

# REGIONE SARDEGNA

COMUNE DI SILIGO (SS)

**ATLAS SOLAR 6 s.r.l.**

Rovereto (TN)

Piazza Manifattura n.1, CAP 38068

C.F. e P.IVA 03054610302

Pec: atlassolar6@legalmail.it

**PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO, PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE ABBINATA AD ATTIVITA' ZOOTECNICA, SITO NEL COMUNE DI SILIGO (SS) PER UNA POTENZA NOMINALE MASSIMA DI 29721 KW E POTENZA IN A.C. DI 27500 KW, ALLA TENSIONE RETE DI 36 KV, E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE RICADENTI ANCHE NEI COMUNI DI CODRONGIANOS (SS), PLOAGHE (SS) E SILIGO (SS)**

**PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE  
COMPRESIVO DELLE OPERE DI RETE PER LA CONNESSIONE**

**ELABORATO**

**OSSERVAZIONI CIRCA IL CORRETTO POSIZIONAMENTO DEL NURAGHE  
PUTTU RUJU - RAPPORTO GEORADAR**

**DATA:** 25/01/2024

**SCALA :**

**aggiornamento :**

**PROGETTISTI**

Ing. Nicola ROSELLI

Ing. Rocco SALOME

**PROGETTISTA PARTI ELETTRICHE**

Per. Ind. Alessandro CORTI

**CONSULENZE E COLLABORAZIONI**

Arch. Gianluca DI DONATO

Dott. Massimo MACCHIAROLA

Ing. Elvio MURETTA

Archeol. Gerardo FRATIANNI

Geol. Vito PLESCIA



Udine (UD) Via Andreuzzi n°12, CAP 33100

Partita IVA 02943070306

www.atlas-re.eu

revisione	descrizione	data	<b>DOC RE3</b>
A	OSSERVAZIONI CIRCA IL CORRETTO POSIZIONAMENTO DEL NURAGHE PUTTU RUJU - RAPPORTO GEORADAR	25/01/2024	
B			
C			

**OSSERVAZIONI CIRCA IL POSIZIONAMENTO DEL NURAGHE PUTTU RUJU, COSI'  
COME SOTTOSCRITTO DAL COMUNE DI SILIGO D'INTESA CON LA REGIONE  
SARDEGNA ED IL MINISTERO DELLA CULTURA DI CUI AL VERBALE DEL  
14.07.2021, N. PROT. 10608**

In riferimento alla nota prot. 11105 del 05/04/2023 in particolare alla nota dell' Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna, alla pag. 4, in cui *“si segnala che le opere previste (campo agrivoltaico), interferiscono con le zone di tutela condizionata dei beni ‘Nuraghe Traversa’ (cod. BURAS 4359), ‘Nuraghe Morette’ (cod. BURAS 4362), ‘Nuraghe Putturuju’ (cod. BURAS 4364), beni paesaggistici di cui all’art. 48, comma 1, lett a) delle NTA del PPR individuati nel suddetto Repertorio e, pertanto, si ritiene necessario che il progetto venga rimodulato per adeguarlo alla disciplina di tutela così come condivisa nell’attività di copianificazione suddetta”*.

Come riportato nella nota del Comune di Siligo in cui si indica che *“Nello specifico parte dell’impianto ricade all’interno delle aree di tutela afferenti i beni paesaggistici così individuati:- BP2830 – Nuraghe Putturuju”* oggetto di copianificazione territoriale.

Negli allegati

Tra i beni paesaggistici compresi nel “Repertorio del Mosaico”, di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale n. 70/22 del 29 Dicembre 2016 e che sono stati esaminati in sede di copianificazione vi è il Nuraghe Putturuju così come riportato nella Tabella seguente (Tabella 1):

<b>N.</b>	<b>Codice BURAS</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Coord. X</b>	<b>Coord. Y</b>	<b>Tipologia</b>
18	4364	Nuraghe Putturuju	1.477.533	4.494.676	Nuraghe

Le coordinate indicate nella tabella così come riportate dal Repertorio Mosaico si riferiscono al Sistema di riferimento Roma 1940 Gauss Boaga Fuso Ovest (Esri 102094), la cui proiezione indica la seguente ubicazione (fig. 1).



Fig. 1. Ubicazione del nuraghe secondo le coordinate del "Repertorio Mosaico" prima della revisione

Il risultato dell'attività di copianificazione svolta sui beni di cui alla Tabella 1 è stato riportato nelle Schede monografiche sottoscritte integralmente dai soggetti della copianificazione.

