno definito lo stato di degrado e di abbandono in cui versava il complesso monastico. Tali documenti, uniti allo studio della stratigrafia muraria e ai risultati delle indagini georadar, hanno permesso di poter realizzare una ricostruzione del complesso monastico il più possibile coerente.

La lettura stratigrafica degli elevati è stata realizzata mediante osservazione autoptica, disegno manuale, riprese fotografiche ed elaborazioni tridimensionali effettuate con laser scanner e fotogrammetria; queste ultime hanno consentito di individuare e analizzare gli interventi, ancora leggibili, sul monumento, aumentando il livello di dettaglio e permettendo di individuare le sue fasi costruttive<sup>309</sup>.

In particolare l’edificio ecclesiastico, nonostante le varie opere di restauro che ne alterarono la struttura, ancora oggi conserva i segni del collegamento della chiesa con l’annesso monastero, oggi completamente scomparso.

---

<sup>309</sup> Per un quadro completo sull’archeologia dell’architettura si veda MANNONI, POLEGGI 1974; MANNONI 1976; BONORA, 1979; BROGIOLO, CAGNANA 2012.

L'analisi di tamponature e di elementi architettonici superstiti, assieme alle testimonianze fornite dalla bibliografia recente, ha permesso di ipotizzare uno sviluppo planimetrico basato sulle indicazioni fornite dal georadar e di ricostruire gran parte delle strutture monastiche.

Sul lato meridionale della chiesa di San Michele sono stati rilevati numerosi elementi che testimoniano i punti di contatto con le strutture monastiche oggi distrutte.

In particolare la quota delle monofore, alcuni segni di ammorsatura e due residue mensole lapidee a gancio presenti nella parte occidentale del paramento murario, all'altezza del quarantesimo filare di conci<sup>310</sup>, indicano i punti di contatto col monastero.



Fig. 74a. Fotopiano del lato meridionale della chiesa ricavato dal modello fotogrammetrico da terra.



Fig. 74b. Ripresa aerea del lato meridionale della chiesa (foto G. Saturno).

---

<sup>310</sup> Mensole simili si rinvennero nel prospetto meridionale della chiesa di *Santa Maria di Orria Pithinna*, nel territorio comunale di Chiamamonti, e nell'edificio chiesastico di Santa Maria della Mercede a Norbello (PIRAS 2012, p. 66).



Fig. 75. Le mensole a gancio nel lato meridionale dell'edificio.

Non è possibile al momento accertare se le mensole a gancio del complesso di San Michele, che servivano come supporto per una trave lignea, fossero funzionali ad una tettoia oppure ad una balconata che si affacciava sul chiostro.

Su nelle strutture difensive, quali i castelli, questi elementi architettonici sono in fase con aperture sottostanti, evidentemente riferibili a balconate in legno sorrette dalle mensole litiche<sup>311</sup>, per gli edifici ecclesiastici non è ancora stata chiarita la funzione. In particolare a San Michele non sembrano esserci aperture tamponate al di sotto delle suddette mensole, mentre a circa 1,80 metri sopra tali elementi, leggermente scostata verso est, si riesce a leggere un'apertura nell'apparato murario (fig. 76).

Un confronto analogo si trova anche nell'abbazia di N.S. di Saccargia, di cui si parlerà in seguito e alla quale San Michele viene connesso.

È plausibile pensare a tali mensole come ad un supporto per un solaio o un pianerottolo da cui si poteva accedere a un matroneo ligneo all'interno della chiesa (fig. 79).

---

<sup>311</sup> PALLONI 1996, articolo suggerito dall'amico Alessandro Ponzetti e visionabile on line all'indirizzo web: [http://www.icastelli.org/domestici/illuminazione/balconi/testo\\_balconi/testo\\_balconi.htm#\\_ftn9](http://www.icastelli.org/domestici/illuminazione/balconi/testo_balconi/testo_balconi.htm#_ftn9).

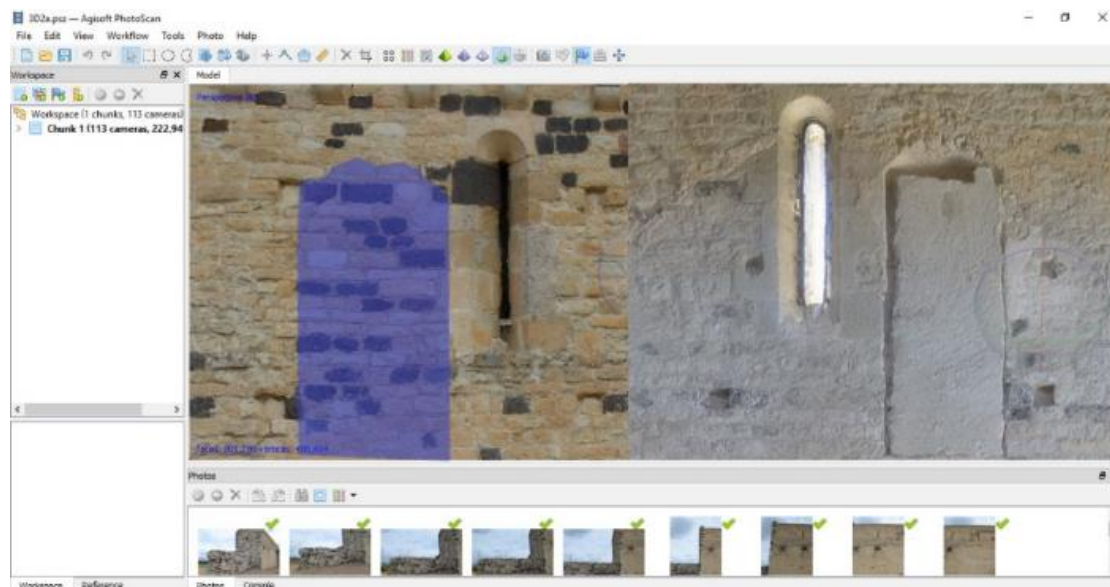


Fig. 76. L'apertura in prossimità delle monofore, vista dall'esterno e dall'interno.

Questo particolare aspetto architettonico è suffragato da ulteriori considerazioni legate alla quota delle monofore, realizzate ad un livello tale da non impedire la loro funzione principale, ovvero quella di permettere alla luce di filtrare all'interno della chiesa.

Appare chiaro come il progetto di realizzare un monastero annesso alla chiesa di San Michele sia coevo alla realizzazione dell'edificio cultuale, fatto non usuale come testimoniato, ad esempio, nella chiesa di San Nicola di Trullas a Semestene<sup>312</sup>.

In questo caso gli scavi realizzati nei primi anni del XXI secolo hanno messo in luce le strutture del monastero che, verosimilmente, venne realizzato secondo progettualità differenti e comunque successivamente alla chiesa<sup>313</sup>.

Nel caso di Salvennor appare chiaro come la costruzione dell'edificio chiesastico sia stata progettata tenendo in considerazione le altezze e lo sviluppo delle strutture che vi si sarebbero appoggiate.

<sup>312</sup> SANNA 2010

<sup>313</sup> Lo scavo nel San Nicola di Trullas venne seguito dallo scrivente e dalla Dott.ssa Pandolfi tra il 2003 e il 2005. L'analisi stratigrafica muraria e le quote dei numerosi segni presenti lungo il versante meridionale della chiesa suggerirono la presenza di una tettoia impostata immediatamente al di sotto delle monofore. Le quote di queste, pur non elevatissime, la copertura relativa agli ambienti rinvenuti durante lo scavo e l'accesso laterale hanno da subito permesso di ipotizzare una sincronia tra la realizzazione della chiesa e il monastero. Tuttavia gli studi condotti dall'Arch. Tomassetti rilevano come *“La concezione architettonica del monumento fa supporre che la chiesa sia stata edificata per essere vista interamente. Quindi non come chiesa annessa ad un monastero.”* (TOMASSETTI 2004).

Tuttavia la chiesa viene realizzata come corpo di fabbrica a sé stante e senza che questa si leghi all'annesso edificio monastico. Si tratta di una scelta progettuale ben documentata in Sardegna, dove le due entità architettoniche, pur concepite assieme, non vengono realizzate legando le strutture, ma cercando di mantenere due differenti corpi di fabbrica l'uno in appoggio all'altro.

Ad avvalorare quest'ipotesi, oltre alla presenza delle suddette mensole, è l'apertura tamponata (USM 2503: fig. 77), a cui si è accennato precedentemente, che metteva in comunicazione l'esterno con l'interno della chiesa a una quota molto alta rispetto al piano di campagna e il cui accesso doveva avvenire necessariamente attraverso un solaio o un pianerottolo presente nella parte alta del complesso monastico. La tamponatura, poco visibile dall'esterno, è invece ben definita sul paramento meridionale interno della chiesa: alta circa 1.70 m, evidenzia una porta con arco strombato a sesto ribassato che si imposta a sinistra della seconda monofora, a una quota compatibile con il solaio degli ambienti del monastero, rinvenuti planimetricamente durante le indagini archeologiche svolte nel 2016.

Ulteriori indizi che confermano il rapporto della chiesa con le strutture monastiche sono rilevabili all'esterno del transetto meridionale. Qui è ancora presente un solco semicircolare (fig. 78, USM 2507), risarcito in tempi moderni e riferibile all'imposta dell'arco a tutto sesto che collegava il monastero con la chiesa attraverso l'apertura attualmente murata, ma ancora ben visibile (Fig. 78, USM 2506).

Anche in questo caso si nota il rapporto di appoggio tra i due blocchi edilizi: oltre all'intradosso della volta a botte è altresì identificabile il limite superiore della copertura che lasciava ovviamente la teoria di archetti a doppia ghiera ben visibili.

Attraverso l'osservazione delle murature è stato possibile comprendere che il monastero aveva un solo piano e alcuni locali erano voltati a botte, mentre le strutture in appoggio alla navata avevano una copertura in travi lignee e una sorta di terrazzo dal quale si accedeva alla parte alta della chiesa.

Dall'analisi delle murature interne dell'edificio cultuale emerge un ulteriore importante intervento di sistemazione della copertura, avvenuto attraverso la realizzazione di volte a crociera, presumibilmente tra la fine del XVIII e i primi anni del XIX secolo. Attualmente si notano le imposte delle arcate lungo i due lati lunghi che appoggiano su mensoloni litici inseriti successivamente nella muratura.



Fig. 77. Una porzione del prospetto meridionale della chiesa con l'indicazione di alcune USM



Fig. 78. L'esterno meridionale del transetto: in evidenza (a destra) l'attacco della volta a botte

Benché sia impossibile datare questo intervento, è verosimile che si tratti dei lavori, citati, e poco apprezzati, dallo Spano nel suo articolo del 1858: «*La volta rustica della navata è moderna, eseguita nei primi anni di questo secolo dall'operajo senza gusto e senza criterio, tanto di sprecare il denaro dei fedeli oblatori.*»<sup>314</sup>.

Osservando la sequenza stratigrafica muraria dall'interno si nota, infatti, che il segno dell'imposta della volta a crociera taglia le monofore, lasciando libera la porta di cui si è parlato precedentemente. È perciò evidente che la realizzazione di tale opera, che si colloca in un momento successivo rispetto all'elevato su cui s'imposta, è riferibile a un intervento tardo, effettuato i primi anni dell'Ottocento, come suggerito dallo Spano.

Analizzando la struttura interna si evince che, intorno alla porta di cui si è già parlato, alcuni segni nella muratura potrebbero non essere riferibili a buche puntaie, bensì ad un ballatoio ligneo (fig. 79). Mentre le buche puntaie hanno una loro regolarità, dall'alto verso il basso, i segni intorno alla porta farebbero pensare a una struttura pensile, una sorta di matroneo collocato sulla parete meridionale e perciò funzionale all'apertura presente nel muro.

Anche sul lato settentrionale troviamo alcune tamponature che mettevano in comunicazione l'interno con l'esterno dell'edificio in corrispondenza del campanile, oggi non più visibile.

A differenza di quanto sostenuto dal Delogu, che indica il corpo di fabbrica della sagrestia come il risultato della demolizione del campanile<sup>315</sup>, è verosimile che questo sia stato demolito durante gli interventi di spoliazione avvenuti durante la prima metà dell'Ottocento, di cui ci riferisce lo stesso Spano<sup>316</sup>.

La matrice architettonica della chiesa di San Michele è la medesima utilizzata per la vicina Saccargia, della quale ricalca, in scala leggermente ridotta, il modello. Il confronto tra le due planimetrie evidenzia quella che dovrebbe essere la posizione del campanile di Salvennor, nell'angolo tra la navata e il transetto, e le tamponature ancora visibili sul lato settentrionale di San Michele, del tutto simili a Saccargia, sostengono questa ipotesi (fig. 80).

---

<sup>314</sup> SPANO 1858, p. 118.

<sup>315</sup> Il Delogu descrive erroneamente la struttura annessa al transetto settentrionale come ciò che resta della torre campanaria di San Michele (fig. 16), mentre giustamente il Coroneo la considera come sacrestia (CORONEO 1993, sch. 46).

<sup>316</sup> SPANO 1858, p. 114.

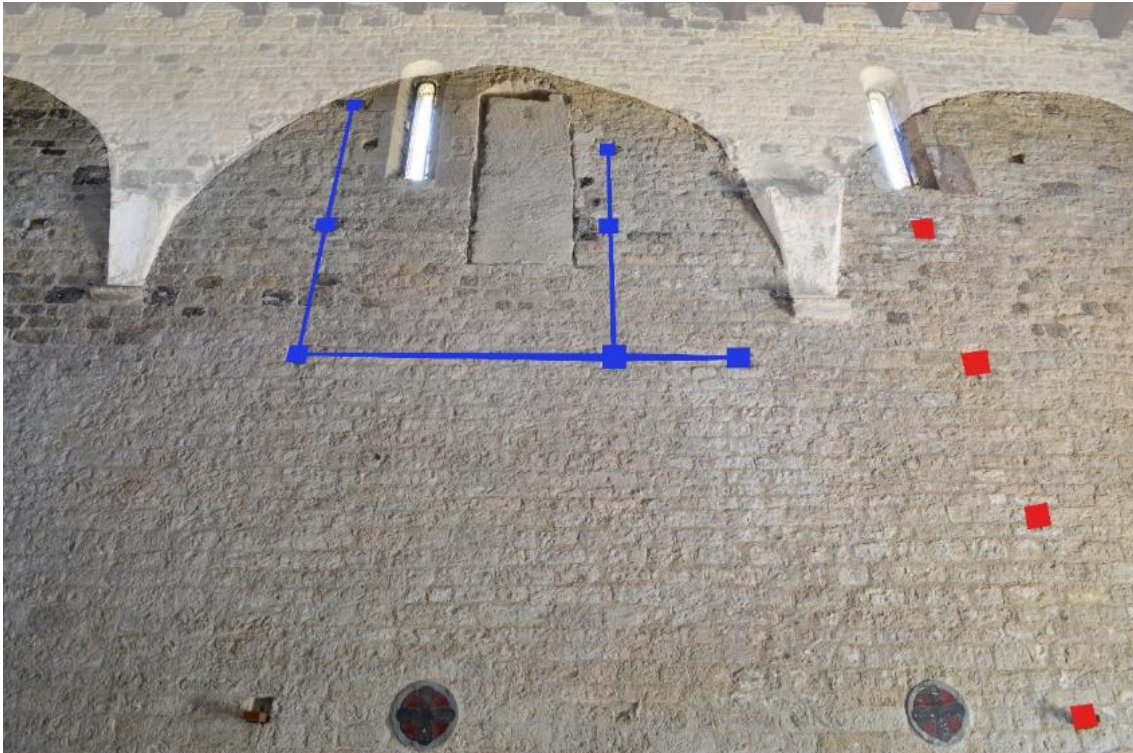


Fig. 79. L'imposta delle volte a crociera sul lato meridionale della navata.

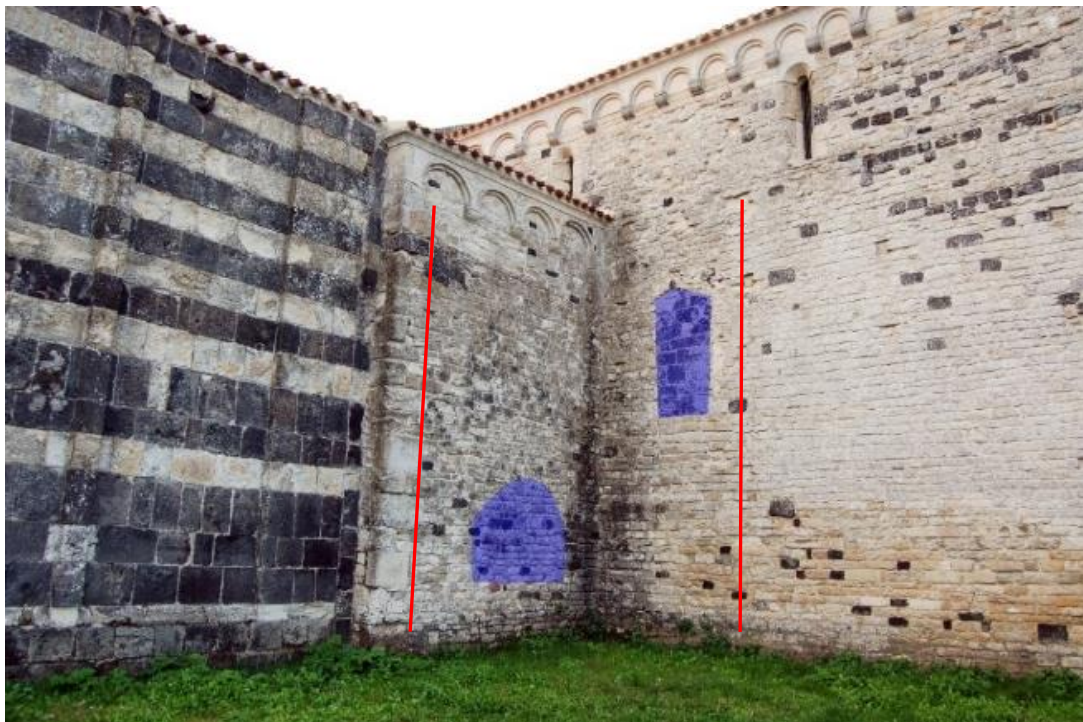


Fig. 80. I due accessi, ora tamponati che collegavano la chiesa con il campanile lungo sul lato nord.



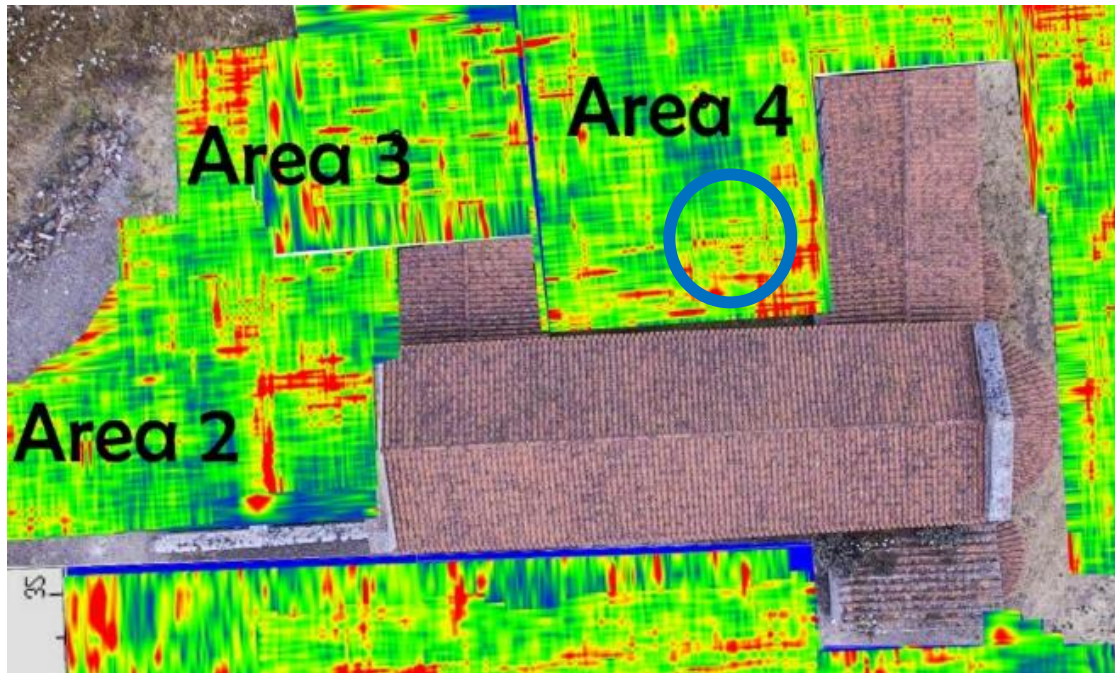


Fig. 81. Particolare delle indagini svolte con il georadar. Nel cerchio azzurro l'anomalia riferibile al *campanile*.

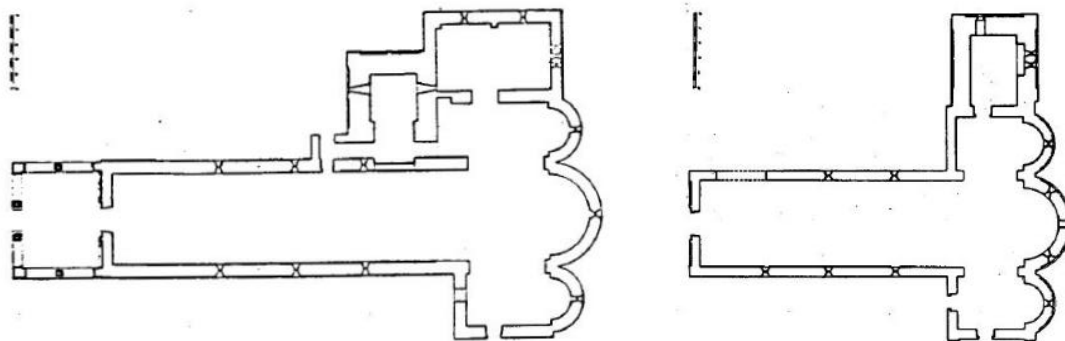


Fig. 82. Planimetria della chiesa di Saccargia (a sinistra) e di Salvennor (a destra), da DELOGU 1988, p. 79.

### 3.3.2. I confronti

Come già detto, il primo e più importante riferimento per la chiesa di Salvennor, su cui è importante focalizzare l'attenzione, è rappresentato dalla chiesa della SS. Trinità di Saccargia.

Realizzata con paramenti bicromi, a fasce bianche e nere regolari, tale struttura subì importanti restauri all'inizio del secolo scorso che ne compromisero la fisionomia originaria e interessarono in particolare il portico (fig. 83), demolito e successivamente ricostruito, la sopraelevazione del campanile e le decorazioni della facciata, completamente risarcite.

L'abbazia venne costruita certamente prima del 1112, anno in cui la *sanctae Trinitatis de Saccarina* o *Sacaria* era già compresa fra i possessi del monastero di San Salvatore di Camaldoli in Sardegna, mentre la consacrazione e l'istituzione del complesso monastico sardo avvenne nel 1116<sup>317</sup>.

La chiesa della Santissima Trinità di Saccargia ha pianta a croce "commissa" con aula mononavata; misura circa m 21 x 7 e ha un'altezza m 14 circa ed è dotata di un transetto su cui si affacciano tre absidi.

Un portico voltato a crociera antistante la facciata incornicia l'ingresso principale dell'edificio, mentre a settentrione si collocano il campanile e una sacrestia, comunicanti rispettivamente con l'aula e con la testata del transetto<sup>318</sup>.

Nell'ampio spazio a sud della chiesa si sviluppano gli imponenti ruderi del monastero, che, in stato di abbandono fino al secolo scorso<sup>319</sup>, vennero restaurati e furono in parte oggetto di scavo archeologico dagli anni '90 del XX secolo<sup>320</sup>.

Confrontando le planimetrie delle due chiese, unitamente alle aperture, presenti in entrambi gli edifici ecclesiastici, si evince la posizione del campanile, oggi scomparso, di San Michele (fig. 82).

Le medesime aperture evidenziate in fig. 80 sono riscontrabili sul lato settentrionale della chiesa di Saccargia (Figg. 84 - 85), assicurando il collegamento, anche in questo caso, del campanile con l'interno della chiesa.

---

<sup>317</sup> TURTAS 2014, pp. 15-32.

<sup>318</sup> CORONEO 1993, sch. 46.

<sup>319</sup> MANCONI, 1991, pp. 120-123.

<sup>320</sup> CAPUTA 2014.



Fig. 83. Il portico della chiesa di Saccargia.

I risultati delle indagini svolte col georadar a Salvennor nel 2016 hanno permesso di confermare questa lettura e indicano come nell'area tra la navata e il transetto settentrionale sia presente un'anomalia quadrangolare interpretabile come un campanile (fig. 81), nel medesimo spazio occupato nella chiesa di Saccargia<sup>321</sup>.

Un ulteriore confronto è rappresentato da San Nicola di Trullas nel territorio di Semestene (SS)<sup>322</sup>. Edificato tra i secoli XI-XIII, esso ripropone i medesimi schemi architettonici relativi alla suddivisione degli spazi monastici, realizzati secondo un modello consolidato che rispondeva alle esigenze della vita monastica in una concezione religiosa di virtù e perfezione del monaco<sup>323</sup>.

---

<sup>321</sup> GARAU, PASCUCCI, SANNA 2016.

<sup>322</sup> SANNA 2010.

<sup>323</sup> PARIBENI 1997.

Questo modello generalmente si sviluppava sui quattro punti cardinali che rispettavano un ordine e una funzione canonica, oltre ad avere motivazioni spirituali che non affronteremo in questa sede.

All'esterno, sul lato est del monastero, in contatto diretto col transetto meridionale, era collocato l'*armarium*, un piccolo vano solitamente utilizzato per conservare i libri che i monaci usavano giornalmente per le preghiere. Nella chiesa di San Michele è presente la porta (USM 2506) che metteva in collegamento i due ambienti appena citati (fig. 78).

Anche la sala capitolare era solitamente collocata sul lato orientale del monastero; vi si svolgevano gli incontri istituzionali, in cui l'abate istruiva i suoi monaci e si leggevano i capitoli della Regola.

Solitamente sulla parete della sala che si apriva sul chiostro erano presenti delle finestre dalle quali si affacciavano i conversi per assistere alle riunioni, anche se non avevano diritto di accesso alla sala e non potevano intervenire.

Altro importante ambiente, ubicato tra il lato orientale e quello meridionale del monastero, era lo *scriptorium*, la sala, dove i monaci si dedicavano al lavoro e avveniva l'opera di trascrizione dei testi da parte degli amanuensi.

Lungo il lato meridionale solitamente si affacciavano il *calefactorium*, il refettorio e la cucina: il primo era un ambiente nel quale si custodiva il fuoco per la liturgia, per la cucina e in generale per l'illuminazione, nel secondo si dispensavano i pasti mentre venivano letti i passi della Sacra Scrittura o dei libri spirituali.

La cucina, nella quale venivano preparati i pasti per la comunità, chiudeva il lato meridionale del monastero.

Presso il lato occidentale del monastero, vocato all'ospitalità e al contatto con l'esterno, solitamente si trovano il magazzino e la foresteria ove accogliere i pellegrini; a questa spesso erano annessi l'infermeria per i monaci e un ospedale per i poveri.

Il modello di questo schema, seppur generale, è utile per la ricostruzione proposta per il complesso monastico di San Michele di Salvennor, dove fonti documentarie, analisi stratigrafica muraria e l'applicazione della geofisica hanno fornito elementi certi per la collocazione di alcuni ambienti e il relativo utilizzo.



Figg. 84 - 85. Chiesa di Saccargia. L'apertura che mette in collegamento la chiesa e il campanile.

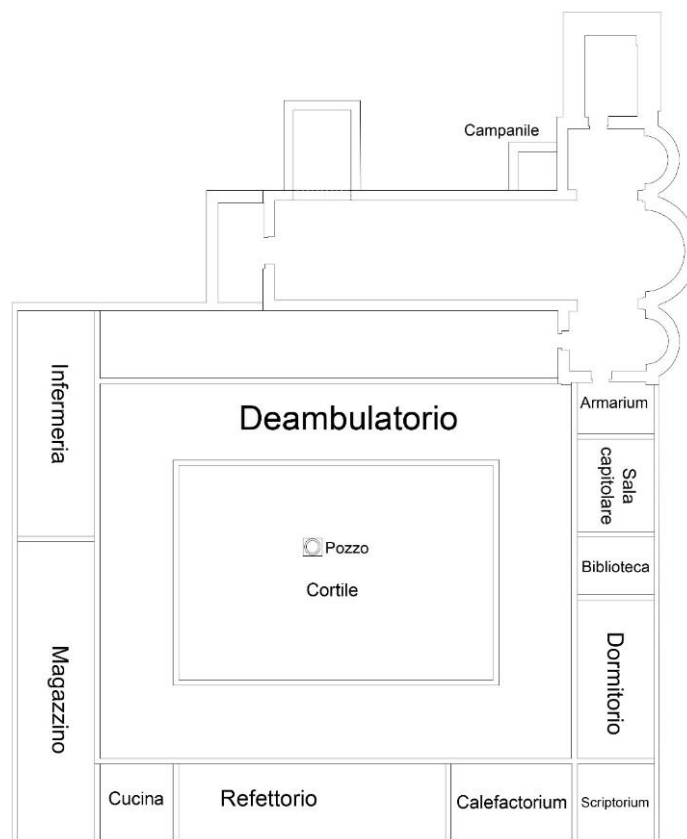


Fig. 86. Ricostruzione ipotetica degli ambienti monastici di San Michele.

### 3.4 La gestione dei dati

Vi è una forte spinta in ambito scientifico-culturale nell'ideare e progettare soluzioni integrate, in grado di facilitare l'accesso al patrimonio culturale con l'utilizzo di tecnologie immersive dal forte impatto visivo<sup>324</sup>.

Tuttavia l'impostazione della presente ricerca intende orientarsi più sulla comprensione ed interpretazione del contesto che sull'impatto visivo del prodotto digitale, utilizzando la tridimensionalità come strumento di analisi e trasmissione della conoscenza. Nel caso di Salvennor, infatti, il modello è stato realizzato grazie all'intero set di informazioni spaziali, stratigrafiche, geofisiche, che, supportate dalle testimonianze storiche, ne arricchiscono il potenziale informativo rispetto ad un tradizionale elaborato planimetrico, altrettanto funzionale alla ricerca<sup>325</sup>.

Il progetto Salvennor, di cui questo studio è parte integrante, mira principalmente a ricostruire il territorio del villaggio medievale omonimo, caratterizzato, come già detto, dai resti di altri tre edifici ecclesiastici (Sant'Antonio dista da San Michele circa 530 m, Sant'Antimo circa 460 e San Nicola circa 600), in stretta connessione l'uno all'altro e caratterizzanti l'area del suddetto villaggio attestato dall'XI secolo e abbandonato definitivamente nella prima metà del XVIII<sup>326</sup>.

Le indagini archeologiche effettuate lungo il settore meridionale esterno alla chiesa hanno permesso di verificare la presenza di resti murari evidenziati dalle indagini geofisiche (condotte da V. Pascucci) che offrono un contributo alla ricostruzione dell'organizzazione planimetrica del chiostro, confermando le fonti d'archivio riguardanti l'area del monastero.

Tali prospezioni, confermate dallo scavo stratigrafico e confrontate con l'analisi degli elevati, hanno fornito la base planimetrica su cui è stata sviluppata la ricostruzione tridimensionale del chiostro, integrandola col rilievo fotogrammetrico.

---

<sup>324</sup> VALENTI 2014.

<sup>325</sup> D'ANDREA 2011, p. 196.

<sup>326</sup> Per l'inquadramento territoriale si veda GARAU, PASCUCCI, SANNA 2016, p. 162.

L'indagine geofisica è stata condotta in cinque differenti settori mediante un sistema I-Mod2, IDS con antenne integrate da 200 e 600 MHz, trasportate da un rimorchio con un sistema di encoder a ruota<sup>327</sup>.

Nell'area immediatamente a sud della chiesa il georadar ha registrato la presenza di anomalie molto chiare a una profondità di circa 50-60 cm e di dimensioni massime di 35x25 m, costituite da due rettangoli inscritti, uno dentro l'altro, che definiscono lo spazio del chiostro.

Al centro di questo spazio è stata rilevata un'anomalia di circa 1x1 m interpretabile come un pozzo, caratteristico di molti monasteri<sup>328</sup>.

Altra anomalia a forma di "L" di circa 6 x 6 m, riscontrata ad una profondità di 0,65 m, è stata evidenziata davanti alla facciata della chiesa ed interpretata come il portico dell'abbazia, del tutto simile a quello adiacente la facciata della chiesa di Saccargia.

L'ultima interessante evidenza riguarda il lato nord dell'edificio ecclesiastico, nell'angolo tra il braccio nord del transetto e la navata: ad una profondità di circa 0,5 m e fino a 1,5 m il GPR ha registrato un'anomalia quadrata di circa 4x4 m, interpretabile, al momento, come il campanile dell'abbazia, dato, questo, ulteriormente confermato dall'analisi stratigrafica muraria dell'edificio.

Gli scavi realizzati nel 2017 hanno permesso di documentare un enorme taglio di spoliatura e una struttura di esigue dimensioni in corrispondenza dell'anomalia evidenziata dal georadar. Riguardo a tale struttura non è ancora possibile, allo stato attuale delle indagini, stabilire se sia pertinente al campanile ovvero se si tratti di un tratto murario costruito successivamente alla sua demolizione, come potrebbe suggerire la consistente presenza di materiale litico rinvenuto all'interno della fossa suddetta.

Le altre anomalie evidenziate nei settori nord-est e nord-ovest dell'area indagata restano di dubbia interpretazione, ma, fino alla verifica dello scavo, non è da escludersi che tali allineamenti siano interpretabili come delimitazioni di aree cimiteriali o di spazi comunque annessi al monastero.

---

<sup>327</sup> Per i risultati delle indagini geofisiche si veda l'intervento di Pascucci in GARAU, PASCUCCI, SANNA 2016, p. 163.

<sup>328</sup> Nel monastero di Saccargia, distante circa 2.6 km da San Michele, il pozzo è stato realizzato nella medesima posizione, così come a San Nicola di Trullas.

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, delle evidenze archeologiche emerse dagli scavi e dello studio degli elevati è stata impostata la ricostruzione tridimensionale del complesso monastico.

L'impostazione del rilievo tridimensionale dell'attuale chiesa di San Michele, a cui è stata annessa la ricostruzione virtuale dell'intero complesso monastico, è stata effettuata utilizzando la stazione totale per definire i capisaldi e il punto fiduciale presente nell'angolo nord-ovest della sagrestia, mentre il laser scanner terrestre (TLS) e le immagini acquisite sia da terra che da drone sono state utilizzate per il rilievo tridimensionale della chiesa e l'orientamento del rilievo.

L'utilizzo iniziale della stazione totale, all'interno del processo di documentazione del sito di Salvennor, si è reso necessario per l'inquadratura topografica del monumento, la possibilità di scararlo durante il processo di elaborazione fotogrammetrica e il corretto orientamento dello stesso.

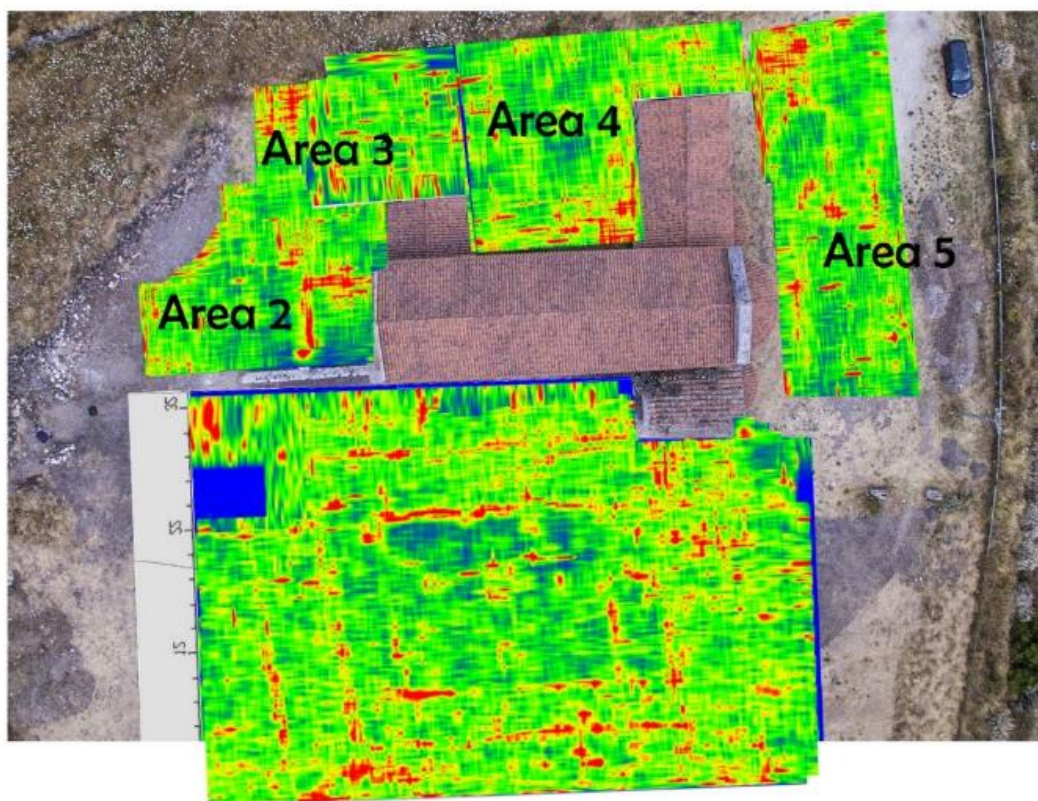


Fig. 87. Le aree interessate delle indagini georadar.





Fig. 88. Il rilievo fotogrammetrico dello scavo nell'area 3000.

Il laser scanner è stato utilizzato per rilevare con grande precisione le aree del monumento difficilmente raggiungibili ed è stato indispensabile per l'acquisizione, in tempi molto rapidi, dell'intera superficie muraria interna.

L'integrazione delle diverse tecnologie di rilievo 3D ha permesso di ottenere un modello completo e preciso, sul quale, grazie anche all'analisi della stratificazione muraria e alle indagini geofisiche, è stata successivamente realizzata la ricostruzione virtuale del complesso monastico di San Michele di Salvennor.

Già durante le prime acquisizioni del rilievo tridimensionale, interno ed esterno all'edificio ecclesiastico, è stato possibile effettuare una prima analisi autoptica delle unità stratigrafiche murarie che ha permesso un'immediata definizione delle stesse sui modelli 3D realizzati successivamente alla ripulitura delle nuvole di punti<sup>329</sup>. Il modello ottenuto risulta di elevata precisione (sub-centimetrico per il rilievo fotogrammetrico e millimetrico per quello ottenuto mediante l'utilizzo del laser scanner) e con un grado di dettaglio tale da ottenere un'agevole lettura della tessitura muraria e delle USM che compongono le strutture.

Il lavoro illustra l'applicazione di due differenti tecniche di acquisizione 3D capaci di restituire un modello misurabile e ad alta risoluzione; al contempo la ricostruzione del complesso monastico si basa sui rilevamenti, ottenuti a quote differenti, attraverso l'impiego del GPR<sup>330</sup>.

<sup>329</sup> REMONDINO 2012.

<sup>330</sup> Per le indagini GPR cfr. GARAU, SANNA, PASCUCCI 2016.



Fig. 89. Il risultato delle indagini georadar in rapporto alla chiesa (foto G. Saturno; elab. L. Sanna).



Fig. 90. Ricostruzione planimetrica sulla base dei rilievi geofisici

L'utilizzo di queste tecnologie, integrate all'interno di un processo di analisi archeologica, può aumentare la capacità di comprensione del monumento e della stratigrafia – orizzontale e verticale – facilitandone lo studio e la condivisione dei risultati, in un'ottica di apertura della ricerca (creazione e gestione di dati aperti) e promozione turistico-culturale<sup>331</sup>.

Il rilievo con il laser scanner è stato ottenuto realizzando complessivamente 20 scansioni: per l'interno della chiesa ne sono state necessarie 13, mentre per l'esterno 7, con un livello di precisione millimetrico che ha permesso l'elaborazione di sezioni orizzontali e verticali in grado di riprodurre l'edificio ad altezze differenti e con un intervallo di 1 metro.

Il rilievo fotogrammetrico realizzato mediante riprese da terra e da drone ha permesso la creazione di un modello altamente preciso, ma più gestibile dal punto di vista dell'impegno *hardware* necessario rispetto all'elaborazione dei dati acquisiti tramite laser scanner: infatti da un "volume" di 15 Gb di rilievo laser scanner, si contrappongono i 5 Gb del rilievo fotogrammetrico.

La precisione ottenuta con la fotogrammetria restituisce 2,18 cm di errore su tutto il monumento, con un buon livello di dettaglio della *mesh* e delle textures, coinvolgendo però circa 1/3 delle risorse hardware rispetto a quello realizzato con il laser scanner<sup>332</sup>.

Grazie alle riprese aeree è stato possibile 'riempire i coni d'ombra' lasciati dalle riprese da terra, quali le superfici elevate e il tetto della chiesa.

Come per il rilievo realizzato nel villaggio nuragico di Sant'Imbenia, anche per Salvennor è stato utilizzato il laser scanner Z+F IMAGER 5006h a misurazione diretta e differenza di fase, impostato per l'acquisizione di circa 40.000 punti/360° con una precisione di 0.7 mm a una distanza di 25 m<sup>333</sup>.

Le impostazioni utilizzate per le acquisizioni hanno restituito numeri decisamente più elevati rispetto alla fotogrammetria:

- 30.000.000 punti a scansione circa;
- 20 scansioni;

---

<sup>331</sup> ANICHINI 2015, pp. 142-143.

<sup>332</sup> In termini di dimensioni di memoria occupata su disco si passa dai quasi 20 Gb per l'intera scansione effettuata con il laser scanner agli 8 Gb per il modello digitale ottenuto mediante fotogrammetria con Agisoft Photoscan.

<sup>333</sup> REMONDINO 2011.

- 600.000.000 di punti circa per il rilievo interno ed esterno al monumento;
- 480.000.000 di punti circa dopo la pulizia delle nuvole di punti;
- 15 GB.

Il Workflow di acquisizione ed elaborazione del rilievo mediante laser scanner ha seguito i seguenti step:

- scansione;
- pre-processamento dei dati;
- registrazione o allineamento;
- mappatura del colore;
- post-processamento dati.

Il rilievo fotogrammetrico ha prodotto tali dati:

- 5.000 fotogrammi circa;
- 7 ambienti rilevati in fase di scavo;
- i modelli ottenuti con impostazione medie contano oltre 2.000.000 di punti;
- le *mesh* ottenute hanno oltre 4.300.000 di vertici;
- 5 GB di dati.

Il workflow di acquisizione ed elaborazione del rilievo mediante fotogrammetria ha previsto i seguenti passaggi:

- caricamento e allineamento immagini (Hi res);
- creazione della nuvola di punti (Hi res);
- creazione della Mesh (Custom 3000 triangoli);
- mappatura del colore (multi immagine);
- post-processamento dati.

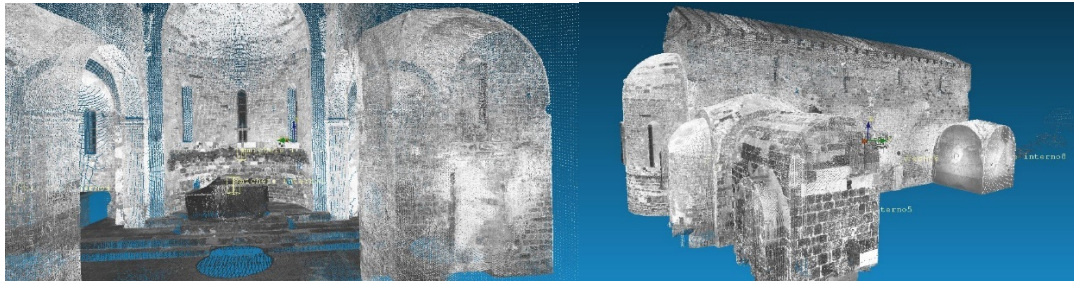


Fig. 91. Il rilievo laser scanner all'interno della chiesa di San Michele

L'integrazione tra i due differenti sistemi di rilievo 3D ha giovato alla precisione del modello: l'alta precisione delle misurazioni laser ha limitato l'errore del rilievo fotogrammetrico, fornendo le coordinate di alcuni punti significativi che, riportate su Photoscan, hanno ridotto l'errore del 50% circa.

Come scritto nel primo capitolo, durante la fase di *testing* sono stati realizzati alcuni tentativi di rilievo fotogrammetrico mediante l'integrazione di differenti software open source col fine di verificarne l'efficacia e definire una metodologia a basso costo utile alla realizzazione dei rilievi.

Nel caso di Salvennor il lavoro di ricostruzione tridimensionale è stato inizialmente testato con il software open source Python Photogrammetry Toolbox su sistema operativo Windows 10, con tutti i problemi precedentemente illustrati<sup>334</sup>.

L'attività di documentazione 3D mediante fotogrammetria è proseguita utilizzando il software Agisoft Photoscan, attualmente consigliato per rapporto qualità/prezzo<sup>335</sup>.

I rilievi fotogrammetrici e laser scanner hanno prodotto dei *report* (qui di seguito allegati) che descrivono i parametri metrici dell'elaborato digitale.

Il primo, che riguarda la fotogrammetria all'interno della chiesa, è stato calibrato mediante le coordinate fornite dal rilievo laser scanner con risultati positivi. Questo procedimento ha restituito un errore totale di 1.22959 cm con un GSD di 1.42 mm/pix.

La fotogrammetria realizzata all'esterno, probabilmente a causa della geometria della chiesa e di una quantità sottostimata di marker, ha restituito un errore totale di 2.16538 cm con un GSD di 2.02 mm/pix.

<sup>334</sup> Si veda il § 1.4.4.

<sup>335</sup> Si veda il § 1.4.4.

Nel rilievo eseguito tramite laser scanner all'interno e all'esterno del monumento si rileva rispettivamente un errore massimo di 3.4630 mm e di 4.1430 mm, valori questi assolutamente accettabili in contesti simili, testimoniati dai report pubblicati di seguito:

- Photoscan, rilievo effettuato all'esterno del monumento.
- Photoscan, rilievo effettuato all'interno del monumento.
- Laser Scanner Z+F, rilievo effettuato all'esterno del monumento.
- Laser Scanner Z+F, rilievo effettuato all'interno del monumento.

# Agisoft PhotoScan

Processing Report  
02 October 2017



## Survey Data

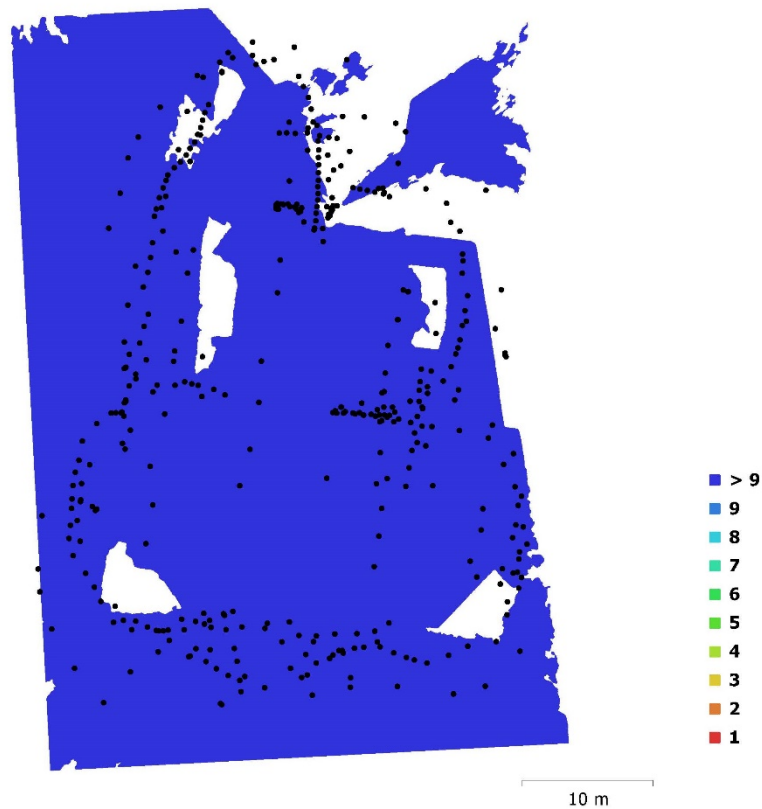


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	405	Camera stations:	405
Flying altitude:	7.81 m	Tie points:	120,659
Ground resolution:	2.02 mm/pix	Projections:	694,957
Coverage area:	1.85e+03 m <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.605 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D5100 (18 mm)	4928 x 3264	18 mm	4.88 x 4.88 $\mu\text{m}$	No
FC300X (3.61 mm)	3992 x 2992	3.61 mm	1.57 x 1.57 $\mu\text{m}$	No
FC300X (3.61 mm)	3890 x 2916	3.61 mm	1.61 x 1.61 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.



## Camera Calibration

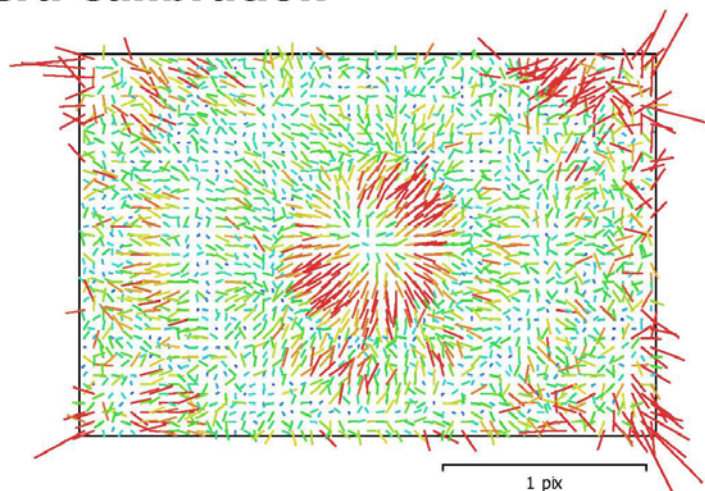


Fig. 2. Image residuals for NIKON D5100 (18 mm).

### NIKON D5100 (18 mm)

318 images

Type **Frame** Resolution **4928 x 3264** Focal Length **18 mm** Pixel Size **4.88 x 4.88  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3858.12</b>	0.025	1.00	0.03	0.07	-0.16	-0.01	-0.37	0.31	-0.26	-0.07	0.05
<b>Cx</b>	<b>8.4898</b>	0.042		1.00	-0.06	-0.02	0.20	-0.00	0.00	0.00	0.80	-0.02
<b>Cy</b>	<b>9.13092</b>	0.038			1.00	0.01	-0.15	-0.01	0.01	-0.01	-0.04	0.75
<b>B1</b>	<b>-0.550699</b>	0.0086				1.00	0.00	-0.01	-0.02	0.03	0.04	0.03
<b>B2</b>	<b>0.123315</b>	0.0082					1.00	-0.00	0.00	-0.00	0.09	-0.01
<b>K1</b>	<b>-0.0839523</b>	3.4e-05						1.00	-0.96	0.89	0.02	-0.01
<b>K2</b>	<b>8.54328e-05</b>	0.00014							1.00	-0.98	-0.01	0.00
<b>K3</b>	<b>0.0181688</b>	0.00017								1.00	0.01	-0.00
<b>P1</b>	<b>-2.37369e-05</b>	2.4e-06									1.00	-0.02
<b>P2</b>	<b>0.000346588</b>	2.3e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

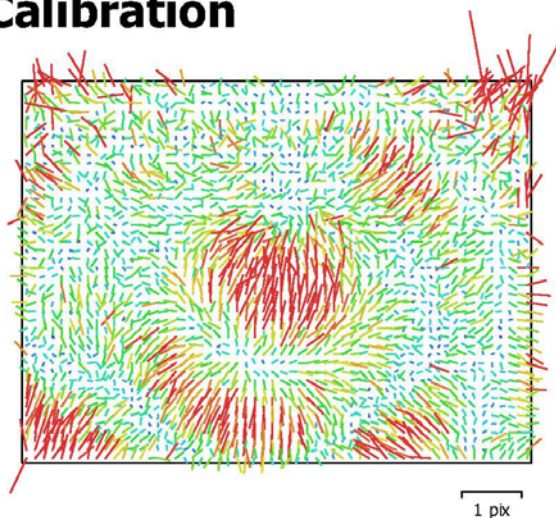


Fig. 3. Image residuals for FC300X (3.61 mm).

### FC300X (3.61 mm)

86 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>3992 x 2992</b>	<b>3.61 mm</b>	<b>1.57 x 1.57 <math>\mu</math>m</b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>2248.05</b>	0.048	1.00	0.05	-0.14	-0.24	-0.01	-0.35	0.34	-0.30	0.00	-0.08
<b>Cx</b>	<b>17.4398</b>	0.063		1.00	-0.06	0.06	0.02	0.01	-0.01	0.01	0.83	-0.06
<b>Cy</b>	<b>-8.11671</b>	0.05			1.00	0.11	-0.02	0.00	-0.02	0.03	-0.05	0.56
<b>B1</b>	<b>-0.400711</b>	0.023				1.00	0.02	-0.03	-0.00	0.01	0.05	0.20
<b>B2</b>	<b>-0.52083</b>	0.02					1.00	-0.00	0.01	-0.00	-0.06	0.02
<b>K1</b>	<b>0.00625006</b>	6.2e-05						1.00	-0.96	0.91	-0.01	-0.04
<b>K2</b>	<b>0.00443059</b>	0.00012							1.00	-0.98	0.01	-0.02
<b>K3</b>	<b>0.0026904</b>	7.5e-05								1.00	-0.01	0.03
<b>P1</b>	<b>0.000277257</b>	8.8e-06									1.00	-0.05
<b>P2</b>	<b>-0.00189567</b>	5.8e-06										1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Calibration

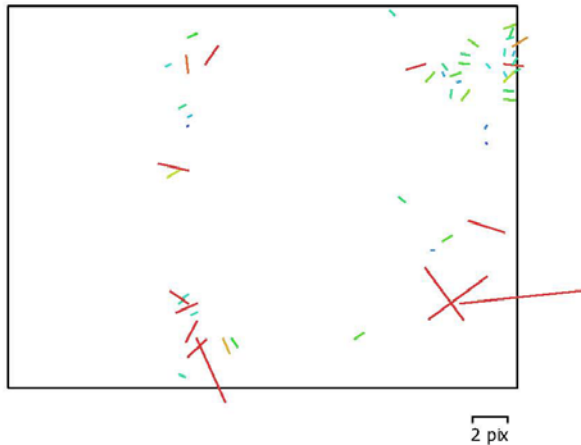


Fig. 4. Image residuals for FC300X (3.61 mm).

## FC300X (3.61 mm)

1 images

Type  
Frame

Resolution  
3890 x 2916

Focal Length  
3.61 mm

Pixel Size  
1.61 x 1.61  $\mu\text{m}$

	Value	Error	B1	B2	K1	P1	P2
<b>F</b>	<b>2247.28</b>						
<b>B1</b>	<b>-2.56838</b>	0.61	1.00	0.07	0.55	-0.67	0.01
<b>B2</b>	<b>-2.29538</b>	0.47		1.00	0.10	0.02	-0.38
<b>K1</b>	<b>-0.00248491</b>	0.00055			1.00	-0.65	0.25
<b>P1</b>	<b>0.00161818</b>	0.0003				1.00	-0.31
<b>P2</b>	<b>-0.000680681</b>	0.00024					1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Ground Control Points

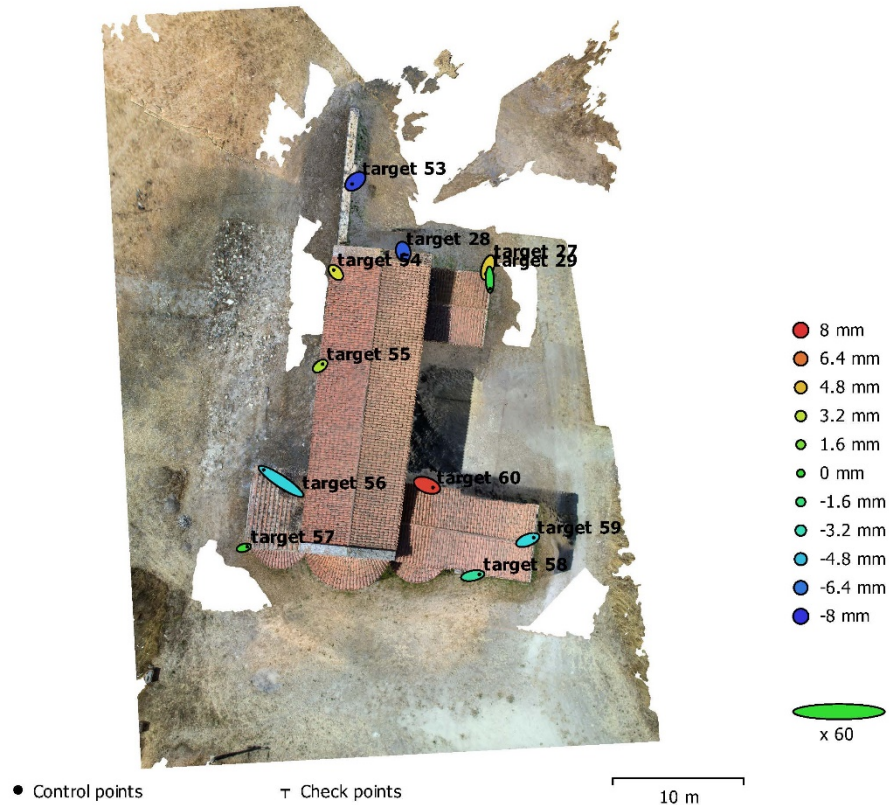


Fig. 5. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
11	1.6448	1.3251	0.477085	2.11217	2.16538

Table 5. Control points RMSE.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
target 27	-0.544917	-1.64925	0.448555	1.79393	0.145 (4)
target 28	0.170023	-0.718649	-0.707114	1.02244	0.000 (1)
target 29	0.0796917	-2.33	-0.0505802	2.33191	0.070 (5)
target 53	-0.824933	-0.70083	-0.756404	1.32054	0.298 (10)
target 54	-0.556049	0.629114	0.388577	0.925185	0.276 (7)
target 55	0.644431	0.489676	0.284588	0.857942	0.209 (6)
target 56	-4.43123	2.94084	-0.420907	5.33493	0.118 (10)
target 57	0.847243	0.252345	0.0182393	0.884212	0.236 (10)
target 58	1.71616	0.326816	-0.258008	1.76595	0.134 (4)
target 59	1.54294	0.613604	-0.415107	1.71158	0.252 (5)
target 60	1.5304	-0.571985	0.761205	1.80243	0.248 (7)
<b>Total</b>	<b>1.6448</b>	<b>1.3251</b>	<b>0.477085</b>	<b>2.16538</b>	<b>0.219</b>

Table 6. Control points.

## Digital Elevation Model

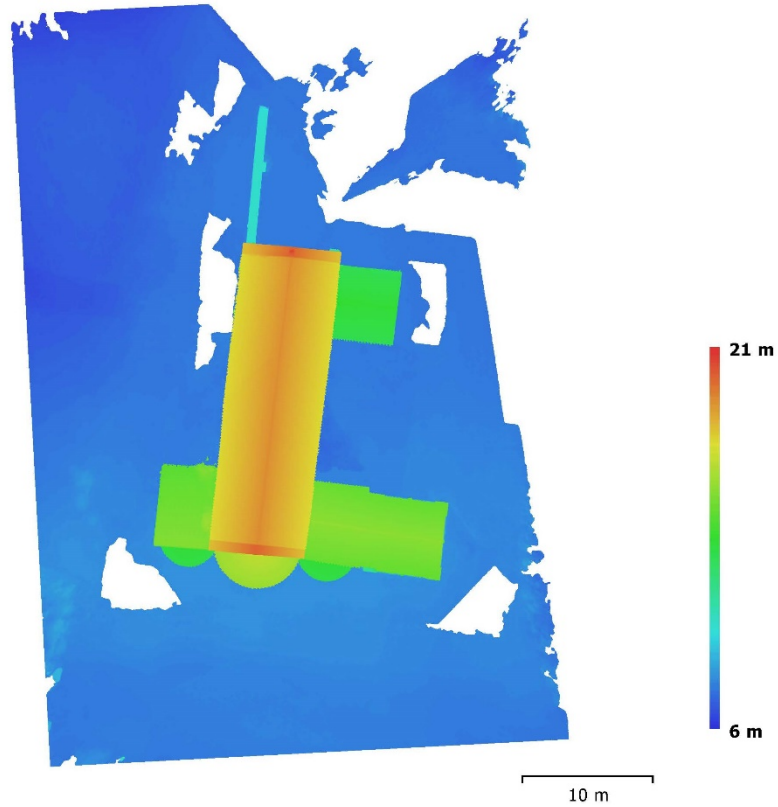


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 4.03 mm/pix  
Point density: 615 points/cm<sup>2</sup>

# Processing Parameters

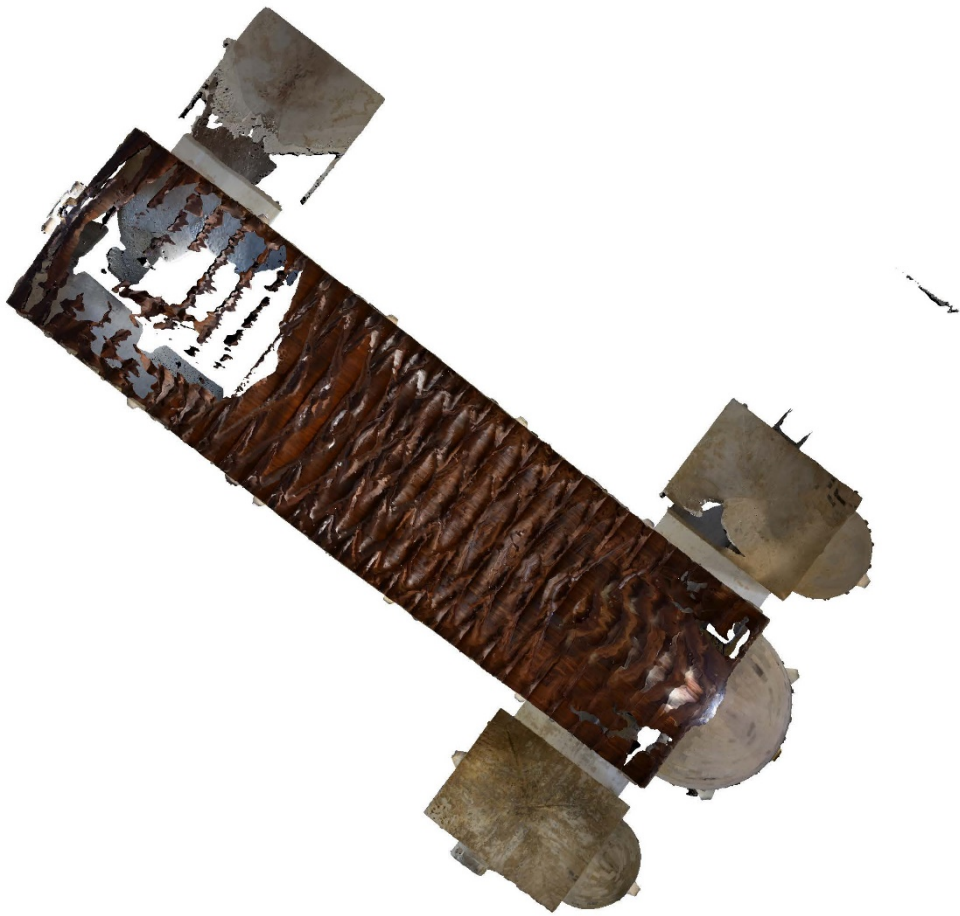
<b>General</b>	
Cameras	405
Aligned cameras	405
Markers	11
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	120,659 of 264,672
RMS reprojection error	0.170411 (0.605096 pix)
Max reprojection error	0.517252 (34.6879 pix)
Mean key point size	3.15181 pix
Effective overlap	7.03637
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	No
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	8 hours 0 minutes
Alignment time	4 minutes 43 seconds
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	111,875,240
<b>Reconstruction parameters</b>	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	1 days 17 hours
Dense cloud generation time	7 hours 46 minutes
<b>Model</b>	
Faces	22,375,039
Vertices	11,202,781
Texture	4,096 x 4,096 x 8, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Face count	22,375,040
Processing time	8 hours 2 minutes
<b>Texturing parameters</b>	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
UV mapping time	6 minutes 43 seconds
Blending time	16 minutes 0 seconds
<b>Orthomosaic</b>	
Size	30,410 x 7,341
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Channels	3, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh

Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	17 minutes 59 seconds
<b>Software</b>	
Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64



# Agisoft PhotoScan

Processing Report  
03 October 2017



## Survey Data

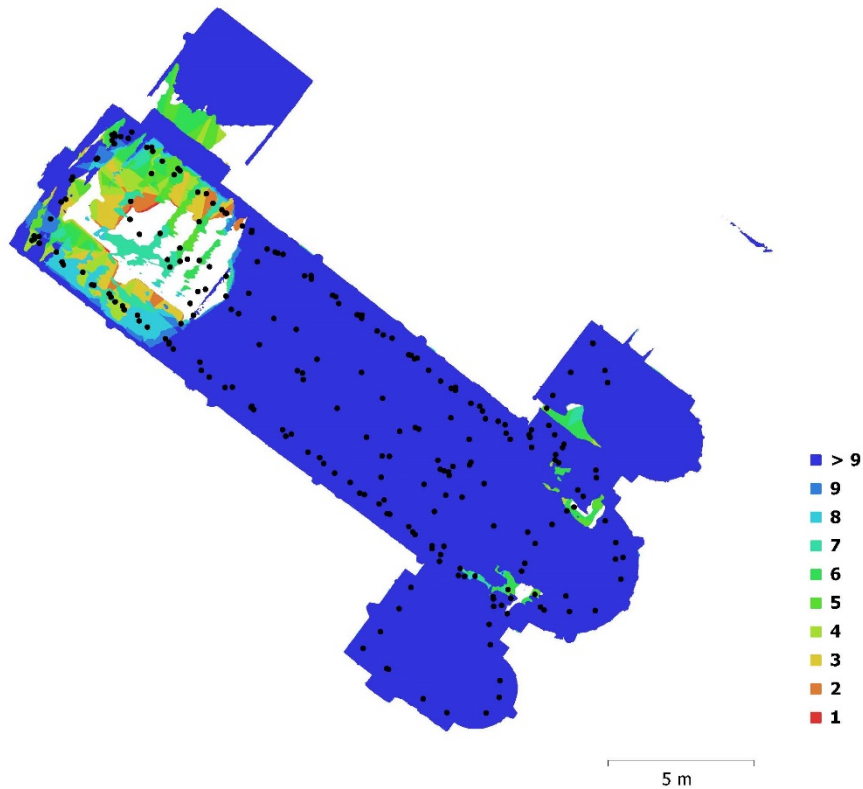


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	240	Camera stations:	240
Flying altitude:	6.33 m	Tie points:	146,280
Ground resolution:	1.42 mm/pix	Projections:	674,329
Coverage area:	193 m <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.964 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
NIKON D5100 (26 mm)	4928 x 3264	26 mm	4.88 x 4.88 $\mu$ m	No
NIKON D5100 (18 mm)	4928 x 3264	18 mm	4.88 x 4.88 $\mu$ m	No
FC300X (3.61 mm)	3992 x 2992	3.61 mm	1.57 x 1.57 $\mu$ m	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

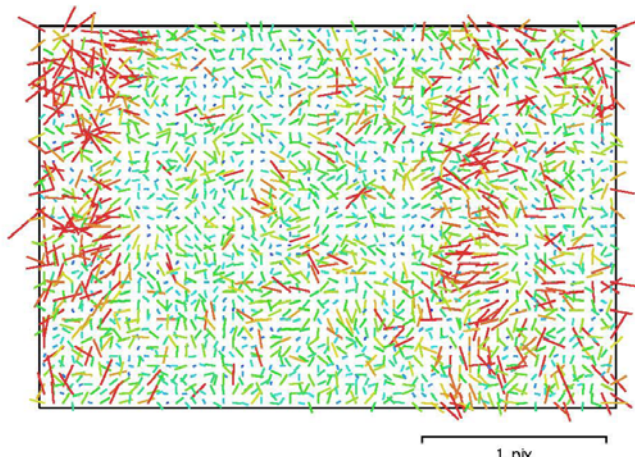


Fig. 2. Image residuals for NIKON D5100 (26 mm).

### NIKON D5100 (26 mm)

116 images

Type **Frame** Resolution **4928 x 3264** Focal Length **26 mm** Pixel Size **4.88 x 4.88  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>5486.86</b>	0.1	1.00	-0.06	-0.04	-0.16	-0.06	-0.32	0.30	-0.27	0.01	0.01
<b>Cx</b>	<b>-0.996336</b>	0.14		1.00	-0.08	-0.26	0.10	-0.01	0.02	-0.03	0.88	-0.10
<b>Cy</b>	<b>5.64085</b>	0.12			1.00	-0.03	-0.30	0.01	-0.02	0.03	-0.10	0.74
<b>B1</b>	<b>0.341573</b>	0.024				1.00	0.04	-0.00	-0.03	0.05	-0.34	0.13
<b>B2</b>	<b>0.0228302</b>	0.022					1.00	-0.01	0.02	-0.03	-0.07	-0.37
<b>K1</b>	<b>-0.0473948</b>	0.00017						1.00	-0.97	0.92	-0.01	-0.00
<b>K2</b>	<b>-0.056813</b>	0.0014							1.00	-0.98	0.01	-0.02
<b>K3</b>	<b>0.168781</b>	0.0032								1.00	-0.01	0.02
<b>P1</b>	<b>-0.00015754</b>	7.5e-06									1.00	-0.08
<b>P2</b>	<b>0.000393372</b>	6.1e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

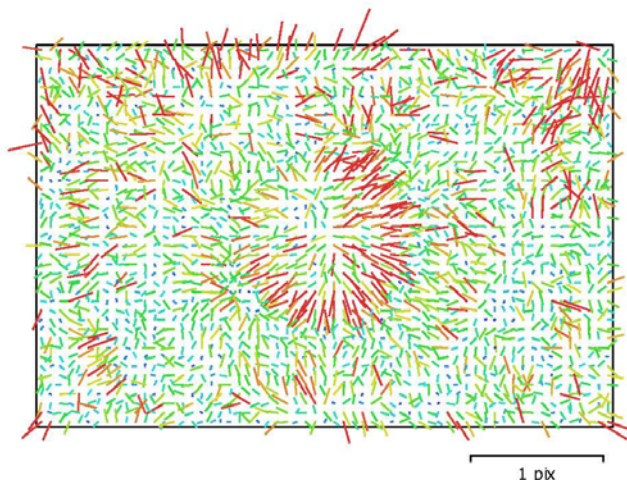


Fig. 3. Image residuals for NIKON D5100 (18 mm).

### NIKON D5100 (18 mm)

86 images

Type **Frame** Resolution **4928 x 3264** Focal Length **18 mm** Pixel Size **4.88 x 4.88  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3852.59</b>	0.052	1.00	-0.07	-0.03	-0.32	-0.01	-0.40	0.38	-0.35	-0.05	0.07
<b>Cx</b>	<b>14.1738</b>	0.084		1.00	-0.06	0.06	0.06	-0.02	0.01	-0.01	0.90	-0.04
<b>Cy</b>	<b>6.0416</b>	0.07			1.00	-0.06	-0.07	0.02	-0.04	0.04	-0.06	0.64
<b>B1</b>	<b>0.3695</b>	0.021				1.00	0.00	0.05	-0.07	0.07	0.05	0.00
<b>B2</b>	<b>-0.142752</b>	0.02					1.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.05
<b>K1</b>	<b>-0.0849161</b>	7.4e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.01	-0.03
<b>K2</b>	<b>0.000987187</b>	0.00027							1.00	-0.98	0.00	0.01
<b>K3</b>	<b>0.0164252</b>	0.00029								1.00	0.00	-0.01
<b>P1</b>	<b>0.000216477</b>	5e-06									1.00	-0.03
<b>P2</b>	<b>0.000284065</b>	3.4e-06										1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Calibration

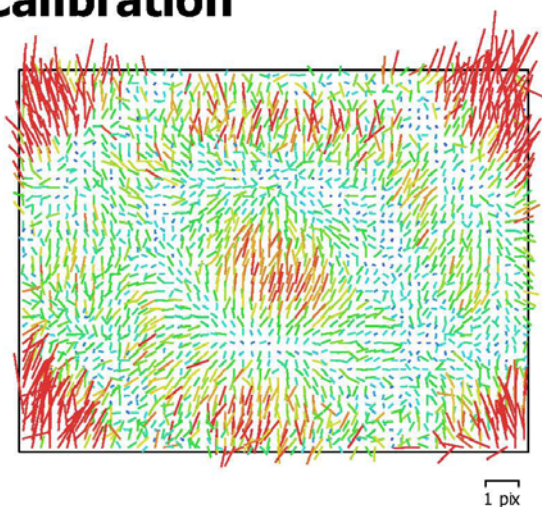


Fig. 4. Image residuals for FC300X (3.61 mm).

### FC300X (3.61 mm)

38 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size  
**Frame 3992 x 2992 3.61 mm 1.57 x 1.57  $\mu$ m**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>2250.63</b>	0.19	1.00	0.09	-0.09	0.01	0.04	-0.18	0.19	-0.17	0.02	-0.01
<b>Cx</b>	<b>15.3435</b>	0.12		1.00	-0.09	-0.04	-0.09	0.01	-0.01	0.01	0.74	0.02
<b>Cy</b>	<b>-7.45502</b>	0.14			1.00	0.12	-0.08	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.44
<b>B1</b>	<b>-0.0925108</b>	0.046				1.00	-0.04	0.01	-0.02	0.02	0.02	0.02
<b>B2</b>	<b>2.1319</b>	0.036					1.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.11	0.04
<b>K1</b>	<b>0.00554312</b>	0.00016						1.00	-0.97	0.92	0.01	-0.01
<b>K2</b>	<b>0.00443884</b>	0.00035							1.00	-0.98	-0.01	0.00
<b>K3</b>	<b>0.000415228</b>	0.00023								1.00	0.01	-0.01
<b>P1</b>	<b>0.000178908</b>	1.5e-05									1.00	0.03
<b>P2</b>	<b>-0.00156865</b>	8.8e-06										1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

## Camera Location

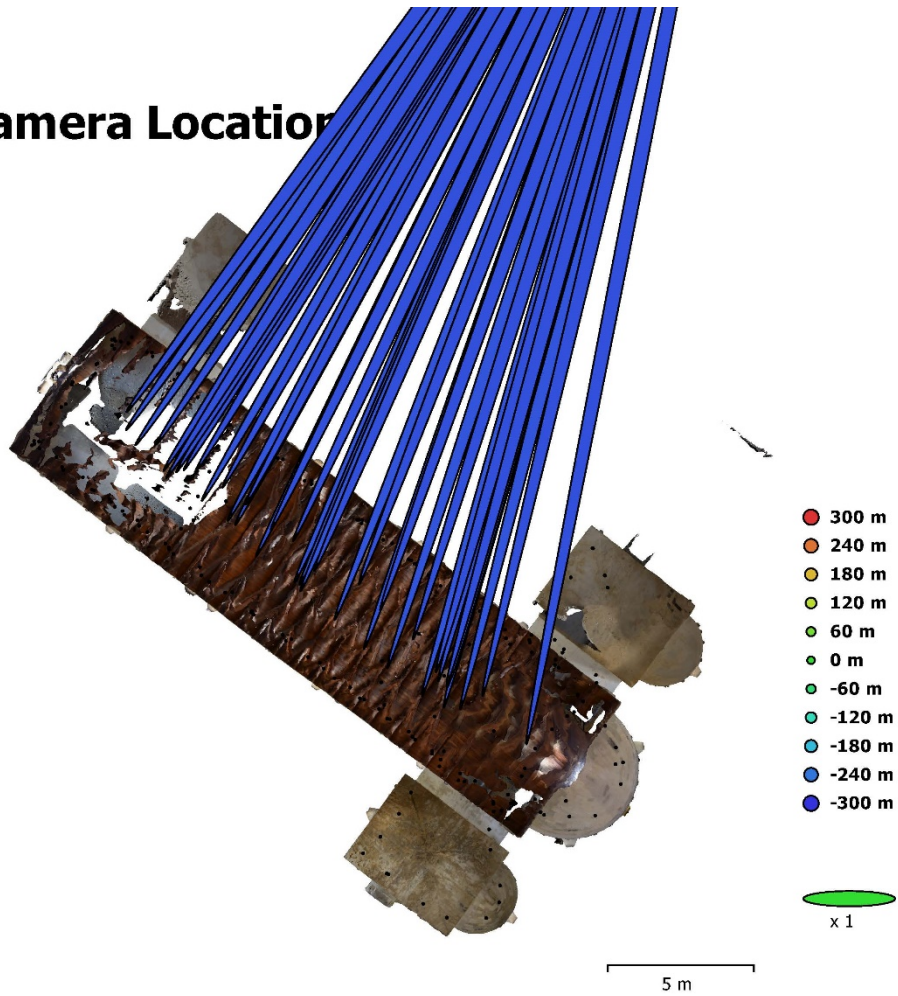


Fig. 5. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
16.0619	35.4136	273.782	38.8858	276.53

Table 5. Average camera location error.

## Ground Control Points

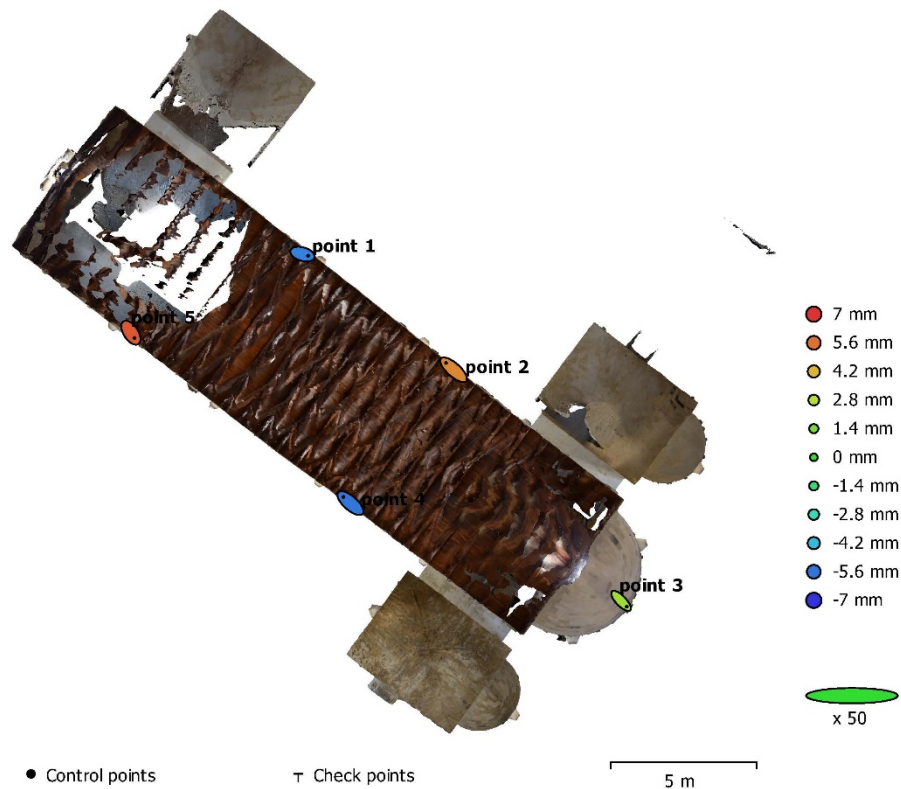


Fig. 6. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
5	0.829194	0.751648	0.509261	1.11917	1.22959

Table 6. Control points RMSE.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
point 1	0.765521	-0.220578	-0.534223	0.959204	0.005 (13)
point 2	-1.04964	0.944576	0.517031	1.50376	0.007 (17)
point 3	0.774738	-0.796913	0.224782	1.13394	0.005 (15)
point 4	-0.957635	0.841708	-0.561799	1.39325	0.005 (17)
point 5	0.482464	-0.735156	0.614713	1.07289	0.004 (18)
<b>Total</b>	<b>0.829194</b>	<b>0.751648</b>	<b>0.509261</b>	<b>1.22959</b>	<b>0.005</b>

Table 7. Control points.



## Digital Elevation Model

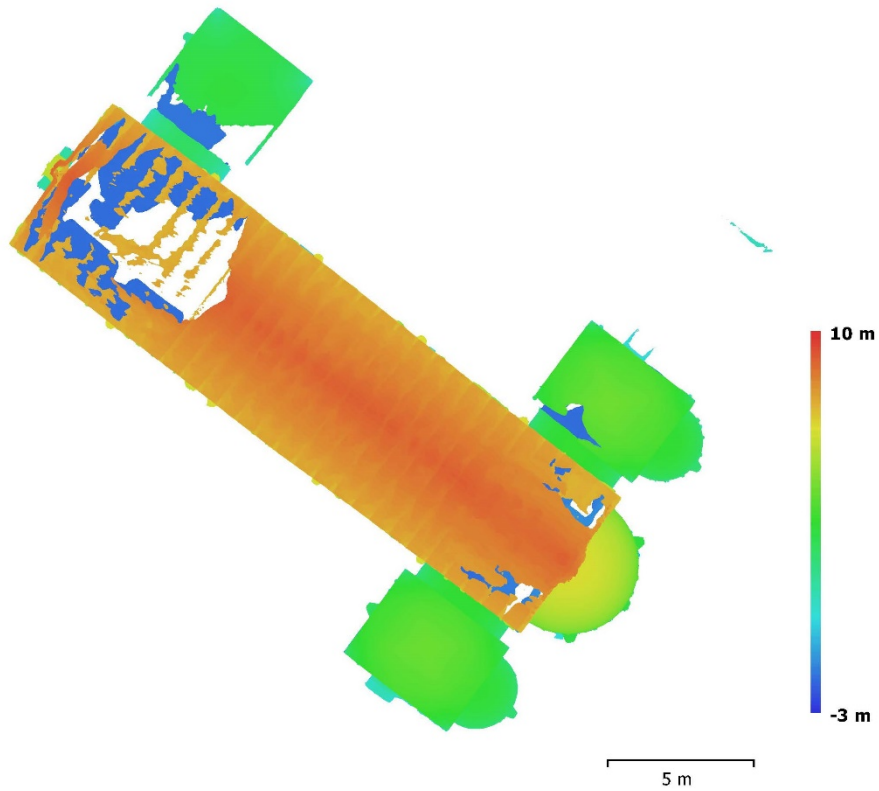


Fig. 7. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 2.84 mm/pix  
Point density: 1.24e+03 points/cm<sup>2</sup>

# Processing Parameters

<b>General</b>	
Cameras	240
Aligned cameras	240
Markers	5
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	146,280 of 224,799
RMS reprojection error	0.18328 (0.964471 pix)
Max reprojection error	0.701224 (28.8565 pix)
Mean key point size	4.49924 pix
Effective overlap	5.24837
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	No
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	2 hours 51 minutes
Alignment time	4 minutes 3 seconds
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	7 seconds
<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	124,041,534
<b>Reconstruction parameters</b>	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	7 hours 32 minutes
Dense cloud generation time	2 hours 16 minutes
<b>Model</b>	
Faces	24,821,301
Vertices	12,428,928
Texture	4,096 x 4,096 x 8, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Face count	24,821,302
Processing time	10 hours 42 minutes
<b>Texturing parameters</b>	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
UV mapping time	5 minutes 6 seconds
Blending time	11 minutes 10 seconds
<b>Software</b>	
Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64

## Register report

Date: mar ott 3 2017 00:40:12  
Build with: Z+FLaserControl 8.4.6.12391  
Project: 'salvennero'  
Master scan position: 1  
13 scans in 13 scan positions  
13 of 13 scan positions used for registration  
13 of 13 scans registered

### Standard deviation of the targets, calculated from the scan data (13 Scans)

Result registration scan to scan average: 2.2274 mm std: 1.3853 mm min:0.2651 mm max: 4.1430 mm used targets:37

## Scan position '1'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 0.0000 m 0.0000 m 0.0000 m

Result registration scan to scan average:1.7340 mm std:1.6320 mm min:0.0330 mm max:3.7480 mm used:4 targets

Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'20'	0.9	0.2	0.8	-0.4	activated	used	1
2.	'21'	2.3	0.6	2.1	0.7	activated	used	2
3.	'22'	3.7	-1.0	-3.6	-0.5	activated	used	1
4.	'23'	0.0	0.0	-0.0	0.0	activated	used	1

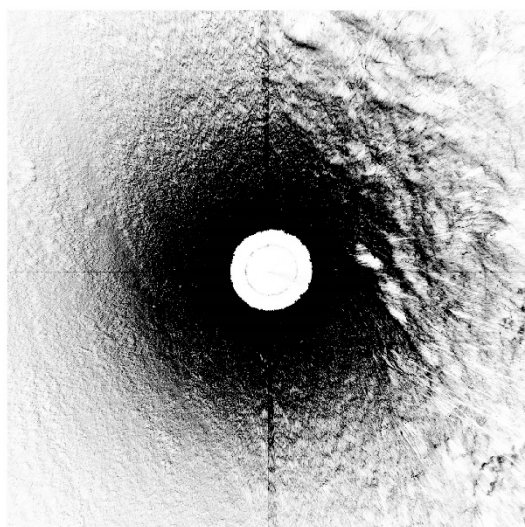
## Scan 'scan1'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'Normal'

Operator 'luca'

User comment 'scansione esterna san michele salvennero'



## Scan position '10'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation -29.2865 m 4.8683 m 0.9509 m

Result registration scan to scan average:3.1680 mm std:3.4420 mm min:0.8250 mm max:9.6830 mm used:6 targets

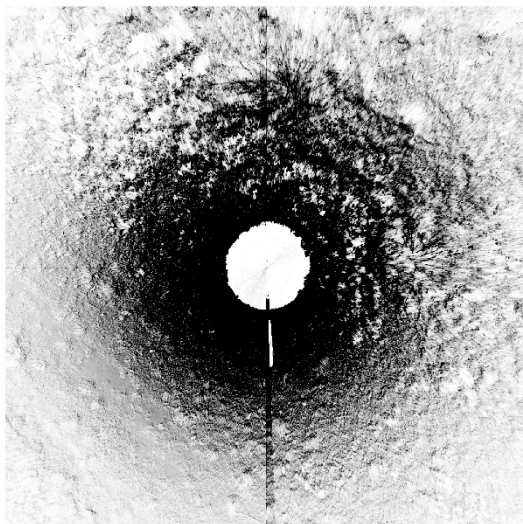
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'42'	0.8	0.4	0.7	-0.3	activated	used	3
2.	'41'	0.8	-0.4	0.7	-0.0	activated	used	2
3.	'39'	3.8	-0.6	-0.6	-3.7	activated	used	2
4.	'43'	9.7	0.4	0.8	9.6	activated	used	1
5.	'36'	3.0	-0.2	-1.0	-2.8	activated	used	2
6.	'44'	0.8	0.5	-0.6	-0.3	activated	used	2

## Scan 'scan10'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'Normal'

Operator 'luca'



## Scan position '11'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation -31.0172 m -4.2827 m 1.1254 m

Result registration scan to scan average:3.9370 mm std:2.7460 mm min:0.9350 mm max:9.6830 mm used:7 targets

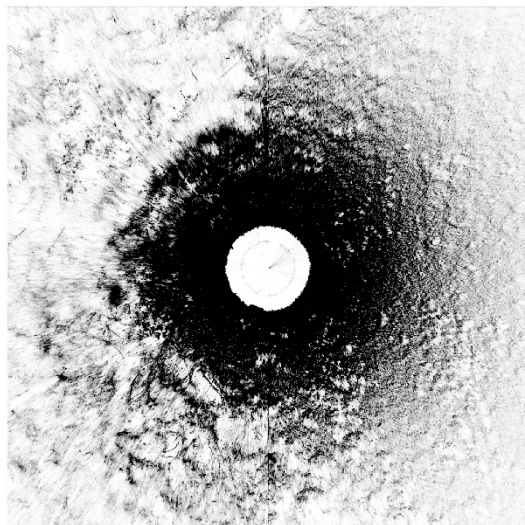
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'42'	0.9	0.1	-0.9	0.3	activated	used	3
2.	'39'	3.8	0.5	0.1	3.7	activated	used	2
3.	'38'	2.3	2.3	-0.1	-0.1	activated	used	2
4.	'43'	9.7	-0.4	-0.8	-9.6	activated	used	1
5.	'37'	3.7	-2.7	-2.5	0.1	activated	used	2
6.	'36'	3.9	1.1	1.0	3.5	activated	used	2
7.	'44'	3.4	-1.0	3.2	-0.4	activated	used	2

## Scan 'scan11'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'Normal'

Operator 'luca'



## Scan position '12'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation -20.4043 m -12.1518 m 1.2061 m

Result registration scan to scan average:2.3390 mm std:1.2290 mm min:1.1620 mm max:3.8840 mm used:4 targets

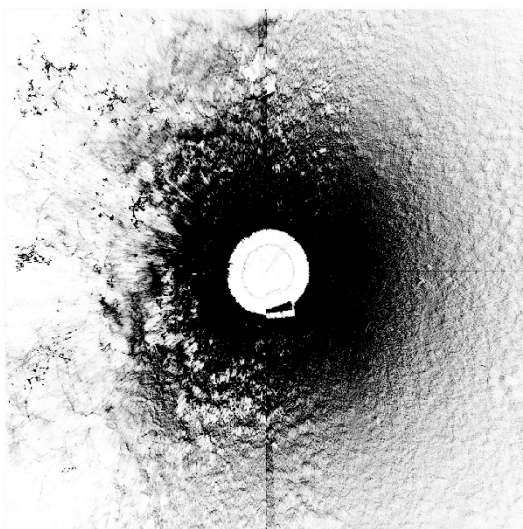
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'38'	1.6	1.0	-1.2	-0.2	activated	used	2
2.	'37'	3.9	-0.5	3.8	0.3	activated	used	2
3.	'36'	1.2	-0.9	-0.1	-0.7	activated	used	2
4.	'44'	2.7	0.5	-2.6	0.7	activated	used	2

## Scan 'scan12'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'Normal'

Operator 'luca'



## Register report

Date: mar ott 3 2017 00:28:02  
Build with: Z+FLaserControl 8.4.6.12391  
Project: 'smichele interno'  
Master scan position: 1  
8 scans in 8 scan positions  
8 of 8 scan positions used for registration  
8 of 8 scans registered

### Standard deviation of the targets, calculated from the scan data (8 Scans)

Result registration scan to scan average:1.2212 mm std:0.7874 mm min:0.2459 mm max:3.4630 mm used targets:35



## Scan position '1'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 0.0000 m 0.0000 m 0.0000 m

Result registration scan to scan average:1.1910 mm std:1.0410 mm min:0.2460 mm max:3.1160 mm used:6 targets

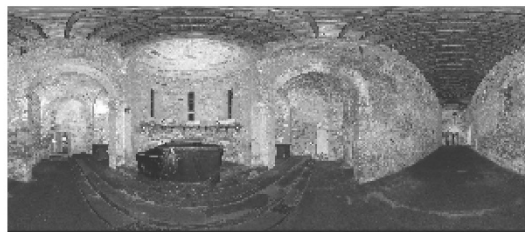
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'46'	0.2	-0.1	-0.1	0.2	activated	used	4
2.	'47'	1.1	-1.1	-0.2	-0.1	activated	used	4
3.	'21'	0.8	-0.4	0.7	-0.2	activated	used	3
4.	'45'	3.1	3.1	-0.3	0.1	activated	used	3
5.	'22'	1.4	-1.4	-0.0	-0.5	activated	used	3
6.	'24'	0.4	-0.0	-0.1	0.4	activated	used	3

## Scan 'smichele interno1'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'High'

Operator 'luca'



## Scan position '2'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 3.2912 m -2.4059 m 0.5770 m

Result registration scan to scan average:1.4990 mm std:0.5010 mm min:0.9730 mm max:2.3290 mm used:5 targets

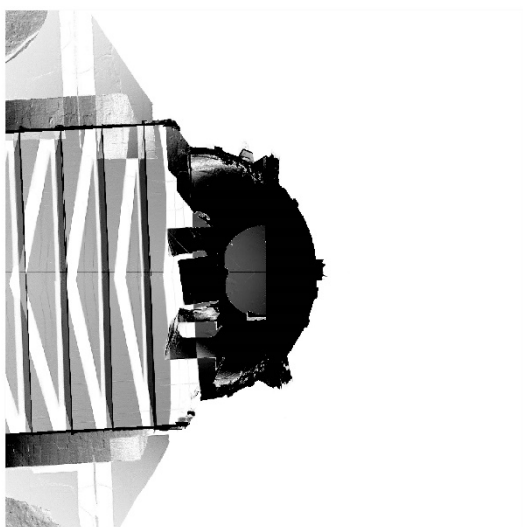
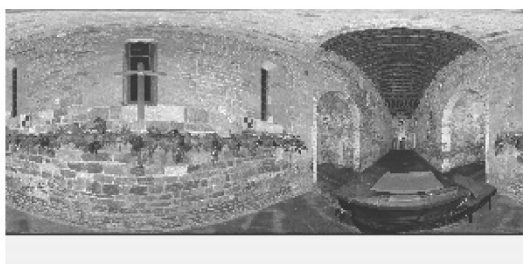
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'47'	1.0	0.6	0.7	0.1	activated	used	4
2.	'46'	1.4	-0.2	-1.4	-0.0	activated	used	4
3.	'22'	1.5	0.4	1.4	0.2	activated	used	3
4.	'45'	2.3	-2.0	-1.1	0.2	activated	used	3
5.	'24'	1.3	1.2	0.4	-0.5	activated	used	3

## Scan 'smichele interno2'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'High'

Operator 'luca'



### Scan position '3'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation -3.3018 m -4.3737 m -0.0485 m

Result registration scan to scan average:1.6030 mm std:0.7720 mm min:0.9140 mm max:2.5800 mm used:4 targets

Targets

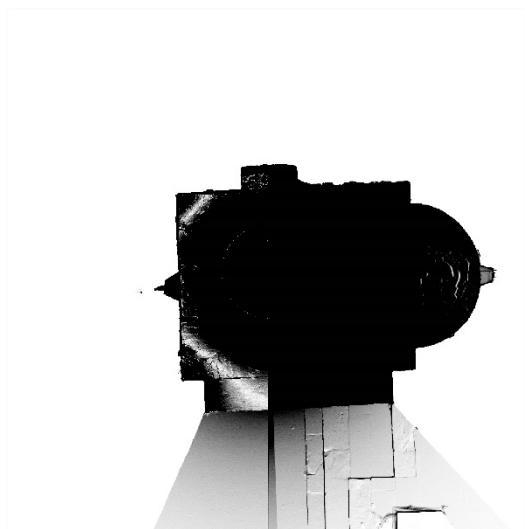
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'21'	0.9	0.9	0.1	0.1	activated	used	3
2.	'46'	1.9	-0.9	1.6	-0.4	activated	used	4
3.	'22'	2.6	0.9	-2.4	0.3	activated	used	3
4.	'24'	1.1	-0.9	0.6	0.1	activated	used	3

### Scan 'smichele interno3'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'High'

Operator 'luca'



## Scan position '4'

Status registration 'registered with bundleadjustment'

Translation 3.1505 m 3.9987 m -0.0267 m

Result registration scan to scan average:0.9960 mm std:0.5860 mm min:0.3150 mm max:1.7160 mm used:6 targets

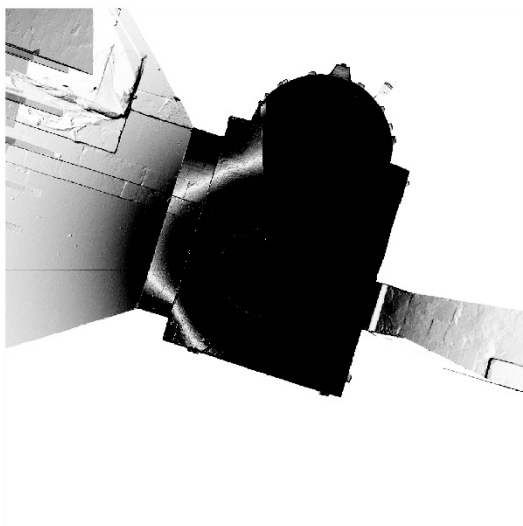
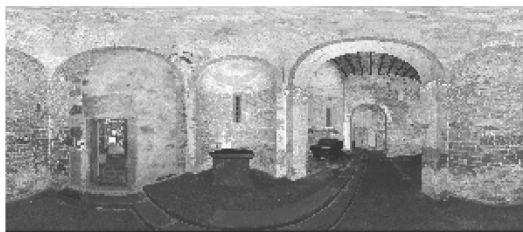
Targets								
Nr	Target	d[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	use	status	quantity
1.	'22'	1.0	0.0	1.0	0.0	activated	used	3
2.	'45'	1.7	1.6	-0.6	-0.4	activated	used	3
3.	'35'	1.7	-1.4	0.8	0.4	activated	used	2
4.	'21'	0.6	-0.1	-0.6	0.1	activated	used	3
5.	'47'	0.6	-0.3	-0.5	-0.1	activated	used	4
6.	'39'	0.3	0.3	0.1	-0.0	activated	used	1

## Scan 'smichele interno4'

Scanner 'Z+F IMAGER 5006h' serial number '1118'

Scan resolution 'Superhigh' quality 'High'

Operator 'luca'



### 3.5. L'analisi della stratificazione muraria

L'analisi stratigrafica muraria è stata realizzata attraverso la lettura autoptica degli elevati, svolta durante le campagne di indagine archeologica del 2014, 2016 e 2017, e il supporto dei rilievi tridimensionali opportunamente trattati per far risaltare alcune anomalie non ben visibili a occhio nudo, soprattutto nella parte alta delle murature.

Il rilievo e lo studio delle stratigrafie degli elevati costituisce un'operazione analitica utile per lo studio architettonico del monumento, oltre che, come nel caso di Salvennor, funzionale alla ricostruzione virtuale del complesso monastico.

L'individuazione della sequenza stratigrafica relativa degli elevati e i rapporti fisici che intercorrono tra ciascuna USM sono una procedura di analisi imprescindibile se si vuole documentare e comprendere la successione dei lavori di adattamento o restauro<sup>336</sup>.

L'analisi effettuata sull'edificio ecclesiastico è stata condotta su una situazione già particolarmente compromessa da restauri eseguiti nel secolo scorso, comprendenti la sostituzione di numerose porzioni di paramento esterno.

La strategia dell'intervento si è attuata su diversi livelli di analisi: il primo, quello autoptico, è avvenuto durante le campagne d'indagine archeologica, attraverso eidotipi e fotografie acquisite a diverse ore della giornata e con differenti condizioni di luce; il secondo ha utilizzato il supporto digitale come strumento per letture più approfondite, grazie all'elevato dettaglio delle *texture* e delle *mesh* realizzate.

---

<sup>336</sup> Sul metodo stratigrafico murario cfr. BROGIOLO 1988; PARENTI 1990; 2000.



Figg. 92, 93. I prospetti occidentale, in alto, e orientale della chiesa elaborato con Photoscan.



Figg. 94, 95. I prospetti settentrionale, in alto, e meridionale della chiesa elaborato con Photoscan.

L'analisi delle stratificazioni condotta sui modelli digitali ha permesso un diverso approccio allo studio degli elevati, consentendo verifiche puntuali rispetto ad alcune situazioni dubbie. Queste ultime sono state risolte tramite le elaborazioni relative al modello digitale, che, grazie alla qualità fotorealistica e al dettaglio della mesh, ha permesso una lettura del monumento in condizioni di luce radente simulata.

Attraverso alcuni strumenti offerti dal software Meshlab, con una semplice combinazione di tasti sono stati creati dei fasci di luce artificiale, orientandoli sul modello per favorirne la lettura.

In questo modo è stato possibile illuminare con luce radente le strutture ed evidenziare alcune anomalie non chiaramente visibili nelle immagini o nel modello 3D.

Come si vede dalla fig. 96, l'orientamento dei fasci di luce (in alto a sinistra) permette di esaltare eventuali anomalie rilevate nel paramento settentrionale della chiesa, poco visibili anche dal vero, ottenendo una migliore definizione dei limiti della tamponatura (USM 3516).

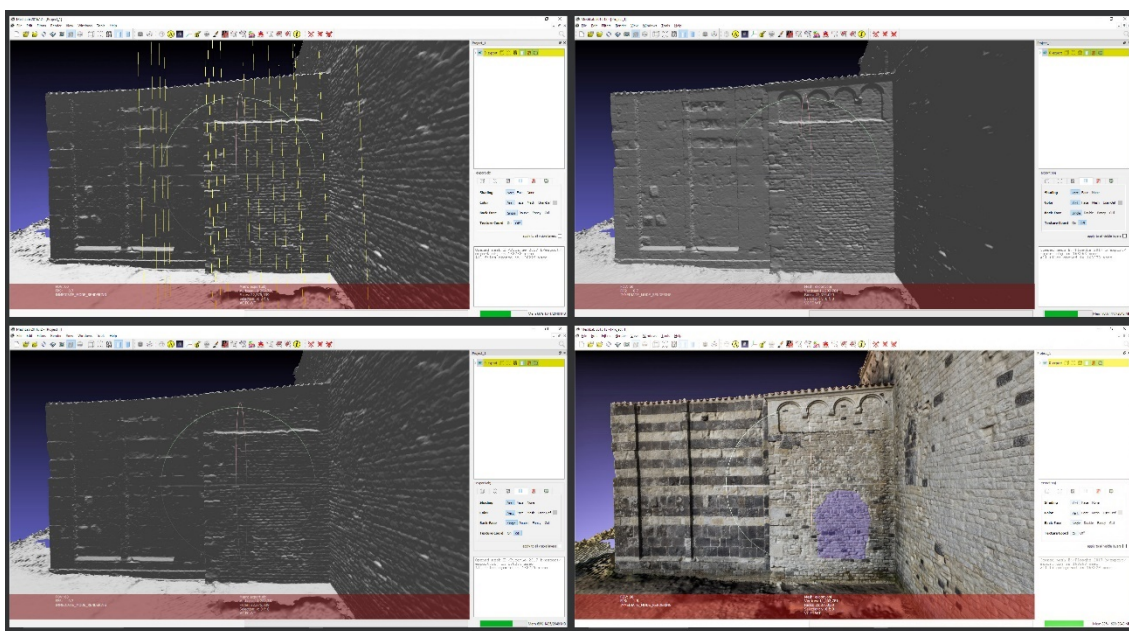


Fig. 96. Alcune fasi dell'analisi stratigrafica muraria con Meshlab.

L'analisi della stratificazione muraria, sia nello studio autoptico sia in quello effettuato sul modello digitale, ha permesso di definire la sequenza degli interventi che hanno interessato la struttura fino ai giorni nostri.

La successione dei rapporti fisici possibili tra unità stratigrafiche murarie è differente rispetto a una stratigrafia orizzontale condizionata da processi deposizionali verticali.

La tradizionale documentazione grafica impone la redazione di un rilievo grafico, realizzato direttamente sul campo, ad una scala prefissata (1:20 oppure 1:50 in caso di strutture edilizie di notevoli dimensioni) sul quale evidenziare le USM individuate durante l'analisi autoptica.

Questa procedura risulta molto lunga e non priva di errori a causa dell'impossibilità di poter analizzare l'intera superficie dell'edificio.

L'approccio operativo messo in campo per San Michele di Salvennor ha consentito l'utilizzo di strumenti digitali per velocizzare la fase di restituzione geometrico-dimensionale delle strutture dell'edificio e curarne l'analisi.

La possibilità di realizzare fotopiani ortogonali delle strutture dal software Photoscan ha agevolato il processo di analisi sul terreno, grazie alle immagini visualizzate direttamente su tablet, sulle quali è stato possibile intervenire con appunti e segni grafici.

Per disegnare sui fotopiani dell'edificio si è utilizzata un'applicazione gratuita della Autodesk<sup>337</sup>, SketchBook, in grado d'importare un'immagine e modificarla con testi e disegni a mano libera.

In questo modo l'intero processo di analisi, iniziato con il tradizionale "schizzo a mano libera" effettuato per un primo approccio al monumento, si è evoluto con strumenti tecnologici più efficienti e con un maggiore livello di dettaglio.

L'analisi stratigrafica muraria è proseguita con la definizione delle singole USM sull'immagine e, evidenziando ogni singola azione visibile, si sono appuntate le informazioni per la redazione delle schede di unità stratigrafica muraria.

Il vantaggio che il modello tridimensionale ha offerto nella lettura dell'edificio riguarda la rapidità e la facilità con cui è stato possibile mettere in relazione paramenti interni ed esterni e osservare contemporaneamente l'edificio da più angolazioni e con prospettive e luci differenti.

---

<sup>337</sup> L'applicazione è disponibile nello store Android gratuitamente al seguente indirizzo verificato nel settembre 2017: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.adsk.sketchbook&hl=it>.





Fig. 97. Il primo eidotipo realizzato per l'analisi stratigrafica muraria e il successivo lavoro di identificazione delle USM su tablet con l'applicazione Autodesk SketchBook.

La chiesa ha subito importanti interventi di restauro in relazione agli elementi decorativi e ai paramenti ma non è stata interessata da trasformazioni architettoniche, eccezion fatta per la cappella settentrionale chiaramente aggiunta successivamente alla navata.

Dall'analisi sembrerebbe che l'edificio conservi una sostanziale omogeneità progettuale e cronologica rispetto ai due interventi sopraindicati: la costruzione della cappella e della copertura voltata a crociera in età moderna e i pesanti interventi di consolidamento delle murature intorno alla prima metà del XX secolo. Tali interventi, pur non alterando planimetricamente l'impianto originario, hanno modificato l'aspetto delle apparecchiature murarie, integrando o sostituendo intere porzioni superficiali delle murature. Secondo il Delogu, infatti, l'intera superficie della facciata venne integralmente sostituita nei lavori di restauro svolti nel 1912. Sempre in quell'occasione venne creato un nuovo oculo centrale in facciata, occludendo quello precedente di forma quadrangolare. Questo è documentato dai disegni dello Spano e nella fotografia che ritrae la chiesa ai primi del Novecento (fig. 70).

Sempre il Delogu afferma che la parasta angolare di sinistra venne reinventata con l'inserimento di listature precedentemente non presenti.

Ciò può essere avvalorato dal fatto che in entrambe le paraste, destra e sinistra, sono presenti gli archetti relativi alla struttura, che, come a Saccargia, doveva essere presente a San Michele sulla fronte della facciata. Nel rimontare gli elementi architettonici vi fu

un errore di quota, evidenziato dalle differenti altezze delle imposte delle arcate sono attualmente a due altezze differenti.

Come si vede nella figura sottostante le due bande colorate segnano i due livelli del medesimo piano su cui doveva sorgere l'edicola antistante la facciata.

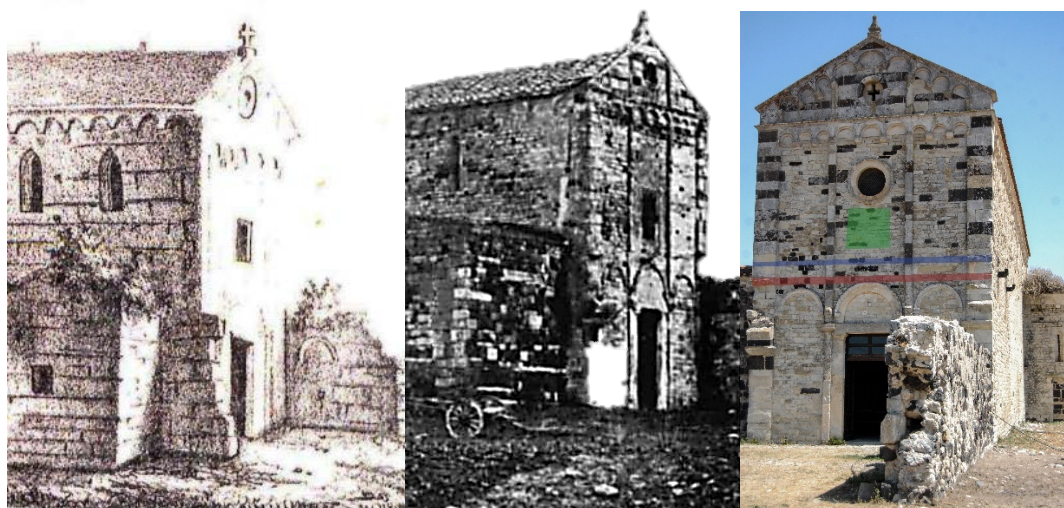


Fig. 98. La facciata della chiesa nei vari periodi: in un disegno dello Spano nell'Ottocento, in una foto ai primi del Novecento e un'immagine attuale con i due differenti livelli delle arcate.

Il medesimo discorso va fatto per l'oculo dello specchio mediano, originariamente più basso e di forma quadrangolare, che appare ricostruito nei restauri d'inizio Novecento<sup>338</sup>. Delogu riferisce inoltre che lo stesso trattamento venne riservato alle absidi, in cui il paramento esterno venne interamente sostituito con materiale lapideo moderno e che all'esterno venne sostituita integralmente la serie di archeggiature poste nei fianchi<sup>339</sup>.

Gli interventi suddetti furono svolti in base al "Progetto di restauro della Chiesa di S. Michele di Salvenero in comune di Ploaghe", redatto da Dionigi Scano in data 11.06.1908. Nella documentazione reperita si legge che "Il progetto fu predisposto con un primo stralcio esecutivo dell'importo di L. 1.900 ed i lavori furono eseguiti tra il maggio e il luglio 1909. I lavori consistettero nella demolizione di una volta di epoca posteriore, cui si attribuì la causa degli ampi dissesti riscontrati nelle murature, e nell'esecuzione di vari restauri e rifacimenti degli archetti, del paramento dei murilaterali

<sup>338</sup> All'inizio del XX secolo il restauro era interpretato come un'operazione restitutiva della condizione originaria del monumento e secondo questa impostazione furono eseguiti gli interventi nelle chiese di San Michele e di Saccargia.

<sup>339</sup> Informazioni tratte da DELOGU 1953, p. 83, nota 50.

e dell'abside. Con un secondo stralcio esecutivo (perizia 26.2.1910, L. 8.000 e variante 4.5.1911, L. 1.127), furono poi realizzati, tra il maggio 1911 e il novembre 1912, i lavori di completo rifacimento del tetto, il consolidamento delle murature e il ripristino della facciata<sup>340</sup>.

Le maestranze erano rappresentate dall'Impresa G. Manunza con l'assistenza di Perroni. Gli interventi realizzati secondo il progetto dello Scano hanno purtroppo modificato pesantemente i paramenti murari rendendo difficile in varie parti la lettura del tessuto murario originario.

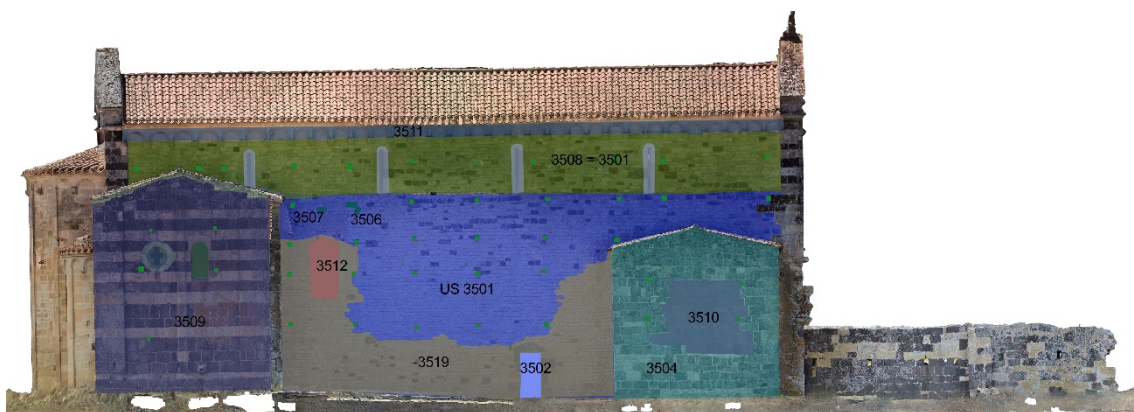


Fig. 99. L'analisi stratigrafica muraria del settore settentrionale della chiesa.



Fig. 100. L'analisi stratigrafica muraria del settore occidentale della chiesa.

<sup>340</sup> Riferimento archivio ACS, IV vers. Div. I (1913 – 15), B. 580.




Fig. 101. L'analisi stratigrafica muraria del settore meridionale della chiesa.




Fig. 102. L'analisi stratigrafica muraria del settore orientale della chiesa.

### **3.6 Le schede USM**

<b>USM</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE				Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
			SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO				
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/1	ELEVATO	USM 3501	
TECNICA MURARIA Paramenti in pietra quadrata	MODULO		CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali	SEZIONI Digitali		PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Struttura muraria nord della navata							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI PRIMARIO			STATO DI CONSERVAZIONE Buono		MISURE 7 m. altezza 17. m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
<b>GEOL</b>	<b>PEZZATURA</b>	<b>DIMENSIONI</b>	<b>LAVORAZIONE</b>	<b>TAGLIO</b>	<b>FORMA</b>	<b>DISPOSIZIONE</b>	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	<b>TIPO</b>	<b>CONSISTENZA</b>	<b>COLORE</b>	<b>INERTI</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>RIFINITURA</b>	
<b>LEGANTE</b>	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. 1.75 CM MIN. 1 CM	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
La struttura muraria della navata nord presenta omogeneità nella tecnica e nei materiali utilizzati. Tra questi, di tipologie diverse, prevale nettamente il calcare rispetto alla trachite. Sono presenti delle buche pontae in numero di 35, realizzate in modo molto regolare formano una maglia di 5 righe per 6 colonne quasi complete. Di forma rettangolare sono simili per dimensioni e profondità.							


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3502, 3504, 3506	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3503, 3505
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>  L'USM è relativa al lato esterno nord della navata, parte inferiore				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b> XI SECOLO RESTAURI XX SECOLO				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>USM</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 20XIII	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/1	ELEVATO	USM 3502
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Tamponatura lungo il lato settentrionale della navata.						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 171 cm. altezza 65 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
<b>GEOL</b>	<b>PEZZATURA</b>	<b>DIMENSIONI</b>	<b>LAVORAZIONE</b>	<b>TAGLIO</b>	<b>FORMA</b>	<b>DISPOSIZIONE</b>
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	<b>TIPO</b>	<b>CONSISTENZA</b>	<b>COLORE</b>	<b>INERTI</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>RIFINITURA</b>
<b>LEGANTE</b>	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
La tamponatura è realizzata con blocchi di differente pezzatura, minore nella parte bassa, per i primi quattro filari e maggiore in quella superiore per tre filari.						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3501	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La tamponatura venne realizzata per obliterare la cosiddetta porta Santa nel 1857 <sup>341</sup> .				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<sup>341</sup> CORONEO 1993, sch. 54.

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3503
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura occidentale con direzione Sud-Nord facente parte della cappella edificata sul lato nord ovest della chiesa.						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 5 m. altezza 4.89 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM, edificata con materiale di reimpiego è il muro est della cappella edificata lungo il lato nord della navata, adiacente alla facciata. Composta da pietre lavorate in calcare e trachite locale, mostra una tessitura incoerente e pezzame disomogeneo.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b> <b>3504, 3505</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b> <b>3501</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3518	<b>SI APPOGGIA A</b> <b>3501</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3518
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
È probabile che si tratti di un intervento di sistemazione della chiesa avvenuto tra il XVIII e i primi anni del XIX secolo <sup>342</sup> . L'architettura, chiaramente eseguito con materiale di recupero, verosimilmente prelevato <i>in loco</i> dai crolli del monastero, dimostra chiaramente un intervento posticcio.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<sup>342</sup> SPANO 1858, p. 118.

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3504
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura con direzione Est-Ovest facente parte della cappella edificata sul lato nord occidentale della chiesa						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 5.70 m. altezza 5.5 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM, edificata con materiale di reimpiego è il muro nord della cappella edificata lungo il lato settentrionale della navata, adiacente alla facciata. Composta da pietre lavorate in calcare e trachite locale, mostra una tessitura incoerente e pezzame disomogeneo. Nella struttura sono presenti n° 4 buche pontae disposte a forma sub quadrate con dimensioni e morfologia identiche.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b> <b>3503, 3505</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b> <b>3501</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3518	<b>SI APPOGGIA A</b> 3501		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3518
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
È probabile che si tratti di un intervento di sistemazione della chiesa avvenuto tra il XVIII e i primi anni del XIX secolo <sup>343</sup> . L'architettura, chiaramente eseguito con materiale di recupero, verosimilmente prelevato <i>in loco</i> dai crolli del monastero, dimostra chiaramente un intervento posticcio.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<sup>343</sup> SPANO 1858, p. 118.

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3505
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura orientale con direzione Nord-Sud facente parte della cappella edificata sul lato nord ovest della chiesa						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 5 m. altezza 4.89 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM, edificata con materiale di reimpiego è il muro ovest della cappella edificata lungo il lato settentrionale della navata, adiacente alla facciata. Composta da pietre lavorate in calcare e trachite locale, mostra una tessitura incoerente e pezzame disomogeneo.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b> <b>3504, 3505</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>  3501
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3518	<b>SI APPOGGIA A</b> 3501		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3518
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
È probabile che si tratti di un intervento di sistemazione della chiesa avvenuto tra il XVIII e i primi anni del XIX secolo <sup>344</sup> . L'architettura, chiaramente eseguito con materiale di recupero, verosimilmente prelevato <i>in loco</i> dai crolli del monastero, dimostra chiaramente un intervento posticcio.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<sup>344</sup> SPANO 1858, p. 118.


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/1	ELEVATO	USM 3506
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Buca realizzate nel lato nord della navata, in USM 3501 e sopra il tamponamento 3512						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI			STATO DI CONSERVAZIONE		MISURE 15 cm. altezza 30 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
<b>GEOL</b>	<b>PEZZATURA</b>	<b>DIMENSIONI</b>	<b>LAVORAZIONE</b>	<b>TAGLIO</b>	<b>FORMA</b>	<b>DISPOSIZIONE</b>
	<b>TIPO</b>	<b>CONSISTENZA</b>	<b>COLORE</b>	<b>INERTI</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>RIFINITURA</b>
<b>LEGANTE</b>					<b>MAX.</b> <b>MIN.</b>	
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
La buca, non allineata con le altre buche puntaie, è localizzata immediatamente sopra l'apertura USM 3512, di forma allungata, risulta essere stata obliterata in epoca moderna.						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b> 3501		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La buca in questione potrebbe far riferimento ad un supporto per il collegamento tra la chiesa e il campanile, oggi scomparso. Trova confronti nella vicina chiesa di Saccargia, in territorio comunale di Codrongianos (SS). Sembra essere in fase con USM 3507				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3507	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Buca realizzata nel lato nord della navata, in USM 3501 e sopra il tamponamento USM 3512 e a destra di USM 3506							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI			STATO DI CONSERVAZIONE		MISURE 15 cm. altezza 30 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
<b>LEGANTE</b>					MAX. MIN.		
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
La buca, risulta allineata con le altre buche puntaie, ma apparentemente rimaneggiata, è localizzata immediatamente sopra l'apertura USM 3512, di forma allungata, risulta essere stata obliterata in epoca moderna. Sembrerebbe in fase con USM 3506							


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b> 3501		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La buca in questione potrebbe essere stata una puntaia rimaneggiata per dar supporto per il collegamento tra la chiesa e il campanile, oggi scomparso. Trova confronti nella vicina chiesa di Saccargia, in territorio comunale di Codrongianos (SS).				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>		<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b>
				<i>Luca Sanna</i>

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3508
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura edificata su USM 3501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI			STATO DI CONSERVAZIONE		MISURE 1.50 m. altezza 22 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
<b>GEOL</b>	<b>PEZZATURA</b>	<b>DIMENSIONI</b>	<b>LAVORAZIONE</b>	<b>TAGLIO</b>	<b>FORMA</b>	<b>DISPOSIZIONE</b>
Trachite Calcare	Artificiale	25-30 cm	Squadri	A scalpello	Rettangol Corsi regolari	Taglio
	<b>TIPO</b>	<b>CONSISTENZA</b>	<b>COLORE</b>	<b>INERTI</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>RIFINITURA</b>
<b>LEGANTE</b>					MAX. MIN.	
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
Struttura muraria sopra USM 3501, risulta alterata a causa dei restauri avvenuti a inizio Novecento. Inserite nella muratura sono 4 monofore. È coperta da USM 3511						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3522	<b>SI APPOGGIA A</b>  3501		3501
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>Si tratta della medesima struttura muraria USM 3501, risulta alterata a causa dei restauri avvenuti a inizio Novecento. Le 4 monofore inserite nella muratura sono certamente in fase con la compagine originale. Lo testimonia l'analisi stratigrafica muraria interna</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3509	
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b> Struttura muraria facente parte della Sacrestia con direzione E/O in continuità col transetto settentrionale							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 6.54 m. altezza 6.10 m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b> Struttura muraria con direzione E/O legata a USM. Sono presenti due aperture, edificate assieme: una monofora e un oculo a forma di croce							

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b> 3519	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3519
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>La struttura muraria facente parte della Sacrestia con direzione E/O in continuità col transetto settentrionale rappresenta il muro di chiusura della sacrestia. È verosimile che questa sia stata poco interessata dai restauri se non per la parte superiore della copertura</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3510
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>  Tamponatura in USM 3504						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia,						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 2.50 m. altezza 2.80 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
Trachite Calcare	Artificiale	35-45 cm	Squadri	A scalpello	Rettang. Corsi regolari	Taglio
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE					MAX. MIN.	
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>  USM dai limiti incerti, è collocata al centro di USM 3504 e ricopre una superficie di circa 7 mq.						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3511</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> 3523		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>La tamponatura venne realizzata verosimilmente durante i primi del Novecento, vista la datazione moderna della cappella su cui insiste. È certamente riferibile ad interventi di restauro, probabilmente a causa di cedimenti strutturali</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3511	
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
USM edificata su USM 3508							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 45 cm. altezza 22 m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
L'USM è formata da un listello di 32 archetti su cui poggia la copertura lignea							


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3508</b>
	<b>COPERTO DA</b> 3522	<b>COPRE</b> <b>3508</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3522
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> La situazione descritta da Delogu nel 1953 (vedi bibliografia) trova confronto con l'USM in oggetto. Trattasi di rifacimento degli archetti su cui poggia l'ultima copertura realizzata il secolo scorso.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>		<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3512
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Tamponatura in USM 3501 in posizione elevata						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 196 cm. altezza 90 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
La tamponatura è realizzata con blocchi di differente pezzatura, ad una quota di m. 3.70 circa ha dimensioni di m. 1.96 x 0.90 circa						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 3501		3501
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>La tamponatura venne realizzata per mettere in comunicazione il campanile con l'edificio ecclesiastico.</p> <p>Una volta demolito il campanile questa venne obliterata, presumibilmente tra il XVIII e il XIX secolo.</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3513
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b> USM localizzata sul lato occidentale della cappella sopra USM 3514						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 60 cm. altezza 240 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b> L'USM è localizzata sul lato occidentale della cappella moderna, di forma irregolare, misura cm 60 x 240 ed è collocata immediatamente sopra USM 3514						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 3514		<b>3514</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
L'USM è interpretabile come un'azione volta al consolidamento della parete occidentale della cappella				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			3514	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Tamponatura in USM 3503							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
RIUTILIZZO		Buono			124 cm. altezza 70 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE	30-65 cm	SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
La tamponatura, di forma rettangolare, è realizzata con blocchi di differente pezzatura.							




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b> 3513	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3513
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La tamponatura venne realizzata per obliterare una bocca di luce che probabilmente presentava segni di cedimento (vedi USM 3513), in un periodo compatibile con quello degli ultimi restauri del 1912				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3515
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM con direzione N/S, lato occidentale del transetto						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 615 cm. altezza 439 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE	20-30 cm	SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM molto omogenea, si distingue dalla sagrastia per la tessitura muraria, simile al resto dell'edificio, la dimensione e tipologia dei materiali.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 3516	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3516
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Trattasi dell'USM occidentale del transetto. È presente la tamponatura USM 3516				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3516	
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Tamponatura in USM 3515							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 200 cm. altezza 180 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE	20-30 cm	SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
La tamponatura è realizzata con blocchi di pezzatura simile, aderisce perfettamente alla parete con poche differenze strutturali							

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 3515		<b>3515</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>La tamponatura venne realizzata verosimilmente in fase USM 3512 in quanto entrambe mettevano in collegamento l'interno della chiesa con il campanile, oggi scomparso.</p> <p>Di non facile identificazione è stata evidenziata grazie ai confronti con l'interno della struttura e grazie al rilievo tridimensionale.</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3517
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM con direzione N/S, lato occidentale della sacrestia						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 171 cm. altezza 660 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b> Struttura dicroma, molto uniforme, chiude la sacrestia sul lato occidentale della stessa.						
<b>DESCRIZIONE</b> La tamponatura è realizzata con blocchi di differente pezzatura rispetto alla struttura ecclesiastica, minore nella parte bassa, per i primi quattro filari e maggiore in quella superiore per tre filari. Si distingue per la sua dicromia e squadratura dei blocchi						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 3515		3515
	<b>COPERTO DA</b> 3521	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 3521
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>  Lato occidentale della sacrestia				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>		<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3518
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Teoria di archetti su USM 3515						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 50 cm. altezza 435 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
Si tratta della teoria di 4 archetti ubicatu su USM 3515						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>-3515</b>
	<b>COPERTO DA</b> 3522	<b>COPRE</b> 3515		<b>ANTERIORE A</b> 3522
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La tamponatura venne realizzata per obliterare la cosiddetta porta Santa nel 1857 <sup>345</sup> .				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		


<sup>345</sup> CORONEO 1993, sch. 54.

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3519
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Degrado di USM 3501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 600 cm. Altezza max 11 m. larghezza max	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
Si tratta di una porzione di USM 3501 soggetta a erosione. La pezzatura e il materiale dei blocchi è del tutto simile a USM 3501 ma si distingue per colore, di un giallo più intenso, e sfaldatura del materiale lapideo.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 3501		<b>3501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
È verosimile che, a causa dei lavori di restauro avvenuti durante il primo decennio del XX secolo, si siano integrati i materiali del paramento esterno di USM 3501 o siano stati trattati in modo da risultare differenti				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			3520	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
USM orientale della sacrestia							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
RIUTILIZZO		Buono			610 cm. altezza 531 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
Si tratta del lato orientale della sacrestia. Vedi USM 3517							

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Si tratta del lato orientale della sacrestia. Vedi USM 3517				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 3521
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM di copertura sopra USM 3503, 3504, 3505						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 480 cm. altezza 560 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
Si tratta della copertura della cappella posta sul lato settentrionale della chiesa, adiacente alla facciata.						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Si tratta della copertura della cappella posta sul lato settentrionale della chiesa, adiacente alla facciata.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			3522	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Tetto, copertura della navata centrale							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
RIUTILIZZO		Buono			22 m. altezza 7.50 m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
Si tratta della copertura della navata centrale della chiesa							




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Si tratta della copertura della navata centrale della chiesa				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			3523
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Taglio in US 3504						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
RIUTILIZZO		Buono			2.50 m. altezza 2.80 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
<p>USM dai limiti incerti, è collocata al centro di USM 3504 e ricopre una superficie di circa 7 mq</p> <p>Si tratta di un taglio irregolare, realizzato su USM 3504, ha le medesime dimensioni del suo riempimento/ tamponatura USM 3510</p>						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3510</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b> 3510	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>La tamponatura venne realizzata verosimilmente durante i primi del Novecento, vista la datazione moderna della cappella su cui insiste.  È certamente riferibile ad interventi di restauro, probabilmente a causa di cedimenti strutturali</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			3524	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Tetto, copertura della navata centrale							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
RIUTILIZZO		Buono			10 m. altezza 5.60 m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
Si tratta della copertura della sacrestia e del transetto settentrionale							

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Si tratta della copertura della sacrestia e del transetto settentrionale				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 1501
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura muraria ovest della chiesa - facciata						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 530 cm. altezza 715 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM relativa al prospetto principale della chiesa. Collocato nella parte centrale è costituito da materiale calcareo con degli inserti trachitici. Omogeneo, sia nei materiali che nella morfologia						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 1504	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 1504
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Trattasi del prospetto integralmente sostituito nell'intervento di restauro del 1912. (DELOGU 1953)				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			1502	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Parasta laterale destra.							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
RIUTILIZZO		Buono			171 cm. altezza 65 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
La parasta laterale destra, in facciata, si presenta omogenea. A circa 3.40 metri dal suolo è presente l'attacco di un arco a tutto sesto.							




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b> 1501	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
Trattasi della parasta ricostruita nel 1912 durante gli ultimi restauri.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 1503
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>  Parasta laterale sinistra.						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI  RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE  Buono			MISURE 171 cm. altezza 65 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>  La parasta laterale sinistra, in facciata, si presenta omogenea. A circa 2.74 metri dal suolo è presente l'attacco di un arco a tutto sesto.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>Trattasi della parasta ricostruita nel 1912 durante gli ultimi restauri.  È chiaramente sfasata rispetto alla parasta destra, verosimilmente a causa di un'errata ricomposizione del paramento murario</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 1504
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Tamponatura al centro di USM 1501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 170 cm. altezza 170 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
La tamponatura è realizzata con blocchi di simile pezzatura, si amalgama perfettamente alla struttura ospitante						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 1501		1501
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
La tamponatura venne realizzata verosimilmente durante i restauri del 1912. Lo dimostrano le immagini antecedenti che evidenziano l'apertura quadrangolare a cui questo tamponamento fa riferimento.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 1505
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Apertura circolare nella parte mediana della facciata, in USM 1501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			140 cm. diametro	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'apertura si riferisce all'oculo aperto durante i restauri del 1912 e riferiti dal Delogu.						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE -3502</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta dell'apertura di un "oculo dello specchio mediano, antico ma non originario", dotato di cornice "con sagoma inventata per l'occasione" (Delogu 1953, p. 83, nota 50)				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			1506
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Timpano su frontone principale						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			171 cm. altezza 65 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM è identificabile per tecnica costruttiva e collocazione						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 1501		1501
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta del rifacimento superiore della facciata avvenuto nel 1912				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2501
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Struttura muraria sud della navata						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			7.05 m. altezza 17.5 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM è identificabile per tecnica costruttiva e collocazione. Dispone di 44 buche pontaiate interrotte nella parte centrale. Tali buche sono disposte regolarmente in una maglia di 6 righe per 8 colonne, molto regolari e precise.						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 2504, 2503	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta del rifacimento superiore del lato meridionale della navata avvenuto nel 1912. Dispone di 44 buche pontaiate interrotte nella parte centrale da USM 2502.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			2502
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM localizzata al centro del paramento murario 2501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			171 cm. altezza 65 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM che si appoggia a USM 2501, localizzata al centro del paramento murario di distingue per differenza nell'interfaccia e materiale leggermente differenti. Si veda USM 3519						




<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE		 <b>Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo</b>	<b>SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO</b>	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2503
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcere chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM localizzata nel settore superiore dell'edificio, tra USM 2501 e 2504						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			235 cm. altezza 120 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM di forma allungata, misure 2.3 x 1.2 m., oblitera un'apertura posta nella parte superiore del lato meridionale dell'edificio.						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
				<b>2501, 2504</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 2501, 2504		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> L'USM oblitera un'apertura che metteva in collegamento l'eterno con l'interno della chiesa, localizzata a metà tra le due USM che in realtà appartengono alla medesima fase edilizia. Tale apertura è stata realizzata in fase con la struttura. Venne realizzata per mettere in comunicazione le strutture del monastero con l'interno della chiesa ad un livello di circa 6.5 metri dal suolo. Verosimilmente si accedeva ad un matroneo ligneo posto all'interno della chiesa				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>		<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2504
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM localizzata nella parte superiore dell'edificio, sopra USM 2501						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			1.9 m. altezza 22 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM di ampie dimensioni, circa 22 metri di lunghezza , si estende lungo l'intero paramento murario meridionale della chiesa.						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b> 2501	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> USM che fisicamente sovrasta l'USM, ma trattasi della medesima compagine muraria, diversificata per il fatto che i restauri del 1912 alterarono l'intero prospetto.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			2505
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM con andamento E/O, localizzata nella parte meridionale del transetto meridionale						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			600 cm. Altezza circa 591 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM di ampie dimensioni, si estende lungo l'intero paramento murario meridionale del transetto, comprende 9 buche puntaie in una maglia di 3x3; molto regolari, ricoprono l'intera superficie dell'USM						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 2506	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b> 2508	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b> 2507	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b> 2507
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> L'USM è interpretabile come la chiusura del transetto meridionale che metteva in collegamento l'interno della chiesa con gli spazi monastici				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2506
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Tamponatura in USM 2505						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			220 cm. altezza 90 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM di medie dimensioni, si estende all'interno dell'apertura presente in USM 2505						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 2505		2505
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>ANTERIORE A</b>				
<b>OSSERVAZIONI</b> Tamponatura in USM 2505, volta a chiudere il passaggio tra il transetto e gli spazi monastici aperti				
<b>INTERPRETAZIONE</b> L'USM è interpretabile come la chiusura del transetto meridionale che metteva in collegamento l'interno della chiesa con gli spazi monastici				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2507
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM negativa, a forma di arco a tutto sesto, ricopre l'intera superficie di USM 2505						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 470 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
<b>GEOL</b>	<b>PEZZATURA</b>	<b>DIMENSIONI</b>	<b>LAVORAZIONE</b>	<b>TAGLIO</b>	<b>FORMA</b>	<b>DISPOSIZIONE</b>
	<b>TIPO</b>	<b>CONSISTENZA</b>	<b>COLORE</b>	<b>INERTI</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>RIFINITURA</b>
<b>LEGANTE</b>		Dura	Beige		M AX. MIN.	
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM di forma arcuata a tutto sesto, da destra a sinistra ricopre l'intera superficie di USM 2505						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>2505</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b> <b>2505</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta verosimilmente del segno lasciato dall'arco che metteva in comunicazione questa parte del transetto con il <i>deambulatorio</i> del chiostro				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/1	ELEVAT O	USM 2508	
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
USM occidentale del transetto sud							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 590 cm. altezza 430 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL .	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione. Visi apre una monofora e una porta							




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 2509	<b>SI APPOGGIA A</b>		
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta del lato ovest del muro del transetto meridionale in cui si apre una porta tamponata (USM 2509)				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			2509
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Tamponatura in USM 2508						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			221 cm. altezza 85 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione a tamponare un'apertura in USM 2508						


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b> 2508		<b>2508</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>ANTERIORE A</b>				
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta dell'obliterazione dell'apertura che metteva in collegamento il transetto con gli ambienti chiusi e di rappresentanza del monastero				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2510
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM edificata su USM 2508						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 43 cm. altezza 22 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM è formata da un listello di 5 archetti su cui poggia la copertura lignea						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>3508</b>
	<b>COPERTO DA</b> 2513	<b>COPRE</b> 2508		<b>ANTERIORE A</b> 2508
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> La situazione descritta da Delogu nel 1953 (vedi bibliografia) trova confronto con l'USM in oggetto. Trattasi di rifacimento degli archetti su cui poggia l'ultima copertura realizzata il secolo scorso.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>	<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>		


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2511
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM edificata su USM 2507						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 45 cm. altezza 22 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM è formata da un listello di 5 archetti su cui poggia la copertura lignea						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>2507</b>
	<b>COPERTO DA</b> 2513	<b>COPRE</b> 2507		<b>ANTERIORE A</b> 2513
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> La situazione descritta da Delogu nel 1953 (vedi bibliografia) trova confronto con l'USM in oggetto. Trattasi di rifacimento degli archetti su cui poggia l'ultima copertura realizzata il secolo scorso.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	


<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 2512
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
USM edificata su USM 3508						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI RIUTILIZZO		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 45 cm. altezza 22 m. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
L'USM è formata da un listello di 32 archetti su cui poggia la copertura lignea						




<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>2504</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b> 2504		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> La situazione descritta da Delogu nel 1953 (vedi bibliografia) trova confronto con l'USM in oggetto. Trattasi di rifacimento degli archetti su cui poggia l'ultima copertura realizzata il secolo scorso.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA' Ploaghe (SS), Salvennor	ANNO 2017	AREA O EDIFICIO 3000	SETTORE/1 3500	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM 4501	
TECNICA MURARIA Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Paramento murario absidale							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b> Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE Buono			MISURE 7.6 m. Altezza circa 14.5 m. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione, poco consunti e molto simili per fattura, differenti dal resto dell'edificio							


<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b> 2502	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		<b>ANTERIORE A</b>
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta delle alterazioni strutturali che causarono i restauri del 1912 che videro la totale ricostruzione delle absidi				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>		<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo		
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO		
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM	
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			4502	
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA	
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.							
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali	
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>							
Paramento murario di modeste dimensioni che contiene archetti collocato sopra le absidi							
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>							
Morfologia, materiali							
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE		
		Buono			171 cm. altezza 65 cm. larghezza		
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>							
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE	
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO	
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA	
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura	
<b>SEGNI</b>							
<b>DESCRIZIONE</b>							
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione, sia in relazione all'abside di destra come quello di sinistra. Contiene complessivamente 20 archetti, 3 su ogni abside minore e 10 sopra quello centrale maggiore							

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>4501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b> 4501		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b> -3502		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta delle alterazioni strutturali che causarono i restauri del 1912 che videro la totale ricostruzione del lato orientale della chiesa. Questa porzione muraria venne evidentemente ripresa durante i restauri.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			4503
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Paramento murario di forma triangolare collocato sopra l'abside centrale						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono			250 cm. altezza 550 cm. larghezza	
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione, compone il timpano posteriore (est) della chiesa						

<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		<b>2501</b>
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b> 2501		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b> Si tratta delle alterazioni strutturali che causarono i restauri del 1912 che videro la totale ricostruzione del lato orientale della chiesa. Questa porzione muraria venne evidentemente ripresa durante i restauri.				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

<b>U S M</b>	N. CATALOGO GENERALE	N. CATALOGO INTERNAZIONALE			Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo	
					SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGIA, BELLE ARTI E PAESAGGIO PER LE PROVINCE DI SASSARI E NUORO	
LOCALITA'	ANNO	AREA O EDIFICIO	SETTORE/1	AMBIENTE/I	ELEVATO	USM
Ploaghe (SS), Salvennor	2017	3000	3500			5501
TECNICA MURARIA		MODULO	CAMPIONI MALTA	CAMPION. MATTONE		CAMPION. PIETRA
Bicroma, con blocchi di calcare chiaro trachite vulcanica.						
PIANTE Digitali		SEZIONI Digitali	PROSPETTI Ortofoto	SUP. ANALIZZATA		FOTO Digitali
<b>DEFINIZIONE E POSIZIONE</b>						
Imposta di volte a crociere interne all'edificio						
<b>CRITERI DI DISTINZIONE</b>						
Morfologia, materiali						
PROVENIENZA MATERIALI		STATO DI CONSERVAZIONE			MISURE	
		Buono				
<b>PARAMENTO LAPIDEO</b>						
GEOL	PEZZATURA	DIMENSIONI	LAVORAZIONE	TAGLIO	FORMA	DISPOSIZIONE
TRACHITE CALCARE	ARTIFICIALE		SQUADRATI	A SCALPELLO	CORSI REGOL.	TAGLIO
	TIPO	CONSISTENZA	COLORE	INERTI	SPESSORE	RIFINITURA
LEGANTE	Malta di calce e sabbia	Dura	Beige		MAX. MIN.	Stilatura
<b>SEGNI</b>						
<b>DESCRIZIONE</b>						
USM omogenea, composta di blocchi simili per dimensioni e disposizione, inserita all'interno dei lati della navata mediante la tecnica scuci – cucì. Tagliano le monofore occultandole in taluni casi parzialmente.						



<b>SEQUENZA FISICA</b>	<b>UGUALE A</b>	<b>SI LEGA A</b>	<b>SEQUENZA STRATIGRAFICA</b>	<b>POSTERIORE A</b>
	<b>GLI SI APPOGGIA</b>	<b>SI APPOGGIA A</b>		-
	<b>COPERTO DA</b>	<b>COPRE</b>		
	<b>TAGLIATO DA</b>	<b>TAGLIA</b>		<b>ANTERIORE A</b>
	<b>RIEMPITO DA</b>	<b>RIEMPIE</b>		
<b>OSSERVAZIONI</b>				
<b>INTERPRETAZIONE</b>				
<p>Si tratta delle alterazioni strutturali che causarono gli interventi citati dallo Spano e relativi ai primi dell'Ottocento. Le volte a crociera vennero realizzate in funzione di copertura, in appoggio alle strutture esistenti, tanto che obliterarono lo monofore, per ovviare a quella lignea che venne ripristinata nel 1912 tagliando nuovamente le crociere di cui rimase solamente l'impronta lungo le pareti</p>				
<b>ELEMENTI DATANTI</b>				
<b>FATTORI DI DETERIORAMENTO</b>				
<b>DATAZIONE</b>				
<b>FASE</b>				
<b>PERIODO</b>				
<b>DATA DI RILEVAZIONE</b>	<b>DATA DI RIELABORAZIONE</b>		<b>RESPONSABILE</b> <i>Elisabetta Garau</i> <i>Luca Sanna</i>	

### 3.7 Gli strumenti per la ricostruzione

La disciplina archeologica, nei rapporti con tecnologie e contemporaneità, tende oggi ad avere un impatto positivo sulla società.

In questa direzione s'inserisce l'archeologia virtuale, che, oltre a essere utile ai fini della documentazione e dell'analisi archeologica, risulta efficace ai fini della divulgazione. Sulla base di questi presupposti si è mossa la presente ricerca, mirata a creare un supporto utile alla comunicazione dell'archeologia, cercando di avvicinare la disciplina alla società attraverso i media oggi più utilizzati: internet e sistemi mobili.

Questo obiettivo è stato perseguito grazie alla quantità di dati disponibili e alle modalità di trasmissione conformi ai basilari principi epistemologici ormai codificati dalla London Charter e dalla Carta dei Principi di Siviglia.

“Attraverso la costruzione di modelli e simulazioni è possibile ricreare il nostro processo cognitivo sul passato e di renderlo accessibile anche ad altri attraverso un sistema di presentazione interattivo. Le ricostruzioni tridimensionali scaturite da tale processo ci consentono poi di testare in maniera visiva più completa informazioni complesse, ridefinendo gli obiettivi della ricerca stessa. Senza scendere nel merito della discussione se si debba o meno considerare l'archeologia virtuale una disciplina, possiamo qui limitarci a definirla un processo di acquisizione e simulazione, oltre che uno strumento per ricostruire quanto non è più o è difficilmente studiabile, visibile o visitabile. Rimangono comunque aperte alcune questioni che necessiterebbero un'attenta disamina: come realizzare un modello virtuale archeologico, partendo da dati reali? Come può il processo di ricostruzione rendere tale modello una porta di accesso alla spiegazione /descrizione/ studio del passato? Come gestire la ricostruzione soprattutto dove vi siano dati frammentari? Come impostare il lavoro di acquisizione dei dati in maniera da ottenere un risultato, e dunque modelli, più affidabili? Quale rapporto esiste tra realismo e realtà e come evidenziarlo nel processo digitale? Come è possibile infine utilizzare la realtà virtuale in maniera efficace per diffondere informazioni archeologiche a vari livelli (educational, entertainment, research, ecc.)?”<sup>346</sup>.

---

<sup>346</sup> PESCARIN *et al* 2011.

L'obiettivo perseguito è quello di disporre di dati scientificamente validi, confrontabili e verificabili, col fine di presentarli nel modo più chiaro possibile.

Il materiale acquisito durante le indagini archeologiche a Salvennor ed elaborato per realizzare la documentazione digitale ha permesso di sviluppare una proposta ricostruttiva del monastero, di cui fino ad oggi rimangono solo labili tracce archeologiche.

Il rilievo 3D e la successiva analisi dell'edificio ecclesiastico, le indagini georadar e i confronti con altri edifici coevi e tipologicamente connessi col San Michele hanno creato quel palinsesto di dati attraverso il quale ricostruire la fisionomia e l'articolazione del complesso monastico annesso alla chiesa.

La base planimetrica, suggerita dalle letture effettuate col georadar, è stata riscontrata in maniera diretta a seguito delle indagini archeologiche svolte nel 2016 e 2017<sup>347</sup>.

L'errore massimo verificato del GPR si aggira intorno ai 40 cm<sup>348</sup>, è causato dall'irregolarità del suolo che ha determinato un'alterazione delle distanze durante le fasi di acquisizione.

La base cartografica su cui è stato impostato il modello 3D è stata fornita dalla geofisica, poi rettificata dai rilievi di scavo. La suddivisione degli ambienti è stata riproposta sul modello monastico dei benedettini, ordine da cui si sviluppano i rami cistercensi e vallombrosani, questi ultimi rappresentati a San Michele

Per tali ordini, infatti, "Il rigorismo dell'ordine non mancò di riflettersi sulla regolarità della planimetria delle abbazie. La costante disposizione degli edifici si estende in questo caso dalle zone claustrali, all'intero insieme dell'impianto, tale che, si è potuto parlare di pianta ideale dell'abbazia cistercense."<sup>349</sup>. Si fa riferimento in questo caso all'abbazia di Royaumont, assunta come esempio sia per l'organizzazione planimetrica sia per la suddivisione degli ambienti.

---

<sup>347</sup> GARAU PASCUCCI SANNA 2016.

<sup>348</sup> Il valore medio, pari a 41.6 cm, è stato calcolato sovrapponendo il rilievo effettuato durante le attività di scavo sull'elaborato prodotto dall'indagine georadar. La differenza tra i due risultati, misurati in 6 punti differenti dell'elaborato, restituiva il valore sopra indicato.

<sup>349</sup> DIMIER 1962, p. 45.

- A. chiesa
- B. sagrestia
- C. *armarium*
- D. sala del capitolo
- E. scala del dormitorio
- F. *auditorium*
- G. sala dei monaci
- H. *calefactorium*
- I. refettorio dei monaci
- J. cucina
- K. refettorio dei conversi
- L. passaggio
- M. *dispensarium*
- N. passaggio dei conversi
- O. chiostro del *mandatum*
- P. lavabo

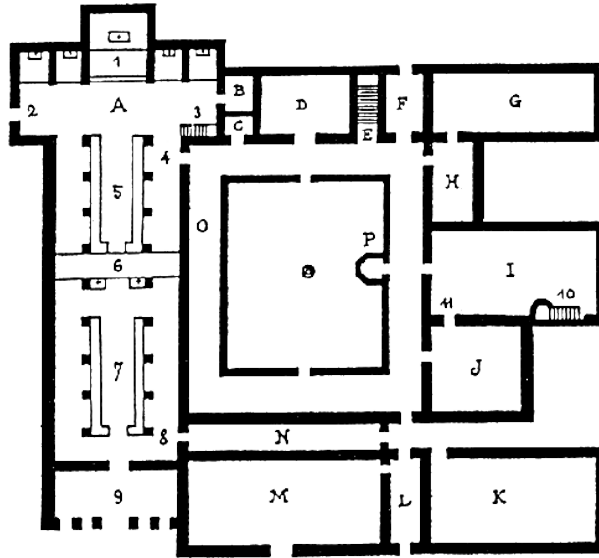


Fig. 103. Suddivisione degli ambienti monastici.  
DA DIMIER 1962, p. 45.

- 1. presbiterio,
- 2. porta dei morti
- 3. scala del dormitorio
- 4. porta dei monaci
- 5. coro dei monaci
- 6. banchi degli infermi,
- 7. coro dei conversi
- 8. porta dei conversi
- 9. nartece
- 10. pulpito per il lettore di mensa
- 11. passa-vivande

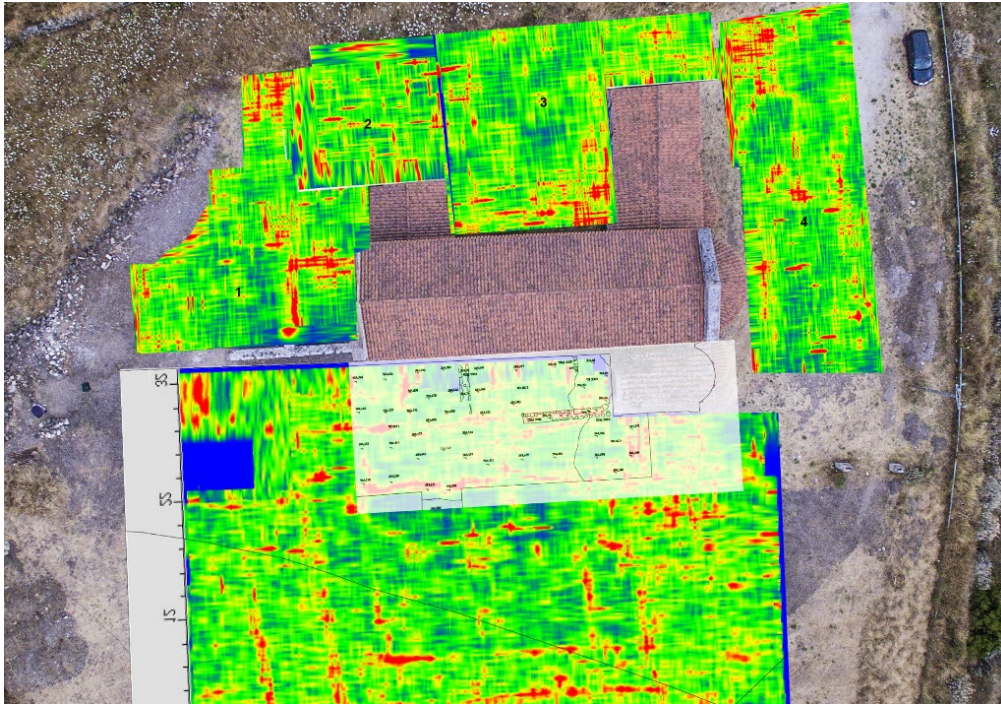


Fig. 104. Sovrapposizione del rilievo del settore 2000 ai rilievi geofisici

La scelta degli strumenti utilizzati per ricostruire la disposizione degli ambienti monastici è stato scelto, SketchUp<sup>350</sup>, un software di facile utilizzo rispetto a più complessi prodotti come AutoCAD o 3D Studio Max, utilizzati per modellazione professionale, o Blender, che rappresenta una valida alternativa economica (open source).

SketchUp, un software con enormi differenze tecniche rispetto a quelli precedentemente citati, grazie alla sua diffusione e al numero sempre maggiore di plug-in e tutorial per agevolarne l'utilizzo, sta diventando una buona alternativa gratuita per la modellazione di base. È un software concepito per la progettazione architettonica, l'urbanistica, l'ingegneria civile e lo sviluppo di scenari per videogiochi, con lo scopo di essere semplice da utilizzare, versatile ed efficace.

Nel campo dei beni culturali SketchUp è stato utilizzato in numerosi progetti per estrarre dati planimetrici – il progetto Armep, che si basa sul GIS, per lo studio

<sup>350</sup> <https://www.sketchup.com/it>. SketchUp è un software per la modellazione 3D nato nel 2000 da @LastSoftware.

dell'edilizia medievale<sup>351</sup>, il progetto Save Palmyra<sup>352</sup> – e ancora in associazione a tecniche BIM applicate all'archeologia romana<sup>353</sup>.

La planimetria proposta del monastero di Salvenno è basata sul confronto delle strutture evidenziate a seguito degli scavi archeologici e il modello precedentemente citato proposto da Dimier.

Le tracce rinvenute sulle strutture murarie del transetto meridionale hanno indicato la forma della volta che sovrastava gli ambienti del chiostro ad esso collegati.

Analogamente le mensole ad uncino sul lato meridionale e le aperture su quello settentrionale hanno indicato rispettivamente una copertura e la presenza della torre campanaria.

Poiché l'attività svolta per la ricostruzione ha comportato un'estrusione dei volumi rappresentati planimetricamente e la suddivisione degli stessi, piuttosto che intraprendere impegnative attività di modellazione con 3dStudio Max o Blender si è preferito utilizzare un software più semplice ed altrettanto efficace.

Il complesso dei dati provenienti da fonti differenti (archeologiche, bibliografiche, GPR) ha permesso di ricostruire il monumento, così come poteva essere intorno al XIII secolo, mediante l'integrazione con i rilievi 3D realizzati con laser scanner e fotogrammetria e dei software dedicati.

La pubblicazione online dei modelli 3D è dipesa dalle soluzioni attualmente disponibili, che si concentrano essenzialmente su tre soluzioni: la pubblicazione su PDF 3D, la pubblicazione su 3D Hop e Sketchfab.

Il Portable Document Format (PDF) è senza dubbio uno dei formati più diffusi per lo scambio e la visualizzazione di documenti elettronici in cui è possibile incorporare modelli tridimensionali generati da processi di rilievo fotogrammetrico, da laser scanner e da applicativi di modellazione 3D o CAD<sup>354</sup>.

Attraverso il visualizzatore gratuito Adobe Reader X è possibile, solo in modalità consultazione, visualizzare e attivare livelli informativi, isolare o nascondere alcune parti

---

<sup>351</sup> VALENTE 2011.

<sup>352</sup> POMAR 2016.

<sup>353</sup> SCIANNA *et al* 2015.

<sup>354</sup> FIORINI 2012.

del 3D, effettuare misurazioni e sezionare il modello. Tale versione non permette invece di esportare o utilizzare in qualsiasi altro modo il file in PDF 3D.

Il software suddetto si è rivelato utile per lo scambio dei dati e la consultazione del lavoro, ma non per il trasferimento online di modelli dettagliati a causa delle dimensioni elevate dei modelli realizzati.

3DHOP (*3D Heritage Online Presenter*) è un pacchetto software open source creato dal laboratorio di Visual Computing di CNR-ISTI che si occupa di visualizzazione scientifica, rappresentazione e visualizzazione multi resolution, modelli deformabili, digitalizzazione 3D, texturing e parametrizzazione mesh.

Tale strumento nasce per la creazione di presentazioni web interattive mediante l'utilizzo di modelli 3D ad alta risoluzione legati al patrimonio culturale al fine di condividerli online a vantaggio di curatori e musei, di studenti del settore CV e di piccole aziende che sviluppano applicazioni web per le istituzioni museali e CV<sup>355</sup>.

Se 3DHOP da un lato non consente di creare delle annotazioni sul modello 3D, dall'altra assicura i seguenti vantaggi: versatilità e possibilità nel sezionare il monumento, visualizzazione in ambito open source e gestione della pagina con linguaggio XML.

Date le caratteristiche dei sistemi sopra citati, la scelta della piattaforma online è ricaduta su Sketchfab, la soluzione al momento più semplice e gratuita per la condivisione online di modelli 3D.

Essendo il servizio molto versatile, attualmente è stato scelto da numerosi musei e professionisti per pubblicare i propri modelli<sup>356</sup>.

---

<sup>355</sup> Informazioni tratte dal sito ufficiale 3DHop: <http://vcg.isti.cnr.it/3dhop/>

<sup>356</sup> Oltre al 3D Virtual Museum della società 3D ArcheoLab, anche il British Museum, il Museo di Archeologia della Catalonia-Barcellona e il progetto African Fossils si avvalgono del sistema Sketchfab.

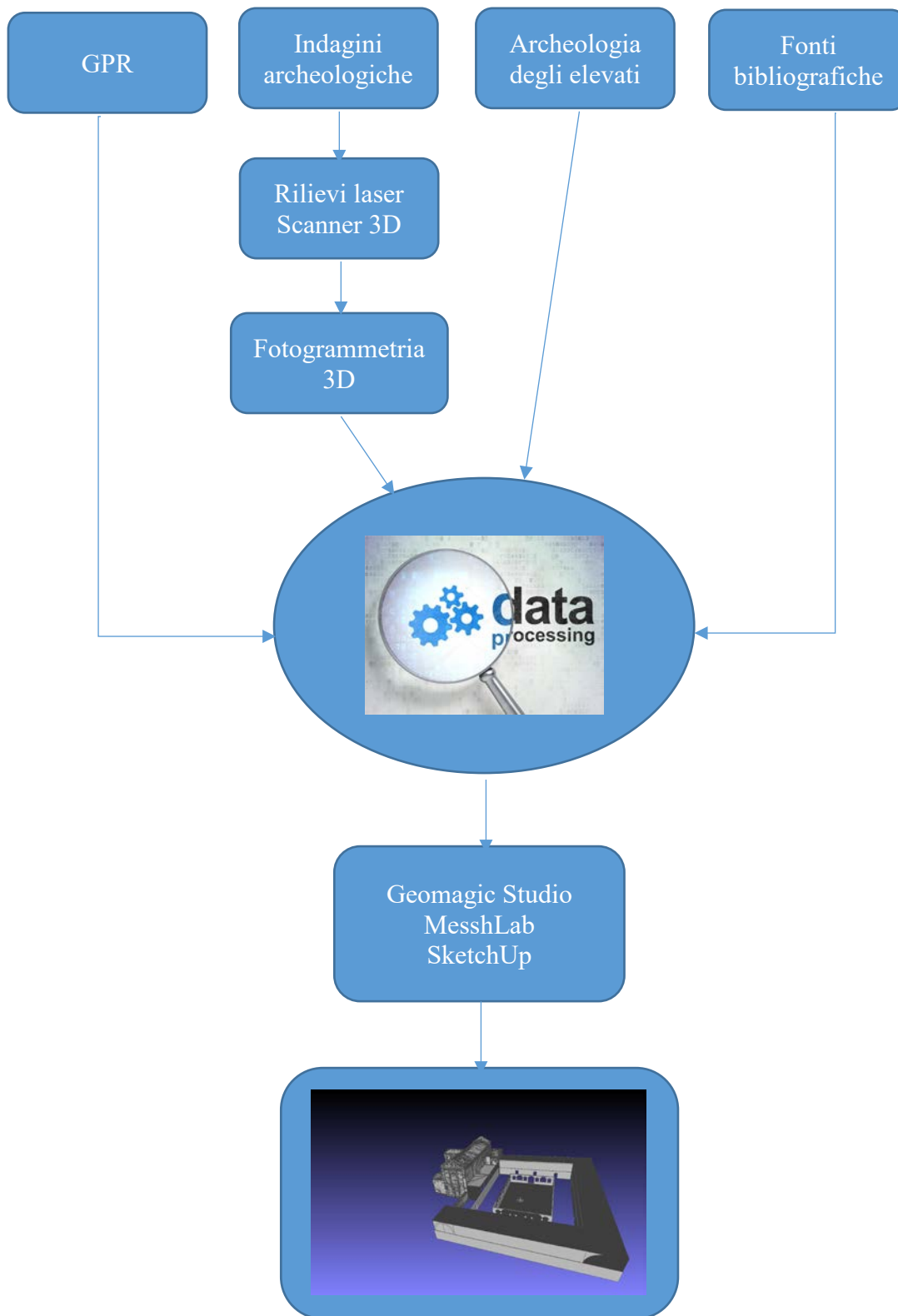


Fig. 105. Diagramma della gestione dati relativi al contesto di San Michele di Salvennor



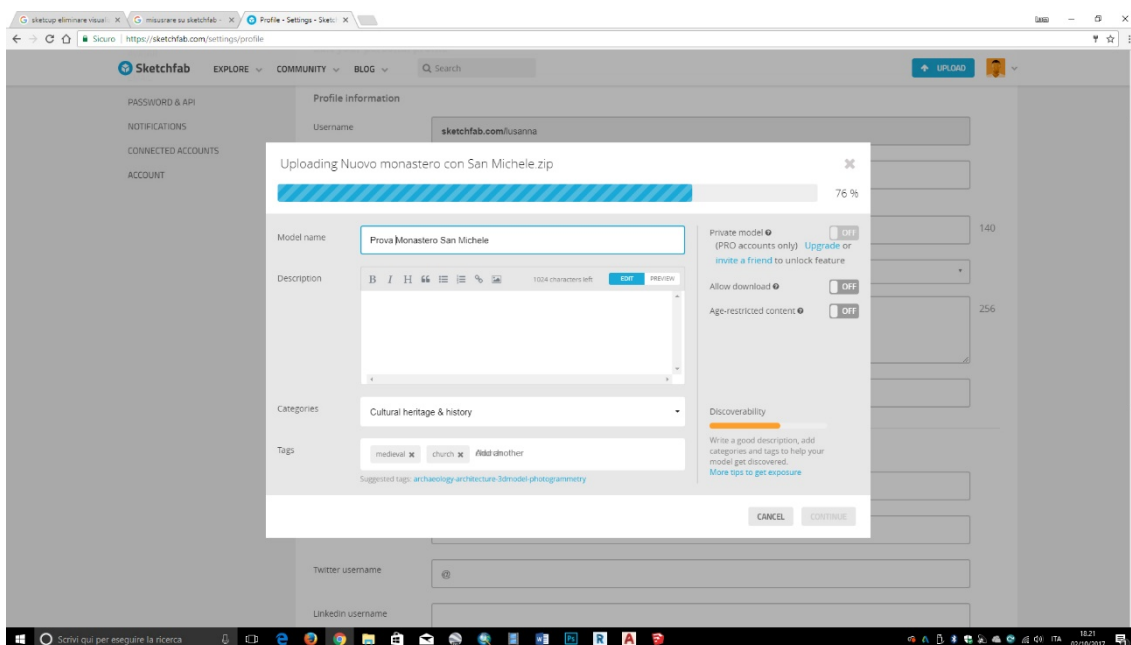


Fig. 106. Il caricamento del modello tridimensionale della ricostruzione del complesso monastico di Salvennor su SketchFab.

Il sistema SketchFab è una piattaforma social, che, anziché condividere contenuti multimediali generici, è orientata su modelli tridimensionali. Come Youtube per i video, Sketchfab permette, dopo una registrazione gratuita, di caricare modelli 3D nei formati più utilizzati e standard, compresi di textures<sup>357</sup>, e di condividere i modelli stessi su ulteriori piattaforme social come Facebook e Twitter.

Il servizio a pagamento offre maggiori funzioni, come una homepage personalizzabile e la possibilità di caricare modelli di maggiori dimensioni.

Le due funzioni suddette hanno orientato la scelta sulla versione a pagamento per la possibilità di inserire un titolo e dei tag che, se da una parte sono utili per essere facilmente individuati tra i modelli inseriti nel database di Sketchfab, dall'altra, possono corrispondere ai campi del Dublin Core (Author, Date, Place, ecc.) con i vantaggi di cui si è già parlato nel primo capitolo.

<sup>357</sup> La registrazione gratuita permette l'upload di modelli 3D con dimensioni massime di 50 MB e un numero di 5 annotazioni non superiori a 5 per modello.

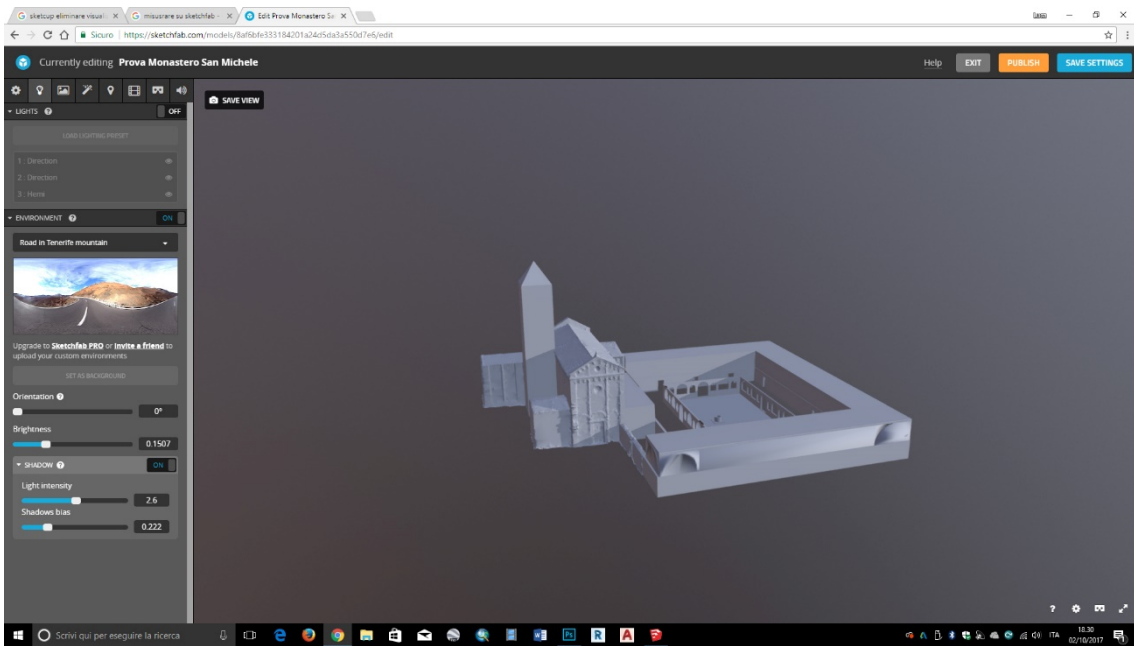


Fig. 107. Il pannello di controllo che permette un'ampia possibilità di personalizzare l'ambiente di cui si pubblica il modello tridimensionale su SketchFab.

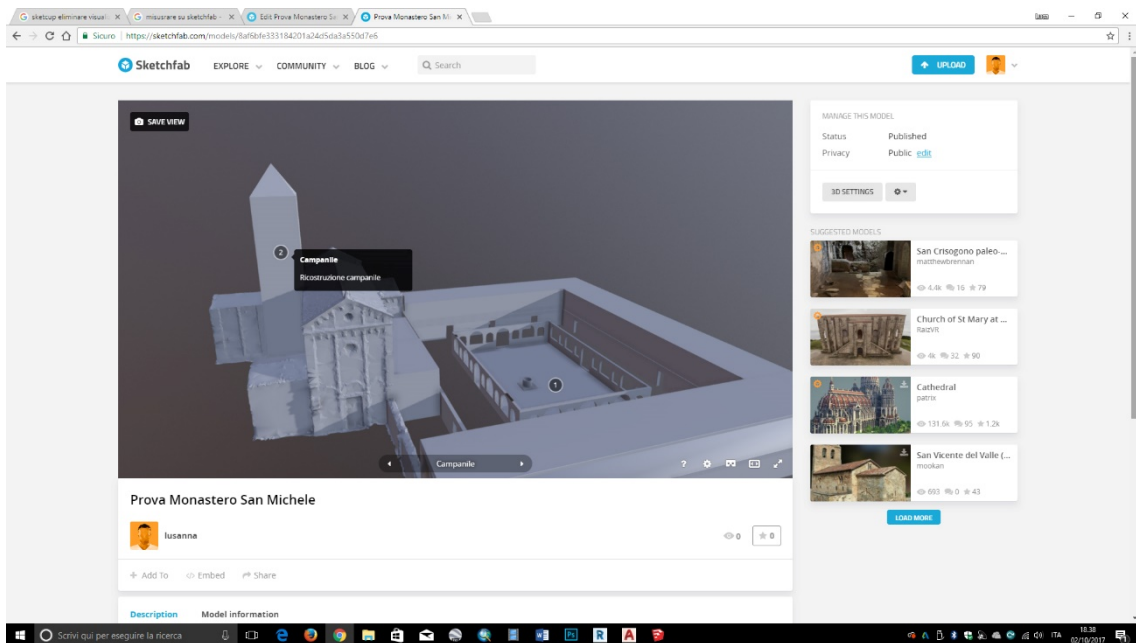


Fig. 108. Il modello tridimensionale della ricostruzione del complesso monastico di Salvennor caricato come test su SketchFab con le annotazioni

La seconda opzione offerta da SketchFab riguarda l'inserimento di eventuali annotazioni direttamente sul modello, utili per la descrizione dello stesso e visualizzabili dagli utenti che accedono alla galleria personale.

### 3.8 Le schede metadati

#### Scheda 5

##### Chiesa di San Michele di Salvennor - esterno

Modello 3D dell'esterno dell'edificio ecclesiastico di San Michele di Salvennor, territorio comunale di Ploaghe (SS). La chiesa faceva parte del complesso monastico vallombrosano, prossimo al villaggio medievale di Salvennor, spopolato nella prima metà del XVIII secolo. Il monastero, edificato nella prima metà del XII sec. d.C., venne abbandonato dai monaci tra il XIV e il XV sec. La chiesa è tutt'ora officiata.

#### Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy bettagarau@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
European a Rights	Free access_no re_use
Spatial	<a href="http://www.sardegnaicultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1">http://www.sardegnaicultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1</a>
Start Date	XII AD
End Date	XXI AD
Period Name	Medieval age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis

Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/tgn/5004177">http://vocab.getty.edu/tgn/5004177</a>
---------------------	---

#### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model San Michele di Salvennor
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy <a href="mailto:bettagarau@uniss.it">bettagarau@uniss.it</a>
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

#### Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	Acquisition
Description	405 photos have been shot from different points of view by Nikon D5100 Camera with 18-55 mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 7 mt.
Purpose	documentation
Techniques	metric survey
Equipment	Manfrotto tripod
Actor	Luca Sanna, person, PhD student

#### Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud ant to build a textured dense surface model, calibration performed with Laser scanner Z+F 5006h and total tation Leica Geosystems TPS400 data
Purpose	3D model creation

Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	Manfrotto tripod, Laser scanner Z+F 5006h, total station Leica Geosystems TPS400, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

#### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	Manfrotto tripod, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

#### Scheda 6

##### **Chiesa San Michele di Salvennor - interno**

Modello 3D dell'interno dell'edificio ecclesiastico di San Michele di Salvennor, territorio comunale di Ploaghe (SS). La chiesa faceva parte del complesso monastico vallombrosano, prossimo al villaggio medievale di Salvennor, spopolato nella prima metà del XVIII secolo. Il monastero, edificato nella prima metà del XII sec. d.C., venne abbandonato dai monaci tra il XIV e il XV sec. La chiesa è tutt'ora officiata.

#### Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari, Italy bettagarau@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
European Rights	Free access_no re_use

Spatial	<a href="http://www.sardegna.cultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1">http://www.sardegna.cultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1</a>
Start Date	XII AD
End Date	XXI AD
Period Name	medieval age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/tgn/5004177">http://vocab.getty.edu/tgn/5004177</a>

#### Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model San Michele di Salvennor
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy Italy bettagarau@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

#### Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	Acquisition

Description	240 photos have been shot from different points of view by Nikon D5100 Camera with 18-55mm lens, using an auto focus; average distance camera from the object is 3 mt.
Purpose	documentation
Techinques	metric survey
Equipment	Manfrotto tripod
Actor	Luca Sanna, person, PhD student

#### Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	the photos alignment has been performed by AgiSoft Photoscan Professional Edition in order to produce a dense points cloud ant to build a textured dense surface model, calibration performed with Laser scanner Z+F 5006h and total tation Leica Geosystems TPS400 data
Purpose	3D model creation
Techinques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping
Equipment	Manfrotto tripod, Laser scanner Z+F 5006h, total tation Leica Geosystems TPS400, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

#### Paradata Activity 3

Metadata	Information
Name	Post-processing
Purpose	final 3D model
Techinques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, texture mapping, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot
Equipment	Manfrotto tripod, AgiSoft PhotoscanProfessional Edition 1.3.3.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

Scheda 7

**Chiesa e monastero San Michele di Salvennor**

Modello ricostruttivo 3D del monastero di San Michele di Salvennor, territorio comunale di Ploaghe (SS). Il complesso monastico vallombrosano, prossimo al villaggio medievale di Salvennor, venne edificato nella prima metà del XII sec. d.C. e venne abbandonato dai monaci tra il XIV e il XV sec., mentre la sua distruzione e spoliazione avvenne tra il XVI e XVII sec.

Heritage Asset

Metadata	Information
Source	Università degli Studi di Sassari DISSUF
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy Italy bettagarau@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD student
Copyright Credit Line	Copyright UNISS
European a Rights	Free access_no re_use
Spatial	<a href="http://www.sardegnaicultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1">http://www.sardegnaicultura.it/j/v/253?s=17873&amp;v=2&amp;c=2488&amp;c1=2126&amp;t=1</a>
Start Date	XII AD
End Date	XXI AD
Period Name	medieval age
Materials	Stone
Provenance	PhD thesis
Heritage Asset Type	<a href="http://vocab.getty.edu/tgn/5004177">http://vocab.getty.edu/tgn/5004177</a>



## Digital Resource

Metadata	Information
Name	Digital Resource of 3D model of San Michele di Salvennor monastery
Type	3D
Format	pdf
Contacts	Elisabetta Garau Coordinator research project Palazzo Segni, Vale Umberto I, n. 52, Sassari Italy bettagarau@uniss.it
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student
Copyrights	Copyright UNISS Restricted Access No Reproduction Please Contact UNISS Free access no re use
Link	To be define
Landing Page	To be define

## Paradata Activity 1

Metadata	Information
Name	3D modeling
Description	on the GPR map and archaeological excavation was built the 3d model
Purpose	documentation
Techniques	3D modeling
Equipment	Trimble Sketchup
Actor	Luca Sanna, person, PhD student

## Paradata Activity 2

Metadata	Information
Name	Processing
Description	Monastery 3D model has been aligned with church 3D model
Purpose	Final 3D model creation
Techniques	metric survey, points triangulation, scale-invariant feature transform approach, the textured 3D model is exported to 3D pdf format, snapshot, decimate command
Equipment	Manfrotto tripod, Laser scanner Z+F 5006h, total station Leica Geosystems TPS400, AgiSoft Photoscan Professional Edition 1.3.3. Geomagic Studio 2014.
Actor	Luca Sanna, person, PhD Student

## Cap. 4

### Riflessioni conclusive

La ricerca svolta nell'ambito di questa tesi è stata indirizzata all'analisi delle tecniche della geomatica con il fine di ottenere rilievi tridimensionali e di ricostruire virtualmente siti e monumenti oggi non più visibili.

A tale scopo sono state analizzate le potenzialità offerte dall'uso delle tecniche laser scanner e *image-based* nel settore archeologico.

I casi studio in cui la ricerca ha mosso i suoi passi sono stati scelti in base alle differenti caratteristiche tipologiche, cronologiche e spaziali, utilizzando l'integrazione di differenti sistemi di documentazione 3D.

I dati archeologici acquisiti nei due siti e l'interazione col GIS, come a Sant'Imbenia, oppure con la geofisica, nel caso di Salvennor, hanno permesso di elaborare una documentazione precisa dei contesti indagati e di ricostruire porzioni di ambienti attualmente non visibili.

Il rilievo 3D di oggetti di medie dimensioni, come gli ambienti del villaggio nuragico o la chiesa di San Michele, ha comportato una serie di difficoltà a causa dell'irregolare tessitura muraria, nel primo caso, e del gran numero di particolari da acquisire, nel secondo.

I risultati presentati in questa sede sono stati ottenuti attraverso quattro acquisizioni di *dataset*, rispettivamente due per il laser scanner e due per la fotogrammetria.

Sono stati effettuati due tentativi di elaborazione preliminare dei dati acquisiti: il primo, elaborato a bassa risoluzione e con tempi ridotti, ha permesso di valutare le problematiche geometriche dei monumenti e il livello di precisione mediante l'integrazione di sistemi di calibrazione, come la stazione totale e il laser scanner; il secondo ha portato allo sviluppo di modelli ad alta risoluzione mediante l'integrazione delle riprese aeree per la fotogrammetria e un incremento dei target e delle scansioni laser nel sito di Sant'Imbenia. Con l'incremento delle immagini e delle scansioni è stato possibile inoltre aumentare qualità ed accuratezza metrica del rilievo 3D attraverso la diminuzione delle lacune e l'incremento della densità della nuvola di punti.

I modelli 3D ottenuti con la tecnica *Structure from Motion*, oltre alla precisione, presentano un livello di dettaglio tale da consentire di affermare che, nei casi sperimentati per questa tesi, lo strumento suddetto garantisce risultati molto simili a quelli ottenibili mediante laser scanner, ma con un impegno di risorse *hardware* molto più contenuto.

Il risultato cambia con i modelli realizzati con *dataset* acquisiti unicamente da fotografia aerea (drone o elicottero) e dunque da distanze più elevate rispetto a quelle utilizzate per la chiesa di San Michele o per l'ambiente 47 del sito di Sant'Imbenia: i modelli sopraindicati presentano infatti una maggiore deformazione, soprattutto nelle parti periferiche degli stessi, necessitando dunque di numerosi punti di calibrazione, e sono prodotti con una densità di punti molto più bassa rispetto ad un rilievo laser scanner.

Se da una parte i processi semi-automatici della *Structure from Motion* non sono in grado di apportare correzioni in assenza di numerosi vincoli metrici, dall'altra la distanza e l'inclinazione delle camere, non sempre nadirali, possono causare problemi al processo di allineamento.

In quest'ultimo caso, per rilevare attraverso tecniche fotogrammetriche aree ampie od oggetti di grandi dimensioni occorre disporre di un numero adeguato di informazioni metriche al fine di raggiungere una buona precisione del modello ottenuto.

Alla luce dei risultati raggiunti è stato possibile ottenere rilievi fotogrammetrici di buona qualità, in scale maggiori o uguali a 1:50, funzionali a ricostruzioni destinate ad ambienti video-ludici e didattici, che però non raggiungono il livello di dettaglio e precisione acquisiti con il laser scanner o fotogrammetria da distanza ravvicinata.

Lo studio svolto sull'utilizzo delle tecniche *image-based* e *range-based* nel settore dei beni culturali, e in particolare in archeologia, ha dimostrato come il contributo offerto da queste tecnologie può essere rilevante in termini di possibilità nell'esecuzione di analisi differenti rispetto quelle autoptiche, tradizionalmente applicate durante le fasi di documentazione.

Inoltre il ricorso a piattaforme aeree, a bassa quota o ad altezze maggiori, qualora realizzate per la documentazione fotogrammetrica, assicura numerosi vantaggi, quali la reperibilità di informazioni 3D a risoluzioni maggiori rispetto ai modelli digitali del terreno (DTM) offerti dalla piattaforma territoriale della Regione Autonoma della

Sardegna, che, se impiegati in scale locali, costituiscono un valido supporto per determinare le condizioni del territorio circostante il monumento.

L'utilizzo delle tecniche *image-based* e *range-based* e la realizzazione dei modelli tridimensionali hanno consentito la creazione di una documentazione ad alta precisione dei monumenti e delle stratificazioni<sup>358</sup>, che, per lo sviluppo della presente ricerca, è divenuta la piattaforma su cui sperimentare, in supporto a quella autoptica, la lettura virtuale degli elevati e la ricostruzione dei volumi del complesso monastico di Salvennor e di un ambiente virtuale interattivo a Sant'Imbenia, strutturato su una piattaforma di *game engine* come *Unity*.

La gestione dei dati acquisiti mediante tali tecniche ha rappresentato la discriminante per le restituzioni dei modelli 3D: il trattamento delle nuvole di punti generate dal laser scanner, costituite da milioni di punti, è stato difficilmente gestibile anche da parte di sistemi *hardware* performanti.

L'utilizzo di tali sistemi è stato funzionale alla realizzazione della rete di calibrazione dei modelli fotogrammetrici a Salvennor e a Sant'Imbenia e, quando opportunamente semplificato, alla realizzazione della base su cui costruire le piattaforme virtuali.

L'impiego di un *software* di *reverse engineering*, quale Geomagic, adoperato specialmente in ambito industriale e ingegneristico, ha permesso di ottimizzare e trasformare le nuvole di punti in superfici e volumi, utilizzando i modelli ottenuti per soddisfare gli obiettivi della ricerca.

La semplificazione dei modelli gestiti con Geomagic, pur causando una perdita nella definizione, ha offerto il vantaggio di salvare l'oggetto digitale in un formato più "leggero" e facilmente gestibile dalla piattaforma Unity, senza la richiesta di eccezionali risorse hardware. Il vantaggio è riassumibile in una sola parola: condivisibilità.

La caratteristica che ha condizionato la scelta tra strumenti simili è stata determinata dal fatto che Unity è un motore di gioco multipiattaforma supportato da qualsiasi dispositivo mobile.

---

<sup>358</sup> La documentazione di Salvennor, come quella curata a Sant'Imbenia gli ultimi anni, è stata interamente gestita con rilievi fotogrammetrici e stazione totale, oltre che, quando necessario, tramite l'utilizzo del laser scanner.

In quest'ottica è stato gestito anche il rilievo della chiesa di San Michele di Salvennor attraverso l'integrazione del complesso monastico: il passaggio su Geomagic ha permesso la realizzazione di un modello semplificato molto meno impegnativo rispetto a quello generato da Photoscan, in grado di essere caricato su una piattaforma web come Sketchfab con il suo supporto informativo e le schede di metadato.

Le ricostruzioni 3D realizzate tramite le tecnologie utilizzate in questa ricerca costituiscono un supporto di grande utilità, non solo per la documentazione archeologica e per l'analisi di degrado superficiale attraverso la mappatura delle strutture, ma anche per la creazione di musei virtuali, per gli studi di tipo multi-temporale e la divulgazione del materiale archeologico a scopo di studio specialistico.

Il naturale approdo di questo lavoro è la realizzazione di applicazioni multi-*device*, per PC (MacOS o Windows) o per smartphone e tablet, ormai dotati di sistemi operativi sviluppati anche per i 3D *web-service*.

La disponibilità di tali applicazioni supporterebbe la ricerca e la divulgazione, permettendo di utilizzare il modello 3D per acquisire il dato metrico di un monumento in *real-time* in qualsiasi contesto di ricerca, nonché per informare l'utente riguardo alla storia del manufatto archeologico o architettonico che sta visualizzando sul proprio dispositivo attraverso internet.

La relazione tra archeologia e tecnologie informatiche, da quando inizia a muovere i suoi primi passi sotto l'influenza della *New Archaeology* a oggi, è stata caratterizzata da un aumento esponenziale di dati e variabili prodotti da tenere in considerazione durante i processi di analisi e rappresentazione del dato archeologico.

Tali dati e variabili possono essere di grande utilità per agevolare il processo di interpretazione che l'archeologo svolge nella ricostruzione del passato.

Nella presente tesi si è cercato di analizzare come la tecnologia possa rafforzare il processo di documentazione e analisi delle evidenze archeologiche senza che queste debbano dipendere dal progresso tecnologico.

Documentare oggi l'archeologia tramite l'utilizzo dell'informatica e delle tecnologie significa produrre molti più dati rispetto al passato, dati che possono essere organizzati attraverso un calcolatore, che può evidenziare costanti o variabili, fornire indicazioni

scaturite da processi statistici e matematici, visualizzare ricostruzioni 3D e comunicare anche attraverso la realtà virtuale.

Tali supporti tecnologici, oltre i tanto citati pregi e vantaggi, presentano tuttavia considerevoli limiti e l'archeologo che opera con tali strumenti deve conoscerne gli effetti di un utilizzo errato e talvolta abusato.

Per la ricerca archeologica è fondamentale strutturare un progetto di rilievo tridimensionale in base agli obiettivi prestabiliti. Come già detto, l'analisi presentata in questa tesi è stata condotta con lo scopo di comprendere le caratteristiche dei monumenti documentati e, grazie al materiale acquisito, creare un supporto scientificamente valido, utile alla lettura e, di conseguenza, all'interpretazione dei dati analizzati.

Poiché il lavoro, in termini di tempo, risorse *hardware*, *software* e *know how*, per realizzare un rilievo mediante tecnologie geomatiche è stato impegnativo, risulta estremamente dispendioso procedere con metodologie di questo tipo in assenza di un ampio progetto di documentazione, di uno scambio continuo di informazioni e di un'*equipe* preparata sui metodi e le tecniche di rilievo archeologico.

I casi di Salvennor e Sant'Imbenia ci permettono di affermare che qualsiasi interpretazione archeologica non può basarsi sull'analisi di un solo metodo d'indagine: per il sito di San Michele di Salvennor è stato possibile ricostruire il complesso monastico integrando i dati messi a disposizione da fonti di natura differente; i risultati degli scavi condotti a Sant'Imbenia consentono di delineare un quadro cronologico dettagliato e d'interpretare i dati proponendo una visita virtuale del villaggio tra VIII e VII secolo a.C. Se in entrambi i casi la combinazione di tutte le diverse fonti di informazioni sono state indispensabili per proporre delle ricostruzioni, l'adeguata gestione di queste, pur con notevole impegno di tempo e risorse, è stata alla base del conseguimento degli obiettivi. Rispetto al percorso interpretativo, le informazioni 3D ricavate dai set dei dati forniti dal GPR sono state convertite in oggetti 3D effettivi, che, insieme alla lettura degli elevati e delle sequenze indagate, hanno consentito di elaborare un modello digitale da cui è stato possibile effettuare le estrusioni verticali basate sull'interpretazione archeologica.

Il prodotto finale è rappresentato da diversi elaborati 2D/3D, ad alta risoluzione utilizzando il formato PDF-3D e a bassa risoluzione sulla rete grazie alla piattaforma SketchFab.

L'approccio virtuale rende tali applicazioni utili se l'intero processo documentale è stato registrato in ogni passo e fase al fine di creare un quadro informativo coerente con i dettami della Carta di Londra e con i Principi di Siviglia in materia di ricostruzioni scientifiche e informatiche, divenendo uno strumento molto flessibile per comunicare l'archeologia all'interno della comunità scientifica e al grande pubblico.

Se tali procedure sono ormai fondamentali per sviluppare un percorso di analisi approfondita all'interno di una ricerca archeologica, tuttavia l'approccio diretto resta un metodo di analisi imprescindibile, in quanto la rappresentazione di una nuvola di punti o di un modello 3D, benché di grande supporto, non può sostituire l'osservazione diretta sul campo.

L'analisi autoptica del complesso di Salvennor ha consentito di acquisire un primo inquadramento tipologico e morfologico del contesto e alcuni particolari architettonici. Ad esempio, le USM ancora leggibili sulla muratura meridionale del transetto suggeriscono che la volta degli ambienti monastici doveva essere ad arco a tutto sesto, con uno sviluppo orizzontale degli ambienti stessi, come suggerito dalle indagini GPR e secondo il modello di architettura monastica dei Benedettini.

Il rilievo 3D, offrendo la possibilità di misurare le altezze e di analizzare le proporzioni delle strutture in rapporto all'edificio chiesastico, ha permesso di accertare l'originario sviluppo della struttura monastica su un unico livello.

In questo caso la virtualizzazione del monumento ha permesso di valutare il rapporto tra la chiesa e il monastero che, leggibile solo attraverso deboli tracce, con la modellazione digitale è stato ricostruito secondo i giusti rapporti dimensionali.

Anche la riproduzione virtuale del sito di Sant'Imbenia, dove la piazza intorno alla quale avvenivano le operazioni di scambio e commercio tra popolazioni allogene e locali, dopo i processi di estrusione e costruzione virtuale dell'abitato, risulta essere uno spazio "protetto" più che aperto, nel quale si arriva attraverso aperture non molto ampie e che, con la modellazione degli elevati relativi agli ambienti che oggi si percepiscono al livello di rasatura, appare più come un luogo in cui è possibile un accesso più "discreto" piuttosto che destinato ad un consistente numero di persone.

Tali considerazioni non intendono rappresentare un'interpretazione definitiva sui contesti analizzati: a Sant'Imbenia è necessario ampliare la ricerca nei settori intorno al nuraghe

e alle aree limitrofe a quella attualmente indagata, a San Michele occorre proseguire le ricerche nei settori a nord e sud della chiesa, quest'ultimo relativo plausibilmente allo spazio del monastero.

In considerazione della rapidità con la quale si sviluppano le tecnologie è necessario implementare da subito una piattaforma documentale aperta e in grado di essere aggiornata e redatta da un archeologo, perché in archeologia il rilievo, con o senza le tecnologie, attiene a una fase importante del processo conoscitivo, e conseguentemente interpretativo, di un monumento o di un contesto.

I casi studio affrontati hanno dimostrato come la rappresentazione tridimensionale favorisca processi di confronto, misurazione e ri-valutazione del contesto grazie alla possibilità di riprodurre l'intero sito archeologico, con le sue caratteristiche fisiche, dimensionali e cromatiche altamente dettagliate.

Se il rilievo manuale bidimensionale era il risultato della selezione, compiuta dal rilevatore, dei punti caratterizzanti il contesto, l'imparzialità del modello 3D, realizzato senza alcuna selezione attraverso il laser scanner o la fotogrammetria, rappresenta la totalità del record archeologico.

Questo fatto da una parte crea un modello tridimensionale privo di selezione e interpretazione, dall'altra parte permette, dopo un'attenta analisi documentale autoptica, la possibilità di tornare oggettivamente sul monumento senza i condizionamenti soggettivi iniziali e, come nel caso di Salvennor o Sant'Imbenia, ripercorrere i processi interpretativi già compiuti.

In questo senso il rilievo tridimensionale è uno strumento di elevato potenziale, ancora di più quando, per normali problemi organizzativi, è difficile ritornare sul sito con frequenza e agevolmente.

Nei casi studio affrontati in questa tesi la mole di dati acquisita ed elaborata per la creazione di modelli tridimensionali ammonta a svariati Gigabyte. I dati grezzi rilevati dal laser scanner occupano circa 15 GB di memoria per Salvennor e 30 per Sant'Imbenia, le immagini acquisite per realizzare gli elaborati tridimensionali circa 5 GB, le elaborazioni finali, ossia i modelli con texture scalati e georeferenziati, circa 12 GB per le varie scale di rilievo a Sant'Imbenia e 5 GB di spazio di memoria per San Michele. Le ortofoto generate hanno dimensioni comprese tra i 300 e i 700 MB.



Poiché tali proporzioni non permettono la condivisione dei dati grezzi, per pubblicare in rete gli elementi tridimensionali realizzati è stato necessario limitare i prodotti finali, ostacolo principale, questo, alla fruizione di tale documentazione e alla loro archiviazione nelle *Digital Libraries*.

Le potenzialità offerte dalle possibilità di analisi proprie della *Computer Vision* sono attualmente limitate e condizionate dalla complessità di condivisione delle unità minime informative<sup>359</sup>.

Attualmente l'*escamotage* più utile per la condivisione dei modelli realizzati è fornito dagli stessi software 3D, come Photoscan o Geomagic, che consentono di esportare in \*.pdf il modello 3D, visualizzabile e misurabile grazie al lettore gratuito di Adobe, Acrobat.

L'inserimento all'interno del Portable Document Format (\*.PDF) di un oggetto 3D completamente navigabile permette la possibilità d'interazione con il modello stesso e, mediante alcuni strumenti disponibili, ricavare misurazioni lineari o visionare sezioni verticali o orizzontali.

In rete la soluzione è fornita, oltre che dalla condivisione dei PDF 3D, dal sistema Sketchfab, basato su tecnologie standard HTML 5 e Web GL, che consente di caricare i modelli 3D con relativa facilità su qualsiasi pagina Web per condividerli privatamente o pubblicamente.

In questo modo è possibile sfruttare il potenziale della rete utilizzando uno strumento in grado di condividere modelli 3D non superiori ai 50 MB gratuitamente o 200 MB nella versione Professional a pagamento.

Gli allegati A e B offrono un esempio navigabile di questa funzionalità con i modelli di Salvennor (A) e l'ambiente 47 del sito di Sant'Imbenia (B). Lo stesso modello di Salvennor è reperibile sulla piattaforma SketchFab all'indirizzo <https://skfb.ly/69BH6>.

La possibilità di pubblicare in rete modelli fruibili e, almeno parzialmente, interrogabili diventa fondamentale al fine di favorire lo scambio di informazioni, ma soprattutto per realizzare una documentazione utilizzabile da altri ricercatori così da stimolare la continua interazione e dialettica tra studiosi e dati all'interno della disciplina<sup>360</sup>.

---

<sup>359</sup> D'ANDREA 2006.

<sup>360</sup> SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 77.

Attraverso il lavoro svolto si propone una procedura che, mediante l'acquisizione 3D di dati spaziali, sviluppa dei contenuti basati su standard condivisibili in grado di comunicare, sia in ambito accademico che divulgativo, il percorso seguito.

In questo senso sono stati definiti dei formalismi e degli standard affinché gli elaborati virtuali siano compatibili e interpretabili.

Pur considerando assolutamente valide e ancora fondamentali le restituzioni bidimensionali "classiche" della documentazione archeologica, la rappresentazione tridimensionale di un sito fornisce un ulteriore supporto alla ricerca, grazie alle numerose informazioni spaziali, qualitative e relazionali che intrinsecamente contiene.

L'avvento di nuovi strumenti e tecnologie proietta il ricercatore verso un utilizzo continuo dell'ultima apparecchiatura prodotta, più veloce e completa anche per risolvere problemi ugualmente superabili con metodi "tradizionali". L'analisi del rapporto tra strumenti disponibili e tempo impiegato per soddisfare le esigenze della ricerca dev'essere l'ago della bilancia che permette di valutare quando e in che modo è utile intraprendere un lavoro simile a quello realizzato per questa ricerca.

Consideriamo infatti il laser scanner, la fotogrammetria 3D o l'integrazione tra queste due tecnologie come strumenti, funzionali ad un progetto di ricerca, utilizzabili in qualsiasi contesto di scavo, se effettivamente necessari.

Talvolta una "classica" triangolazione e la sua restituzione bidimensionale possono soddisfare pienamente il responsabile di un'indagine archeologica. Tuttavia se il contesto analizzato, come nei casi proposti in questa tesi, risulta di particolare interesse o fa parte di un progetto più ampio di valorizzazione e promozione, l'utilizzo della *Computer Vision* diventa fondamentale per la comunicazione i risultati ottenuti.

Gli applicativi realizzati con la grafica 3D rappresentano dei mezzi di comunicazione di forte impatto sul grande pubblico, utili alla divulgazione del patrimonio culturale, alla conoscenza del passato, ancora di più se questi non sono direttamente accessibili, come attualmente rappresentato dal sito di Sant'Imbenia.

Tali sistemi permettono, grazie alla rete, una democratizzazione dell'archeologia<sup>361</sup> e la loro condivisione diviene un tramite tra l'archeologia e un "mondo esterno", talvolta distaccato ma alla continua ricerca di informazioni.

In questo contributo si è sperimentata una procedura di organizzazione dei dati tridimensionali per comprendere quali siano gli effetti dell'utilizzo di tali tecnologie di rilievo in campo archeologico, approfondendo ogni singolo aspetto del percorso intrapreso, con l'intenzione di evidenziarne i vantaggi.

Il primo dato che emerge è legato alla gestione di record archeologici concepiti per una gestione della documentazione esclusivamente analogica.

La struttura delle schede US rappresenta un insieme di informazioni che, qualora volessimo condividerle come modelli destinati alla rete, presenterebbero dei limiti di utilizzo legati al concetto stesso di organizzazione del dato in esse contenuto<sup>362</sup>.

Nella gestione della documentazione di scavo dell'ambiente 47 di Sant'Imbenia sono emerse le problematiche legate alla gestione di differenti record archeologici acquisiti in momenti differenti della ricerca e finalizzati alla produzione di un tipo di elaborati basato su rilievi analogici e bidimensionali.

La conversione di tali dati, da analogici a digitali, e la loro unione in una piattaforma tridimensionale, se da una parte non ha aggiunto informazioni ai record archeologici acquisiti in passato, dall'altra ha permesso di elaborare una rappresentazione della sequenza dell'ambiente 47, aumentando in questo modo il potenziale informativo del modello digitale realizzato.

Il riordino e la visualizzazione tridimensionale di una sequenza all'interno di un contesto di scavo, seppur virtuale, consente di ottenere una materializzazione della sequenza stessa, stimolando ulteriori processi cognitivi che potrebbero agevolare un'ulteriore interpretazione<sup>363</sup>.

La rappresentazione tridimensionale di un record archeologico è diventato, nel caso di Sant'Imbenia, un valido strumento in grado di veicolare una maggiore quantità di informazioni, senza trascurare gli aspetti qualitativi e metodologici.

---

<sup>361</sup> HUGGETT 1995.

<sup>362</sup> D'ANDREA 2016b.

<sup>363</sup> Per processo cognitivo si fa riferimento all'informazione composta da rappresentazioni (FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, pp. 3-9).

I differenti livelli documentali ricavati dalle foto aeree e da terra hanno permesso la creazione di altrettante piattaforme necessarie alla documentazione del sito nella sua totalità, con livelli altissimi di dettaglio e dai quali è possibile ricavare qualsiasi informazione metrica.

Sulla base della documentazione dell'intero processo conoscitivo e documentale, con tutti i suoi passaggi, è stata ottenuta una rappresentazione verificabile degli oggetti prodotti e la reale validità dell'informazione in essi contenuta.

Sempre in relazione al caso specifico del sito di Sant'Imbenia l'utilizzo delle differenti tecniche di rilievo ha permesso, oltre che un confronto, anche una valutazione del reale potenziale di entrambe le tecnologie.

Il vantaggio nell'utilizzo del laser scanner è rappresentato dall'elevato livello di precisione che ha consentito di ottenere misure precise per la calibrazione del rilievo fotogrammetrico. Le numerose scansioni realizzate hanno garantito la copertura totale della superficie dell'abitato, rendendo tuttavia di difficile gestione la nuvola di punti ottenuta.

La fotogrammetria invece, grazie ad una corretta calibrazione, ha assicurato un elevato livello di precisione, producendo dei modelli tridimensionali utilizzabili sia come documentazione scientifica che come base su cui implementare la piattaforma video-ludica.

La documentazione acquisita in tre dimensioni o modellata, comprendente l'intera sequenza di azioni, naturali o artificiali, positive o negative, rilevabili all'interno dell'ambiente 47 di Sant'Imbenia, è utile a chi fa ricerca, perché i risultati sono disponibili e consultabili su formato PDF e in rete, alle Soprintendenze per motivi di tutela e al grande pubblico che può visitare virtualmente il sito ricostruito in base alle informazioni e alle interpretazioni desunte dallo studio svolto.

La presente ricerca ha permesso di definire un protocollo per l'utilizzo scientifico dei dati e il relativo riuso in termini di divulgazione ad un più vasto pubblico del medesimo materiale. Questo protocollo prevede tre momenti principali, documentazione, analisi e interpretazione, che conducono ad una rappresentazione virtuale dei contesti indagati.

A Sant'Imbenia la documentazione prodotta su scale differenti è funzionale ad un riordino e ad una visualizzazione tridimensionale delle stratificazioni di un settore di scavo; grazie

allo studio dei materiali e delle sequenze è stato possibile comprendere la funzione dell'ambiente 47, in questo caso studio e più in generale dell'intero scavo.

L'utilizzo della *Computer Vision* e delle potenzialità della modellazione 3D ha consentito di valutare da un punto di vista differente il fulcro del sito indagato, ovvero l'ampio spazio aperto la cui centralità pare essere parte di un progetto di urbanizzazione dell'area, realizzato fra la fine del IX e la prima metà dell'VIII secolo a.C.<sup>364</sup>.

È questa una riflessione su cui è però indispensabile una premessa: lo scavo del sito attualmente non ha restituito elementi che consentano di ricostruire le altezze delle strutture o risalire al materiale con cui gli ambienti erano coperti. L'assenza di questi dati suggerisce la presenza di coperture in materiale vegetale, mentre le altezze delle strutture portanti sono state ipotizzate prendendo come modello gli edifici che ancora conservano il massimo dell'elevato, a cui è stata aggiunta una quota minima per realizzare un'apertura utilizzabile (circa 1,5 m).

Fatta questa premessa e ricostruiti gli elevati con tali modelli, si è osservato come lo spazio della piazza, che si sviluppa intorno degli ambienti destinati al commercio, non risulti poi così "aperto", bensì sembrerebbe definire, come già detto, un'area funzionale allo scambio, ma con una connotazione più raccolta rispetto alla visione finora percepita. In questo senso l'utilizzo delle tecnologie tridimensionali ha permesso l'avvio di un processo interpretativo, che, se confermato dalla prosecuzione delle indagini, porterebbe a una visione che si discosterebbe da quella attualmente proposta.

---

<sup>364</sup> DEPALMAS, RENDELI 2012; GARAU, RENDELI 2012; RENDELI 2012a; 2012b.

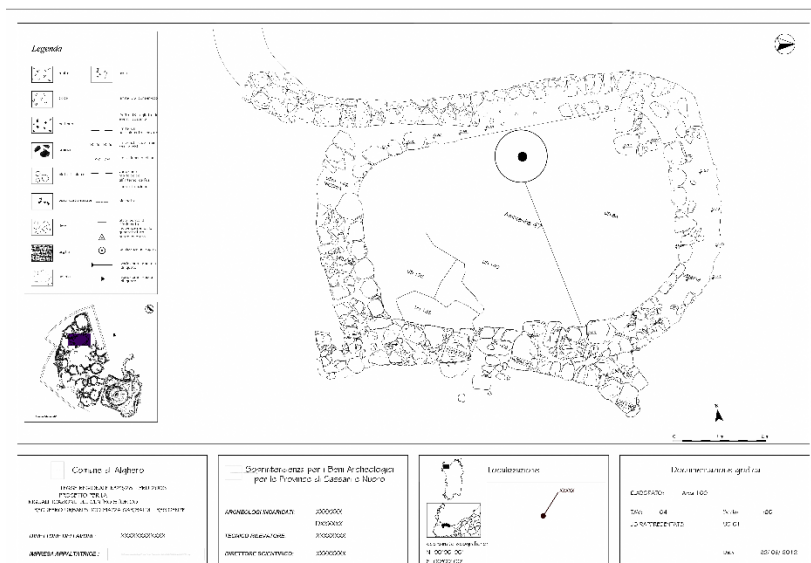


Fig. 109. Dal rilievo tradizionale, realizzato per la documentazione di scavo di ogni singolo ambiente, è stato possibile ricostruire l'intero villaggio e percorrerlo come in un videogioco. L'interazione col paesaggio virtuale, ricostruito mediante i dati di scavo, permette di effettuare una visita virtuale completa del sito.

LUCA SANNA  
 Documentare l'archeologia in 3 Dimensioni.  
 Problematiche e metodologie proposte.  
 Tesi di dottorato in Archeologia, Storia e Scienze dell'Uomo  
 Università degli Studi di Sassari

Il complesso delle procedure di intervento sulla documentazione tridimensionale, per quanto possa essere applicato in siti così differenti per contesto e cronologia, è stato il medesimo, per la strumentazione, per la metodologia e per gli obiettivi: produrre modelli di elevata precisione, utili alla ricerca, perciò condivisibili e valutabili, ma dotati anche di un elevato potenziale comunicativo.

Va tuttavia precisato che sono stati necessari degli accorgimenti differenti nei due contesti documentati.

Mentre il rilievo fotogrammetrico a Salvennor è stato improntato su un utilizzo misto di riprese, da terra e da drone, questo non è stato possibile a Sant'Imbenia, a causa della copertura lignea posizionata sull'area di scavo.

A Salvennor l'impiego del rilievo fotogrammetrico ha consentito di documentare porzioni di muratura difficilmente visibili da terra e di realizzare un'analisi stratigrafica muraria dettagliata e completa.

In questo contesto l'analisi archeologica, integrata dai dati provenienti da fonti di natura diversa, ha permesso una ricostruzione del monastero avvalorando l'ipotesi, ancora da confermare con gli scavi, della presenza del campanile e di un porticato antistante la facciata della chiesa.

La ricostruzione tridimensionale ha consentito di visualizzare le strutture monastiche in rete con l'interazione dell'apparato informativo messo a disposizione da Sketchfab.

Il percorso conoscitivo intrapreso nei due siti in esame non si interrompe con questa tesi, poiché quello proposto è un *work in progress* che proseguirà con l'evoluzione delle indagini archeologiche.

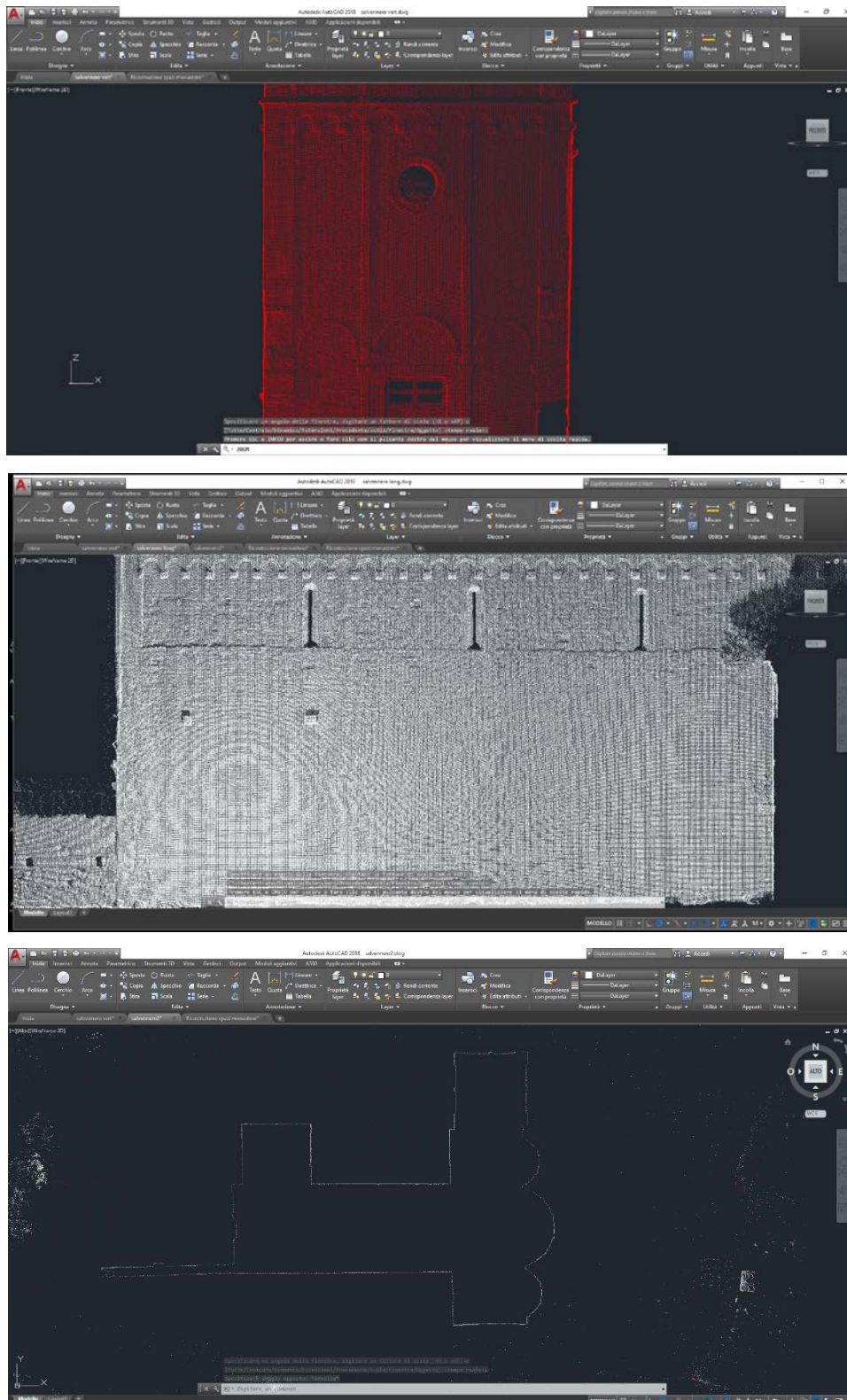


Fig. 110. Alcune elaborazioni effettuate mediante software CAD per la documentazione scientifica. È stato possibile sezionare l'edificio ecclesiastico di San Michele di Salvennor lungo alcuni piani, orizzontali e verticali, ed estrapolarne delle sezioni.





Fig. 111. Uno *screenshot* dello *smatphone* connesso con SketchFab in modalità *VR mode*. Dal rilievo 3D è possibile realizzare visite virtuali del sito con visori per la realtà virtuale e tecnologie immersive.

Si auspica che il contributo svolto in questa ricerca possa servire come base di partenza replicabile, ma soprattutto migliorabile, per la documentazione di contesti simili.

La documentazione e l'analisi dei siti presentati costituisce il nucleo di una banca dati disponibile per l'approfondimento delle ricerche, non solo in contesti simili per quantità di fonti (archeologiche e non) utili per le ricostruzioni, ma anche per situazioni meno note attraverso i dati bibliografici, come invece la chiesa di San Michele.

Il percorso metodologico svolto è stato effettuato nell'ottica di analisi e interpretazione del monumento, con l'obiettivo di conservare ciò che oggi è emerso dagli scavi, frutto di processi antropici legati all'abbandono e al mutamento di utilizzo dei siti indagati, ma anche per cercare di evitare un'ulteriore perdita di dati materiali.

Le anomalie emerse dall'analisi georadar a San Michele hanno permesso di ricostruire un contesto oggi testimoniato unicamente dalle fonti documentali, mentre la forma e la funzione degli ambienti di Sant'Imbenia hanno restituito degli spaccati di vita delle popolazioni che abitavano quell'area tra IX e VII secolo a.C.

Oltre ai vantaggi, l'esperienza maturata lungo questo percorso ha evidenziato alcune criticità rispetto agli strumenti, rappresentate principalmente dai costi delle apparecchiature e dal tempo di processamento dei dati.

Il GIS 3D (o 2D e mezzo), che, nell'integrazione del dato analogico con quello digitale tridimensionale, ha dimostrato tutta la sua debolezza in un sistema costruito per archiviare le informazioni di ogni singola unità stratigrafica rimossa, fa tuttavia della rappresentazione un suo punto di forza.

L'utilizzo della tridimensionalità nella rappresentazione dei beni culturali, che recentemente si sta evolvendo in applicazioni ludiche e interattive, costituisce uno strumento di divulgazione scientifica sempre più utilizzato<sup>365</sup>.

Mediante le tecnologie multimediali è possibile un maggiore coinvolgimento, non solo della comunità scientifica, ma anche di una parte più ampia di fruitori, a cui sarà più semplice trasmettere i risultati di una ricerca scientifica, ma in modo semplice e intuitivo. I modelli tridimensionali realizzati per questa ricerca permettono la condivisione virtuale dell'archeologia attraverso un approccio visivo e interattivo (i modelli sono tutti misurabili e basati su standard in grado di agevolarne la condivisione), consultabile su qualsiasi piattaforma e mediante l'utilizzo di qualsiasi dispositivo, fisso o mobile, grazie alla rete.

La moderna metodologia archeologica non può più prescindere dall'utilizzo di tali tecnologie, in quanto l'apporto che queste possono dare all'analisi dei monumenti è enorme in termini di quantità e qualità dei dati acquisiti. Tuttavia "l'archeologo non misura gli eventi, ma li osserva, li annota e, infine, li interpreta alla luce dell'esperienza pregressa e della conoscenza acquisita nel corso delle indagini<sup>366</sup>".

In questo senso è possibile affermare che gli strumenti utilizzati hanno agevolato la lettura del monumento, restituendo le evidenze con maggiore dettaglio e offrendo la possibilità di accedere a differenti punti di osservazione.

---

<sup>365</sup> Si veda PESCARIN 2016 e bibliografia precedente.

<sup>366</sup> D'ANDREA 2016b, p. 311.

## BIBLIOGRAFIA

AGISOFT LLC. 2016. Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.2 <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (data di accesso: 08 settembre 2017).

ACCONCIA V., FERRERI S.L., 2016, *Una proposta di analisi GIS per la lettura degli assetti insediativi nell'Abruzzo interno tra l'età del ferro e la romanizzazione*. In *Archeologia e Calcolatori*, 27, pp. 179-195.

AGARWAL S., SNAVELY N., SIMON I., SEITZ S.M., SZELISKI R., 2009, *Building Rome in a Day*. Proc. IEEE ICCV Conference, pp. 72-79.

ALBA E. 2009, *El emplazamiento y el control del territorio de la zona de Alghero (Sassari, Cerdeña) en época nurágica: una experimentación*, in *Sardinia, Corsica et Baleares antiquae VII*, pp. 127-151.

ALBA E., 2012, *Testimonianze archeologiche del territorio di Alghero (Sardegna nord-occidentale). Tecniche multivarianti per lo studio dell'età del Bronzo*.

AMICO N., ANGELINI A., D'ANDREA A., GABRIELLI R., IANNONE G., 2010, *Integrating 3D data acquisition techniques for comprehensive study for the ancient Hellenistic-Roman Theatre of Paphos, Cyprus*, in JAVIER MELERO F., CANO P., REVELLES J., *Fusion of Cultures, Abstracts of the XXXVIII Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2010, Granada, Spain*, pp. 461-464.

ANICHINI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M.L., NOTI V., 2013, *MOD (MAPPA Open Data). Conservare, disseminare, collaborare: un archivio open data per l'archeologia italiana*, in *Archeologia e Calcolatori* supplemento 4, pp. 45-52.

ANICHINI F., DUBBINI N., FABIANI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M.L., 2015, *Dall'Open Data alla predittività. Nuovi modi di far crescere l'archeologia italiana*, in *Archeologia e Calcolatori*, Supplemento 7, pp. 141-154.

ANICHINI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M., 2015, *Mappa Book Vol. 1.*

APPETECCHIA A., BRANDT O., MENANDER H., THORÉN H., 2012, *New methods for documentation and analysis in building archaeology – prestudy.* UV rapport vol. 1. Swedish National Heritage Board.

ARRIGHETTI A., CAVALIERI M., 2012, *Il rilievo fotogrammetrico per nuvole di punti RGB della “sala triabsidata” del sito archeologico di Aiano-Torraccia di Chiusi (SI),* in *Archeologia e Calcolatori*, 23, pp. 121-133.

AZZENA G., 2009, *Punto di Non ritorno,* in *Archeologia e Calcolatori*, 20, pp. 169-177.

BAFICO S., *Nuraghe e villaggio Sant’Imbenia, Alghero, Viterbo, Betagamma 1998.*

BARAZZETTI L., MUSSIO L., REMONDINO F., SCAIONI M., 2011, *Targetless camera calibration.* Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38(5/W16), on CD-ROM.

BARCELÒ J., A., FORTE M., SANDERS D. H., 2000, *Virtual reality in archaeology,* Archaeopress, Oxford.

BENEDETTI B., GALANI M., REMONDINO F., 2010, *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei.*

BERNERS-LEE T., 2009, *Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web.*

BARTOLI M., 2014, *Metodologie e strumenti di studio digitali per l’archeologia. Nuovi strumenti per la documentazione archeologica,* DigItalia web, *Rivista del Digitale nei Beni Culturali,* consultato nell’agosto 2017: <http://digitalia.sbn.it/article/view/1056>.

BAUMAN Z., 2011, *Modernità Liquida*, Laterza, Bari.

BERCHMANS M. B, RIMANO A., 2002. *Metodologia della ricerca*, in AA.VV. *La comunicazione. Il dizionario di Scienze e Tecniche*, pp. 745- 754, Torino.

BESTA E., 1909, *La Sardegna medievale*, I-II, Palermo.

BEZZI A., BEZZI L., FONDRIEST G., GIETL R., NAPONIELLO G., SEGATA M., 2015, *Lo scavo archeologico professionale, innovazioni e best practice mediante metodologie aperte e Open Research*, *Atti Acc. Rov. Agiati*, a. 265, 2015, ser. IX, vol. V, B: 5-20.

BINFORD S. R., BINFORD L. R., 1968, *New Perspectives in Archaeology*, Aldine Publishing Company, Chicago.

BINTLIFF J. L., EARLE T. K., PEEBLES C. S., 2006, *A Companion to Archaeology*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford.

BONORA F., 1979, *Nota su un'archeologia dell'edilizia*, in *Archeologia Medievale*, VI, *Archeologia e pianificazione dei centri abitati*, pp. 171-182.

BONAZZI G., 1900, *Il condaghe di S. Pietro di Silki*, Sassari- Cagliari.

BOSCOLO A., 1952-1954, *La politica italiana di Ferdinando I d'Aragona*, in *Studi Sardi*, voll. XII-XIII.

BOTTERI M., 1978, *Guida alle chiese medievali della Sardegna*, Sassari.

BOURDIN S. 2014, *Le ricerche dell'École française de Rome sui centri fortificati dei Vestini Cismontani*, in Bourdin, D'Ercole, *I Vestini e il loro territorio dalla Preistoria al Medioevo*, Rome, CEFR 494, pp. 155-166.

BRANCA A., BRANDIS F., GIORDO F., 1971, *Il Goceano*, Cagliari.

BROGIOLO G.P., 1988, *Archeologia dell'edilizia storica*, Como.

BROGIOLO G.P., CAGNANA A., 2012, *Archeologia dell'Architettura. Metodi e interpretazioni*, Firenze.

BURTON, V. BONIN A. LOURIE J., SPISELMAN T., 1970, *The Computer and Archaeology*. *American Journal of Archaeology* 74, no. 3, pp. 221-223.

BUSH V., 1945, *As We May Think*, in *The Atlantic Monthly*, reperibile on line negli archive della stessa rivista oggi on line all'indirizzo visualizzato nell'agosto 2017: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/1945/07/as-we-may-think/303881/>

CAFFO R., 2013, *Global interoperability and linked data in libraries*. ICCU international commitment, *JLIS.it.*, 4, n. 1, indirizzo visualizzato nell'agosto 2017: <http://leo.cineca.it/index.php/jlis/search/results>.

CALLIERI M., DELL'UNTO N., DELLEPIANE M., SCOPIGNO R., SODERBERG B., LARSSON L., 2011, *Documentation and Interpretation of an Archaeological Excavation: an experience with Dense Stereo Reconstruction tools*, in DELLEPIANE M., NICOLUCCI F., PENA SERNA S., RUSHMEIER H., VAN GOOL L., *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, pp. 33-40.

CAMBI F., DE VENUTO G., GOFFREDO R., 2015, *I pascoli, i campi, il mare. Paesaggi d'altura e di pianura in Italia dall'Età del Bronzo al Medioevo*, Bari.

CAMPANA S., FRANCOVICH R., 2006, *Laser Scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali 1*, Firenze.

CAMPUS F., LEONELLI V., 2000, *La tipologia della ceramica nuragica*. Il materiale edito, Viterbo, pp. 1-76.

CANTONE F., DE TOMMASI A., 2013, *Digital Literacy e Open Archaeology: Nuove forme di integrazione in atto tra Open Learning, Open Access, Open Knowledge*, in *Proceedings of Archeofoss*, VIII Edizione.

CARAVALE A., 2009, *La catalogazione informatica del patrimonio archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, pp. 179 – 187.

CAPUTA G., 2014, *Il monastero della SS. Trinità di Saccargia: le campagne di scavo 1997, 1999, 2001*, in *Atti del convegno di Saccargia (Codrongianos)*, 15 dicembre 2012, Sassari.

CASALIS G., ANGIUS V., 2004, *La Sardegna paese per paese*, Cagliari, L'Unione sarda.

CASULA F. C., 2003, *Di.Sto.Sa. Dizionario Storico Sardo*, Sassari, Delfino.

CASAROTTO, A., DE GUIO, A., FERRARESE, F., 2009, *ACTION GIS: un modello predittivo del movimento antropico in un paesaggio antico. Il caso di studio archeologico della Val d'Alpone (VR)*, in *Archeologia e calcolatori*, pp. 291-307.

CORBET J., KROAH-HARTMAN G., MCPHERSON A., 2010, *Linux Kernel Development, How Fast it is Going, Who is Doing It, What They are Doing, and Who is Sponsoring It*, The Linux Foundation, risorsa web: <https://www.linuxfoundation.org/>.

CLARKE D.L., 1968, *Analytical Archaeology*, Methuen, London.

CONTU E., 1997, *La Sardegna preistorica e nuragica*, voll. 1-2, Sassari.

CORONEO R., 1993, *Architettura romanica dalla metà del Mille al primo '300*, collana "Storia dell'arte in Sardegna", Nuoro, Ilisso.

CORONEO R., 2005, *Chiese romaniche della Sardegna. Itinerari turistico culturali*, Cagliari, AAVV.

CORRIDORE, F., 1902, *Storia documentata della popolazione del regno di Sardegna (1479-1901)*, seconda edizione, Torino.

CRISTOFANI M., FRANCOVICH R., 1990, *Editoriale*, in *Archeologia e Calcolatori*, 1, pp. 7-8.

CRESCIOLI M., D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. 2000, *A GIS-based analysis of the Etruscan cemetery of Pontecagnano using fuzzy logic*, in LOCK G. 2000 (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, pp 157-179.

CUCKOVIC' Z., 2015, *Exploring intervisibility networks: A case study from Bronze and Iron Age Istria (Croatia and Slovenia)*, in F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscati, S. Robert (eds.), *21st century Archaeology: Concepts, Methods and Tools. CAA 2014. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 42nd Conference (Paris 2014)*, Oxford, Archaeopress, pp. 469-478.

D'AGATA M.G. 1991, *Il CAD commerciale per l'archeologia*, in "Archeologia e Calcolatori" 2, pp. 123-127.

D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. 2000, *L'archeologia computazionale in Italia: orientamenti, metodi e prospettive*, in "Archeologia e Calcolatori" 11, pp. 13-31.

D'ANDREA A., NICCOLUCCI F., 2001, *L'informatica dell'archeologo: alcune istruzioni per l'uso*, in "Archeologia e Calcolatori", 12, pp. 199 - 220.



D'ANDREA A., 2004, *L'entropia dell'archeologia computazionale ovvero dall'ordine al disordine*, in *Archeologia e Calcolatori* n. 15, pp. 219-238.

D'ANDREA A. 2006, *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Collana del Centro Inter-dipartimentale di Servizi di Archeologia, Università degli Studi di Napoli L'Orientale.

D'ANDREA A., NICCOLUCCI F., 2008, *Semantic interoperability via ontology mapping*, in KOLLIAS S., COUSINS J., *Semantic Interoperability in the European Digital Library Proceedings of the First International Workshop, SIEDL*, pp. 63-75.

D'ANDREA, A., 2002, *Integrating Architectural and Archaeological 3D-Models into Europeana*, in *Newsletter di Archeologia, CISA 3*, pp. 87-109.

D'ANDREA A., FELICETTI A., LORENZINI M., PERLINGIERI C., 2013, *Integrazione di dati archeologici geografici e non geografici con MAD*, in COSTA S., PESCE G.L., *Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica Atti del II Workshop*, Genova, 11 maggio 2007, pp. 75-80.

D'ANDREA A., FERNIE K., 2013, *3D-ICONS metadata schema for 3D objects*, in *Newsletter di Archeologia CISA 4*, pp. 159-181.

D'ANDREA A., 2015, *L'insostenibile leggerezza... della documentazione archeologica*, in ANICHINI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M.L., *MapPapers n°6*, pp. 6-7.

D'ANDREA A., 2016a, *3D-ICONS: oggetti digitali archeologici 3D*, in RONZINO P., *L'integrazione dei dati archeologici digitali – Esperienze e prospettive in Italia*, Lecce, pp. 63-70.

D'ANDREA A., 2016b, *Dall'archeologia dei modelli all'archeologia dei dati*, in *Annali di archeologia e storia antica*, Napoli, pp. 303-320.

DAY J., ANATRA B., SCARAFFIA L., 1997, *La Sardegna medioevale e moderna*, Torino.

DE FELICE G., SIBILANO M.G., VOLPE G. 2008, *Ripensare la documentazione archeologica: nuovi percorsi per la ricerca e la comunicazione*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, pp 271-291.

DE GUIO A., 1992, *Archeologia della Complessità e calcolatori: un percorso di sopravvivenza fra teorie del caos, "attrattori strani", frattali e... frattaglie del postmoderno*, in BERNARDI M., *Archeologia del paesaggio*, IV ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 14-26 gennaio 1991, Firenze, pp. 305-389.

DELOGU R., 1953, *L'architettura del Medioevo in Sardegna*, Roma.

DEPALMAS A., RENDELI M., 2012, *L'erba del vicino è sempre più verde?*, in XLIV riunione scientifica, *La preistoria e protostoria della Sardegna*, Cagliari, Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009, vol. III, Firenze, pp. 907-912.

DEPALMAS, A., 2006, *Guerra e pace nell'interpretazione dell'architettura nuragica*, in *Studi di protostoria in onore di Renato Peroni*, All'Insegna del Giglio, Firenze, 2006, pp. 567-574.

DI TUCCI R., 1912, *Il Condaghe di S. Michele di Salvennor*, in "A. S. S.", VIII.

DI ZIO S., BERNABEI D., 2009, *Un modello GIS multicriterio per la costruzione di mappe di plausibilità per la localizzazione di siti archeologici: il caso della costa Teramana*, in *Archeologia e calcolatori*, 20, pp. 309 – 329.

DIMIER A., *L'art cistercien*, I, La Pierre-qui-Vire, 1962.

DONEUS M., VERHOEVEN G., FERA M., BRIESE C., KUCERA M., NEUBAUER W., 2011, *From Deposit to Point Cloud – a Study of Low-Cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations*, in 23rd CIPA symposium, Prague, 12–16 September 2011. Risorsa web Open Access Journal Geoinformatics: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/gi/article/view/gi.6.11>.

DRAP P., MERAD, D., SEINTURIER J., J.M. BOÏ, PELOSO D., VANNINI G., NUCCIOTTI M., PRUNO E., 2013, *Un sistema d'informazione per l'archeologia medievale: dal rilievo fotogrammetrico all'analisi dei dati. Il progetto "Castello di Shawbak"*, in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24, pp. 329-340.

FARA G. F., *In Sardiniae Chorographiam*, in J. F. Farae, Opera, I-III, a cura di Enzo Cadoni, Sassari, 1992, vol. I.

FELICETTI A., LORENZINI M., 2011, *Metadata and Tools for Integration and Preservation of Cultural Heritage 3D Information*, in *Proceeding of XXIII CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic, pp. 118-124.

FENU A., 2010, *Goceano, La piana, le Terme, la chiesa di San Saturnino. Storia, leggende, contese*.

FIORILLO F., LIMONGIELLO M, FERNÁNDEZ-PALACIOS B.J., 2016, *Testing GoPro for 3D model reconstruction in narrow spaces*, in *ACTA IMEKO*, V. 5, pp. 64-70.

FIORINI, A., 2012, *Tablet PC, fotogrammetria e PDF 3D: strumenti per documentare l'archeologia*, in CURCI A., FIORINI A., *Documentare l'archeologia 2.0*, Atti del Workshop (Bologna, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, 19 aprile 2012), pp. 213-228.

FIORINI A., 2013, Nuove possibilità della fotogrammetria. La documentazione Archeologica del nuraghe di Tanca Manna (Nuoro), in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24, pp. 341-354.

FODDAI, L., 2007, *Nuovi dati sull'architettura nuragica: i nuraghi a tholos con risega. Analisi strutturale e comparativa*, in *Corse et Sardaigne préhistoriques. Relations et échanges dans le contexte méditerranéen*, Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques 128°, Bastia 2003, colloque la «Corse dans les relations et échanges en Méditerranée occidentale pendant la préhistoire et la protohistoire», Documents préhistoriques n° 22, CTHS, Paris 2007, pp. 335-348.

FORTE, M., 1993, *Un esperimento di visualizzazione scientifica per l'archeologia del paesaggio: la navigazione nel paesaggio virtuale*, in *Archeologia e Calcolatori*, 4, pp. 137-152.

FORTE M., BELTRAMI R., 2000, *A proposito di Virtual Archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, in *Archeologia e Calcolatori*, 11, pp. 273-300.

FORTE M. 2002, *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, edizioni MondoGis, Roma.

FORTE M., 2006, *Tra conoscenza e comunicazione in archeologia: considerazioni in margine alla terza dimensione*, in CAMPANA, FRANCOVICH 2006, pp. 23-40.

FORTE, M. 2010, *3D Digging Project. Çatalhöyük 2010 Archive Report*, Çatalhöyük Research Project, pp. 128-132.

FORTE M., 2014, *Virtual Reality, Cyberarchaeology, Teleimmersive Archaeology*, in REMONDINO F., CAMPANA S., *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage Theory and best practices*, BAR International Series 2598, Archeopress, Oxford, pp. 113 - 127.

FRIEDENBERG, SILVERMAN, 2006, *Cognitive Science. An Introduction to the Study of Mind*, SAGE Publications Inc.

FRONZA V., NARDINI A., VALENTI M. 2009, *Informatica e archeologia medievale, l'esperienza senese*. Firenze.

FUSSELL A., *Terrestrial Photogrammetry in Archaeology*, in 'World Archaeology', 14, 2, Photogrammetry/Miscellany 1982, pp. 157 - 172.

FRONZA V., 2003, *Principi di Database Management in Archeologia: L'Esperienza Senese*, in FIORILLO R., PERDUTO P., *Atti III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, Castello di Slarena, Complesso di Santa Sofia (Salerno, 2-5 ottobre 2003), Firenze, pp. 629 - 632.

GABELLONE F., 2013, *La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio n°7 della Carta di Siviglia*, in SCIRES-IT, SCientific RESearch and Information Technology, Vol 3, Issue 2, pp. 55-68.

ANGELINI, A., GABRIELLI, R., 2013, *Laser scanning e photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici*, in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24, pp. 379-394.

GARAU E., 2012, *Note sull'organizzazione del paesaggio nuragico nella Nurra meridionale*, in *Atti della XLIV Riunione Scientifica sulla preistoria e la protostoria della Sardegna*, pp. 1223-1227.

GARAU E., 2015, *'Logiche' insediative costiere nella Sardegna dell'età del Ferro*, in CAMBI F., DE VENUTO G., GOFFREDO R., *I pascoli, i campi, il mare. Paesaggi d'altura e di pianura in Italia dall'Età del Bronzo al Medioevo*, *Storia e Archeologia Globale - 2*, Bari, pp. 297-312.

GARAU E., RENDELI M., 2012, *From Huts to Houses? "Urbanistica" a Sant'Imbenia*, in XLIV riunione scientifica, La preistoria e protostoria della Sardegna, Cagliari, Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009, vol. III, Firenze, pp. 893-898.

GARAU E., RENDELI M., MURA I., FADDA N., SARTINI E., 2015, *Sant'Imbenia: gli ambienti commerciali e la piazza*, in RUGGERI P., *L'Africa Romana, Momenti di continuità e rottura: bilancio di trent'anni di convegni L'Africa Romana, Atti del XX Convegno internazionale di Studi, Alghero-Porto Conte Ricerche, 26-29 settembre 2013*, Roma, pp. 2229-2252.

GARAU E., SANNA L. 2015, *Metrology for the Burgos Castle*, in 1st International Conference on Metrology for Archaeology (Benevento, Italy, October 22-23, 2015).

GARAU E., PASCUCCI V., SANNA L. 2016, *The Salvennor Project*, in 2nd International Conference on Metrology for Archaeology (Torino, Italy, October 19-21, 2016).

GEERT J. J., VERHOEVEN G. J. J., 2009, *Providing an Archaeological Bird's-Eye View – An Overall Picture of Ground-Based Means to Execute Low-Altitude Aerial Photography (LAAP) in Archaeology*, Wiley InterScience, ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)) DOI: 10.1002/arp.354, pp. 233–249.

GHOSH S. K., 1979. *Analytical photogrammetry*, Pergamon, New York.

GHOSH, S. K., 2005. *Fundamentals of Computational Photogrammetry*, Delhi.

GIARDINO C., LO SCHIAVO F., 2007, *I ripostigli sardi algheresi della tarda età nuragica. Nuove ricerche archeometallurgiche*, Roma.

GRUEN, A., REMONDINO, F., ZHANG, L., *Photogrammetric reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan*, *The Photogrammetric Record*, 2004, Vol. 19 (107), pp. 177-199.

GIANNICCHEDDA E., 2007, *Lo scavo, i residui, l'affidabilità stratigrafica*, in FACTA, A Journal of roman material culture studies, Vol. 1, pp. 51-64.

GRILLI E., MENNA F., REMONDINO F., 2017, *A Review of point clouds segmentation and classification algorithms*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017, pp. 339-344.

GUARINO N. 1998, *Formal Ontology and Information Systems*, in GUARINO N. Proceedings of the 1st International Conference on *Formal Ontologies in Information Systems*, FOIS'98, Trento, Italy 6-8 June, pp. 3- 15.

GUIDAZZOLI A., 2007, *L'esperienza del Cineca nel campo della Virtual Archaeology*, <https://www.cineca.it/sites/default/files/guidazzoli.pdf>

GUIDI, G. REMONDINO, F. RUSSO, M. MENNA, F. RIZZI, A. AND ERCOLI, S. A., 2009 *Multi-Resolution Methodology for the 3D Modeling of Large and Complex Archaeological Areas*. In International Journal of Architectural Computing. Vol. 7, No. 1, pp. 39-55.

GUIDI G., RUSSO M., BERARDIN J. 2010, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, Milano, McGraw-Hill Education.

HÄMING K., PETERS G., 2010, *The structure-from-motion reconstruction pipeline – a survey with focus on short image sequences*, in Kybernetika, Vol. 46, No. 5, pp. 926-937. Risorsa web: <https://dml.cz/handle/10338.dmlcz/141400>.

HODDER I. 1999, *The Archaeological Process: An Introduction*, Blackwell, Oxford.

HUGGETT J., *Democracy, Data and Archaeological Knowledge*, in HUGGETT J., RYAN N. (eds.), CAA94. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1994, BAR International Series 600, Tempus Reparatum, Oxford 1995, pp. 23 - 26.

HULLO, J.F. GUSSENMEYER, P. AND FARES, S. 2009. *Photogrammetry and Dense Stereo Matching Approach Applied to the Documentation of the Cultural Heritage Site of Kilwa (Saudi Arabia)* 22nd Cipa Symposium, October 11-15, 2009, Kyoto, Japan. Risorsa web: <http://www.photodeler.com/applications/documents/GrussenmeyerDSMScanning.pdf>

IOANNIDIS C., POTSIU C., SOILE S., BADEKAS J., 2000. *Detailed 3D Representations of Archaeological Sites*, in IAPRS, Vol. XXXIII, Part B5, WG V/5, Amsterdam, pp. 642-649.

JAVIERRE MUR A., 1957, *Cerdena en el archivo de la casa de Osuna*, in "A.S.S.", vol. XXV, fasc. 1-2.

JOHNSON P.S., 2009, *Sant'Imbenia, Sardinia, Geophysical Report, Pilot Survey*, July 2009, Cambridge.

JOHNSON, P.S., 2010, *Sant'Imbenia, Sardinia, Geophysical Report, Resistivity Survey – April 2010*, Cambridge.

KAPLAN A., 1964, *The Conduct of Inquiry: Methodology for Behavioral Science*, San Francisco, Chandler.

KONECNY G., 2003, *Geoinformation Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*, Taylor and Francis, London.

KUHN T. S., 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, trad. it., Kuhn, Mondadori, Milano 2008.

LAMARMORA A., 1927, *Viaggio in Sardegna*, Cagliari.



LA MARMORA A., 1997, Itinerario dell'Isola di Sardegna. Nuoro

LILLIU, G., 1982, La civiltà nuragica, Sassari.

LIVI C., 2014, Villaggi e popolazione in Sardegna nei secoli XI e XX. Sassari

LIVI C., 2017, Studi sulla società e l'economia della Sardegna giudicale. Sassari.

LLOBERA, M., 2012, *Life on a Pixel: Challenges in the Development of Digital Methods within an 'Interpretive' Landscape Archaeology Framework*, in *Journal of Archaeological Method and Theory* 19(4), pp.495-509

LODDO CANEPA F., 1932, Lo spopolamento della Sardegna durante le dominazioni aragonese e spagnola, Roma.

JETLUND, K. 1996. Fotogrammetrisk oppmåling i arkeologi - Med bruk av amatørkamera og standard programvare. Bearbeiding og presentasjon med digital fotogrammetri. Hovedoppgave. Norges landbrukshøgskole, institutt for landmåling. Ås.

KUHN T.S. 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago (trad. it., Kuhn T.S., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, 2008).

MAFFEI S., 2007, XML per i beni culturali. Esperienze e prospettive per il trattamento di dati strutturati e semistrutturati.

MANCONI F., 1991, *Notizie preliminari sul patrimonio archeologico: Codrongianos – Sassari*, in *Bollettino di archeologia* n. 10.

MANCONI F., 1993, *scheda Alghero (Sassari). Località Porticciolo, Rinvenimento di lingotti di rame*, in *Bollettino di Archeologia* n. 12.

- MANINCHEDDA P., MURTAS A., 2003, Il Condaghe di San Michele di Salvennor.
- MANNONI T., POLEGGI E., 1974, *Fonti scritte e strutture medievali: del “Castello” di Genova*, p. 171. *Archeologia Medievale* 1.
- MANNONI T., 1976, *L'analisi delle tecniche murarie medievali in Liguria*, in “Atti del Colloquio Internazionale di Archeologia Medievale”, Palermo, pp. 291-300.
- MARTORELLI R., 2010, *Insedimenti monastici in Sardegna dalle origini al XV secolo: linee essenziali*, in *Rivista dell'Istituto di Storia dell'Europa Mediterranea*, Torino.
- MASTINO A., 2005, *Storia della Sardegna antica*, Sassari.
- MAXIA M., 2012, Il Condaghe di San Michele di Salvennor, Cagliari.
- MELONI G., 1993, *Il Parlamento di Pietro IV d'Aragona (1355)*, Roma.
- MIKHAIL E. D., BETHEL J. S., MCGLONE J. C., 2001, *Introduction to Modern Photogrammetry*.
- MORAVETTI A., ALBA E., FODDAI L., 2014, *La Sardegna nuragica. Storia e materiali*.
- MOSCATELLI U., STAGNO A.M. 2015, *Archeologia delle aree montane europee: metodi, problemi e casi di studio*, «Il Capitale Culturale», 12.
- MOSCATI P. 1990, *L'analisi quantitativa nell'archeologia di epoca storica*, in “*Archeologia e Calcolatori*”, 1, pp. 39-80.
- MOULON P., BEZZI A. 2012, *Python photogrammetry toolbox: A free solution for threedimensional documentation*, in F. Cantone (ed.), *ARCHEOFOSS Open Source, Free*

Software e Open Format nei Processi di ricerca archeologica, Atti del VI Workshop (Napoli 2011), Napoli, pp. 153-170.

MURINEDDU A., 1975, Goceano, Cagliari.

NEX F., REMONDINO F., 2014, *Uav: platforms, regulations, data acquisition and processing*, in REMONDINO F., CAMPANA S., 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage, Theory and best practices, BAR International Series 2598, pp. 73-86.

OPPESS T., 1990. Il Goceano.

POMAR E., 2016, Save Palmyra. *La distruzione del patrimonio archeologico nel vicino oriente. Perché e come ricostruire*, in Vicino Oriente XX, pp. 111-120.

PALLONI D., 1996, *Particolari dell'architettura Castellana: i balconi*, in CASTELLUM, Rivista dell'Istituto Italiano dei Castelli, n° 38.

PARENTI R., 1988, *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in FRANCOVICH R., PARENTI R., Archeologia e restauro dei monumenti, Firenze, pp. 249-279.

PARENTI R., 1990, *Il metodo stratigrafico e l'edilizia storica*, in Il modo di costruire, Atti del convegno "Il modo di costruire". Roma, 6-7-8 giugno 1988, Roma, pp. 297-309.

PARENTI R., 2000, Architettura, archeologia della, in FRANCOVICH R., MANACORDA D., Dizionario di Archeologia. Temi, concetti e metodi, Roma-Bari, p. 39.

PARIBENI A., 1997, Enciclopedia dell'arte medievale, Treccani online. Link verificato nel marzo 2017. [http://www.treccani.it/enciclopedia/monastero\\_\(Enciclopedia-dell%27-Arte-Medievale\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/monastero_(Enciclopedia-dell%27-Arte-Medievale)/).

PAVLIDIS, I., DOWDALL, J., SUN, N., PURI, C., FEI, J., GARBEY, M., 2007, *Interacting with human physiology*, in *Computer Vision and Image Understanding*, 108, pp. 150–170.

PECERE B., 2006, *Viewshed e Cost Surface Analyses per uno studio dei sistemi insediativi antichi: il caso della Daunia tra X e VI sec. a.C.*, in *Archeologia e Calcolatori*, 17, pp. 177-213.

PELOSO D., 2005, *Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali*, *Archeologia e Calcolatori*, 16, pp. 199-224.

PERONE A., 1870, *Dizionario Universale Topografico Storico - Fisico- Chimico - Terapeutico.*, Napoli.

PESCARIN S., FANINI B., FERDANI D., LUCCI BALDASSARI G., CALORI L., 2011, *Archeologia virtuale, realismo, interattività e performance: dalla ricostruzione alla fruizione on line*, in *Disegnare con*, Vol 4 n°8. Risorsa web: <https://disegnarecon.unibo.it/article/view/2570/1948>

PESCARIN S., 2016, *Musei Virtuali e nuove tecnologie per i musei: esperienze e prospettive europee*, in *Il Museo Sensibile*.

PIERROT-DESEILLIGNY M., De LUCA L., E REMONDINO F., *Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation*, in *Geoinformatics FCE CTU*, 6, pp. 291 - 299.

PIRAS G., 2012, *Le epigrafi, i segni lapidari e i graffiti*, in MILANESE M., *Villaggi e Monasteri. Orria Pithinna. La chiesa, il villaggio, il monastero*, pp. 47 – 96.

PLETS, G., GHEYLE, W., VERHOEVEN, G., DE REU, J., BOURGEOIS, J., VERHEGGE, J., STICHELBAUT, B., 2012, Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains. *Antiquity*.

POLI A., ROGGIO S., 2013, *Gli architetti del Re di Sardegna*, Sassari.

POLLEFEYS M., NISTER D., FRAHM J.M., AKBARZADEH A., MORDOHAI P., CLIPP B., ENGELS C.; GALLUP D., KIM S.-J., MERRELL P., SALMI C., SINHA S., TALTON B.; WANG L., YANG Q., STEWENIUS H., YANG R., WELCH G., TOWLES H., 2008. *Detailed Real-Time Urban 3D Reconstruction from Video*, in *Int. Journal of Computer Vision*, Vol. 78(2), pp. 143-167.

POTENZIANI M. CALLIERI M., DELLEPIANE M., CORSINI M., PONCHIO F., SCOPIGNO R., 2015, *3DHOP: 3D Heritage Online Presenter*, in *Computers & Graphics*, Volume 52, pp. 129-141.

PREUCEL R.W. 2006, *Archaeological Semiotics*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford.

PUTZOLU C., VICENZUTTO D., 2013, *Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: dal microscavo dei complessi tombali agli scavi in open area*, in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24, pp. 355-370.

REILLY P., 1990, *Towards a virtual archaeology*, proceedings of CAA. Risorsa web: <http://proceedings.caaconference.org/year/1990/>

REILLY P., RAHTZ S., 1992, *Archaeology and the Information Age. A global perspective*, Routledge, London.

RYAN N. S. 1988, *A Bibliography of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, in RAHTZ S. P. Q., *Computer and Quantitative Methods in Archaeology*. Oxford.

REMONDINO, F., El-Hakim S., 2006, *Image-based 3D modelling: A review*, in *Photogrammetric Record*, 21, 2006, pp. 269-291.

REMONDINO, F., Fraser, C., 2006. *Digital camera calibration methods: considerations and comparisons*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36(5), pp. 266- 272.

REMONDINO, F., 2011, *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*. In *Remote Sensing.*, 3, pp. 1104-1138.

REMONDINO F., *Introduzione alla fotogrammetria digitale*, in GIANOLIO S. (ed.), *Archeologia virtuale: la metodologia prima del software*, Espera s.r.l., Roma 2012, pp. 190 - 199.

REMONDINO F., DEL PIZZO S., KERSTEN T. P., TROISI S., 2012, *Low-Cost and Open-Source Solutions for Automated Image Orientation – A Critical Overview*, in IOANNIDES M., FRITSCH D., LEISSNER K., DAVIES R., REMONDINO F., CAFFO R., *Progress in Cultural Heritage Preservation*, pp. 40 - 54.

REMONDINO F., 2013: *Worth a thousand words – Photogrammetry for archaeological 3D surveying*, in OPITZ R., COWLEY D., *Interpreting Archaeological Topography – Lasers, 3D Data, Observation, Visualisation and Applications*, pp. 115-122.

REMONDINO F., MENNA F., NOCERINO E., 2013, *Tecniche e sensori digitali di rilievo e modellazione 3D – stato dell’arte e criticità*, in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24.

RENDELI M., 2012a, *Il “Progetto Sant’Imbenia”*, in *Ricerca e Confronti*, Giornate di studio di archeologia e storia dell’arte a 20 anni dalla istituzione del Dipartimento, Cagliari, Cittadella dei Musei, 1-5 marzo 2010, *ArcheoArte*. Rivista elettronica di Archeologia e Arte, Supplemento 2012 al numero 1, pp. 323-338.

RENDELI M., 2012b, *Riflessioni da Sant'Imbenia*, in Trasformazione dei paesaggi del potere nell'Africa settentrionale fino alla fine del mondo antico. Scontri, integrazioni, transizioni e dinamiche insediative. Nuove prospettive dalla ricerca, "L'Africa Romana" XIX, Convegno internazionale di studi, Sassari, 16-19 dicembre 2010, Roma 2012, Carocci, pp. 1835-1844.

RENDELI M., 2012c, *Nuragici, Greci ed Etruschi nella Sardegna nord-occidentale*, in P. Bernardini, M. Perra edd., I Nuragici, i Fenici e gli altri, Sardegna e Mediterraneo tra Bronzo Finale e prima età del Ferro, Atti del I Congresso internazionale, Villanovaforru 14-15 dicembre 2007, Carlo Delfino Editore, Sassari, pp. 193-208.

RENDELI M., 2012d, *Da Oriente a Occidente... in Sardegna*, in E. Mugione ed., L'Olpe Chigi. Storia di un agalma, Atti del Convegno internazionale, Salerno 3-4 giugno 2010, Pandemos, Salerno, pp. 151-163.

RENDELI M., 2014a, *L'abitato di Sant'Imbenia di Alghero*, in M. Minoja, G. Salis, L. Usai edd., L'isola delle torri. Giovanni Lilliu e la Sardegna nuragica, catalogo della mostra, Carlo Delfino Editore, Sassari, pp. 359-365.

RENDELI M., 2014b, *Prolegomena alle transazioni economiche del I millennio a.C.*, in M. Minoja, G. Salis, L. Usai edd., L'isola delle torri. Giovanni Lilliu e la Sardegna nuragica, catalogo della mostra, Carlo Delfino Editore, Sassari, pp. 143-147.

RENDELI M. 2014c, *Sant'Imbenia (Alghero, Sardegna)*, in Phéniciens d'Orient et d'Occident. Mélanges Josette Elaye, Parigi 2014, pp. 471-486.

RENDELI M., in press, *Sant'Imbenia, la Sardegna nuragica e il Mediterraneo*, in IX Coloquio Internacional del Centro de Estudios Fenicios y Púnicos, Almeria del 24 al 26 de marzo de 2015.

RENDELI M., SANNA L. 2016, *Technologies for cultural heritage: Sant'Imbenia Project*, in *1st International Conference on Metrology for Archaeology* (Torino, Italy, October 19-21, 2016).

RONZINO, P., NICCOLUCCI, F. & HERMON, S., 2012. *A metadata schema for Cultural Heritage documentation*, In *Electronic Imaging & the Visual Arts (EVA)*. Florence: Firenze University Press, pp. 36-41

RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G., 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico* in “Archeologia e Calcolatori”, 25, pp. 169-198.

SANCIU A., 1990, *Anela (Sassari). Località San Giorgio di Aneletto: insediamento fortificato altomedievale*, in BA, 4, pp. 137- 139.

SANCIU, A., 2002. *Anela: il castrum di San Giorgio di Aneletto*. In Corrias, P., Cosentino, S. eds. *Ai Confini dell'Impero – Storia, arte e archeologia della Sardegna bizantina*. Cagliari: M&T, pp. 191-192.

SANNA A., 1957, *Libellus iudicium turritanorum*.

SANNA G. M., 2014, *La presenza camaldolese in Sardegna*, in *Atti del convegno di Saccargia (Codrongianos)*, 15 dicembre 2012, Sassari, pp. 33-48.

SANNA L., 2010, *L'indagine archeologica*, in BONINU A., PANDOLFI A., San Nicola di Trullas, *archeologia architettura paesaggio*, pp. 45-70.

SANTORIELLO A., ROSSI A., ROSSI P., *SIUrBe 2.0: il Sistema Informativo del patrimonio archeologico urbano di Benevento tra open data e open source*, in STANCO F., GALLO G., *Free, libre and open source software e open format nei processi di ricerca archeologica: VIII Edizione Catania 2013*, pp. 150-160.

SANTORIELLO A., DE VITA C. B., MUSMECI D., TERRIBILE A., MARTINO G. DE, PERCIANTE F., RIZZO E., *Measuring ancient spaces: land use and framework of a hidden landscape. Ancient Appia Landscapes (AAL)*, in *Proceedings of 1st International Conference on metrology for Archaeology (Benevento, October 22-23, 2015)*, 2015, pp. 439-444;



SCIANNA, A., SERLORENZI, M., GRISTINA, S., FILIPPI, M., PALIAGA, S., 2015, *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, in *Archeologia e Calcolatori*, Supplemento 7, pp. 199-212.

SCOLLAR, I. 1999. *25 Years of Computer Applications in Archaeology*, in DINGWALL, L., S. EXON, V. GAFFNEY, S. LAFLIN AND M. VAN LEUSEN, *Archaeology in the Age of the Internet. CAA97. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 25th Anniversary Conference*, University of Birmingham, Oxford.

SECCI M., DAVIDDE B., SANNA L., GOMES DE AYALA G., in press, *Three-Dimensional Representations of the Underwater Cultural Heritage. The Role of 3D Models in the Interpretation and In Situ Preservation of the Archaeological Heritage: the Case Study of the the Portus Iulius in Submerged Baiae (Pozzuoli, Naples)*, IKUWA6 - Internationaler Kongreß für Unterwasserarchäologie (The Sixth International Congress on Underwater Archaeology), Western Australian Museum, Fremantle, Western Australia (AUS),

SECCI M., DAVIDDE B., SANNA L., GOMES DE AYALA G., in press, *Computer Vision Photogrammetry (CVP) for Maritime Archaeology Research and Public Outreach: a recording and surveying procedure combining photogrammetry and Differential Global Positioning System (DGPS)*, Invited paper at the Flinders University/UNESCO UNITWIN Network for Underwater Archaeology 3D Modeling and Interpretation for Underwater Archaeology Workshop, Adelaide, South Australia (AUS), 24-26 November 2016.

SELLA P., 1945, *Rationes Decimarum Italiae nei secoli XIII e XIV*, Sardinia, Città del Vaticano.

SEITZ S. M., CURLESS B., DIEBEL J., SCHARSTEIN D., SZELISKI R., 2006, *A Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms*, in 19th IEEE Computer

Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2006), New York, 17–22 June 2006.

SETTIS S., 2002, L'Italia S.p.A.. L'assalto al patrimonio culturale, Torino.

SHANKS M., MCGUIRE R. H., *The Craft of Archaeology*, in *American Antiquity*, 61, 1, 1996, pp. 75-88.

SILBERSCHATZ A., BAER GALVIN P., GAGNE G., 2013, *Operating System Concepts*, USA.

SNAVELY N., SEITZ S. M., SZELISKI R., 2007, *Modeling the World from Internet Photo Collections*. in *International Journal of Computer Vision (IJCV)*. Risorsa web: [http://phototour.cs.washington.edu/ModelingTheWorld\\_ijcv07.pdf](http://phototour.cs.washington.edu/ModelingTheWorld_ijcv07.pdf)

SNAVELY N., 2010, *Scene Reconstruction and Visualization From Community Photo Collections*. Proceedings of the IEEE, August 2010. Risorsa web al link verificato nell'agosto 2017: <http://www.cs.cornell.edu/~snavely/>

SODDU A., DE SANTIS S., 2009, *Signorie monastiche nella Sardegna medievale. Il priorato camaldolese di S. Nicola di Trullas*, in *Annali della Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Sassari*, a cura di Pier Giorgio Spanu, Sassari.

SPANO G., 1858. *Chiesa e Badia di San Michele di Salvennero*, in *Bullettino Archeologico Sardo*, IV, 8.

SPANU, P. G. I., 1998, *La Sardegna bizantina tra VI. e VII. secolo*. Oristano.

TANDA, G. 1992, *Goceano: i segni del passato: mostra grafica e fotografica: Bono, 28-31 dicembre 1992*. Sassari.

TARAMELLI A., 1929, *Carte archeologiche della Sardegna*, vol. I, R. Istituto Geografico Militare, Firenze.

TERRENATO N., *New Archaeology*, in FRANCOVICH R., MANACORDA D., Dizionario di archeologia, Laterza, Bari 2000, p. 206

TERRENATO N., *Archeologia postprocessuale*, in FRANCOVICH R. - MANACORDA D., Dizionario di archeologia, Laterza, Bari 2000, p. 206

TOLA P., 1861-1868, *Codex Diplomaticus Sardiniae*, I – II, Torino

TOSCHI I., RIVOLA, R., CAPRA A., DUBBINI M., VIANINI G., 2013, *La modellazione tridimensionale nell'ambito dei beni culturali: applicazioni e confronti di metodologie low-cost*, in *Archeologia e Calcolatori* Vol. 24.

TOMASSETTI P., 2004, in *Archeologia e architettura, un rapporto da consolidare*, a cura di BONINU A., PANDOLFI A., Sassari, pp. 25-31.

TURTAS R., 2012, *Chiesa e potere politico in Sardegna dall'XI secolo al periodo spagnolo*, in «Archivio storico giuridico sardo di Sassari», vol. 17.

TURTAS R., 2014, *La Chiesa sarda all'epoca dell'arrivo dei Camaldolesi*, in *Atti del convegno di Saccargia (Codrongianos)*, 15 dicembre 2012, Sassari, pp. 15-32.

ULLMAN S., 1979, *The Interpretation of Structure from Motion*, in *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 203, No. 1153 (Jan. 15, 1979), pp. 405-426.

VALENTE V., 2011, *Il GIS del progetto Arnep. Un sistema informativo per lo studio dell'edilizia medievale*, in *Quaderni di dottorato*, 3, pp. 57-66.

VALENTI M., NARDINI A., 2004, *Modello dei dati e trattamento del dato sul GIS di scavo*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, pp. 341-358.

VALENTI M. 2012, *Per un approccio neo processualista al dato archeologico*, in F. REDI, A. FORGIONE, VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, (L'Aquila, 12-16 settembre 2012), Firenze, pp. 8-11.

VERGAUWEN, M., VAN GOOL, L., 2006, *Web-based 3D reconstruction service*, in *Machine Vision and Application*, 17, pp. 411-426.

VOLPE G., GOFFREDO R., 2014, *La pietra e il ponte. Alcune considerazioni sull'archeologia globale dei paesaggi*, in *Archeologia Medievale XLI*, Firenze.

VOLTOLINI F., REMONDINO F., PONTIN M., GIRARDI S., RIZZI A., GONZO L., 2007, *Integrazione di fotogrammetria e laser scanner per la documentazione dei Beni Culturali*.  
Risorsa web: [http://3dom.fbk.eu/sites/3dom.fbk.eu/files/pdf/asita06\\_voltolini\\_etal.pdf](http://3dom.fbk.eu/sites/3dom.fbk.eu/files/pdf/asita06_voltolini_etal.pdf)

WARDEN, R. 2009. *Towards a New Era of Cultural-Heritage Recording and Documentation*. *APT Bulletin*. Vol. 40. n°. ¾. pp. 5-10.

WHEATLEY D. 1995, *Cumulative viewshed analysis: A GIS-based method for investigating intervisibility and its archaeological application*, in LOCK, STANČIĆ, 1995, 171-185.

WHEATLEY D., GILLINGS M., 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London-New York, Taylor & Francis.

WILCOCK J. D., A general survey of computer applications in archaeology, in 'Science', 17, 1973.

WULFF R., SEDLAZECK A., KOCH R., 2009, *3d Reconstruction of Archaeological Trenches from Photographs*, in *Proc. of Sci. Computing And Cult. Herit.*, Heidelberg, Germany.

ZAMBRUNO S., VAZZANA A., BUTI L., ORLANDI M., 2013, *Cloud computing e fotomodellazione come integrazione della modellazione 3D per l'architettura storica*, in *Archeologia e Calcolatori*, 24, pp. 371-377.

ZANETTI G., 1965, *Per una Storia dei Vallombrosani in Sardegna*, Studi Sassaresi, XXX.

ZANETTI G., 1968, *I Vallombrosani in Sardegna*, Sassari.

ZUCCA R., 2000, "*Aquae Lesitanae*", in *Multas per gentes. Studi in memoria di Enzo Cadoni*, Sassari, EDES, pp. 441-451.