Si riportano di seguito i risultati dell'attività di copianificazione svolta sui singoli elementi paesaggistici (Tabella 2):

<b>N.</b>	<b>Codice BURAS</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Coord. X</b>	<b>Coord. Y</b>	<b>Codice Bene da DB Mosaico</b>
18	4364	Nuraghe Putturuju	Nuraghe	1.477.946	4.494.618	BP 2830

A seguito della revisione della posizione del nuraghe l'Ente incaricato della revisione indica una nuova perimetrazione che sposta il nuraghe di 515 m verso est, ubicato come nella figura seguente (fig. 2):



Fig. 2. Ubicazione del nuraghe secondo le coordinate del "Repertorio Mosaico" dopo le attività di copianificazione  
Sulla base di questa nuova ubicazione sono state definite le perimetrazioni per l'individuazione della fascia di tutela condizionata come indicato nella scheda al par. C1 (fig. 3):



Fig. 3. Fascia di tutela condizionata sulla base della nuova ubicazione del nuraghe *Putturaju*

Nella relativa scheda analitica del Bene paesaggistico BP2830 si indica come *il nuraghe, segnalato in bibliografia e sulle carte geografiche, residua attualmente solo un cumulo di massi, che non permette la lettura della planimetria.*

Nel Parere tecnico istruttorio della Soprintendenza speciale per il PNRR relativo al progetto in questione (MIC|MIC\_SS-PNRR|17/10/2023|0024094-P) si fa riferimento alla nota prot. n. 8599 del 16/03/2023 del Comune di Siligo, che rileva “... *Da un’analisi degli elaborati allegati alla pratica si evince che parte dell’impianto agrivoltaico ricade all’interno di aree perimetrare in fase di copianificazione tra il Comune di Siligo, la Regione Autonoma della Sardegna ed il Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. Nello specifico parte dell’impianto ricade all’interno delle aree di tutela afferenti i beni paesaggistici così individuati: - BP2830 – Nuraghe Putturuju...*

La presente relazione vuole dimostrare che, sulla base di attività ricognitive ed analitiche, la perimetrazione delle zone di Tutela sia integrale che condizionata risulta viziata alla base da una erronea localizzazione del nuraghe Puttu Rujju così come definito a seguito di ricognizione archeologica in fase di attività di copianificazione. Tra le motivazioni che sottendono il perimetro si ricorda come “*L’areale di tutela integrale è basato sulle strutture ancora visibili e sulle aree di sedime archeologico, individuate mediante ricognizione archeologica. L’areale di tutela condizionata è stato individuato valutando il contesto di giacenza del bene ed è stato tracciato poggiandosi su elementi naturali (quali siepi, alberature, rocce, muretti, viabilità) e artificiali (quali curve di livello della Carta Tecnica Regionale) tali da assicurare una congrua fascia di rispetto e di controllo delle trasformazioni.*

Come già evidenziato nella Relazione archeologica relativa alla Verifica Preventiva dell’Interesse Archeologico pertinente al progetto agrivoltaico in oggetto, la UT n. **SIL 002**, ovvero il **nuraghe Puttu Rujju**, ha determinato un adeguamento progettuale nella disposizione dei pannelli fotovoltaici disponendoli all’esterno della fascia di Rischio archeologico alta e media (50+50 m). Ciò è stato ottenuto tenendo conto del posizionamento del nuraghe secondo le indicazioni riportate nel PUC di Siligo e nella CTR e non in base alla sua corretta collocazione. Il limite di 100 m rispetto alle aree dei pannelli fotovoltaici coincide con quanto specificato nell’art. 49 comma 1 a delle Norme Tecniche di attuazione del Piano Paesistico Regionale in merito alle fasce di rispetto per gli insediamenti archeologici<sup>1</sup>.

Nella Tav. 4 del P.U.C. del Comune di Siligo<sup>2</sup>, relativo alle Zone di Interesse Paesistico Storico e Artistico e localizzazione dei Siti Archeologici il nuraghe viene collocato immediatamente a sud di

---

<sup>1</sup> “Art. 49, Comma 1: “*Per la categoria di beni paesaggistici di cui all’art. 48, comma 1, lett. a) (insediamenti archeologici dal prenuragico all’età moderna, n.d.a.), sino all’adeguamento dei piani urbanistici comunali al P.P.R., si applicano le seguenti prescrizioni: sino all’analitica delimitazione cartografica delle aree, queste non possono essere inferiori ad una fascia di larghezza pari a m. 100 a partire dagli elementi di carattere storico culturale più esterni dell’area medesima*”

<sup>2</sup> Allegato alla Delibera CC. N. 37 del 4/11/2004

un piccolo stagno collegato al *Riu Mesu 'e Cantaros* (fig. 4, n. 4), sulla scia di quanto erroneamente indicato nella Carta Tecnica Regionale (elemento 460130) utilizzata come base per la definizione del Piano Urbanistico Comunale.

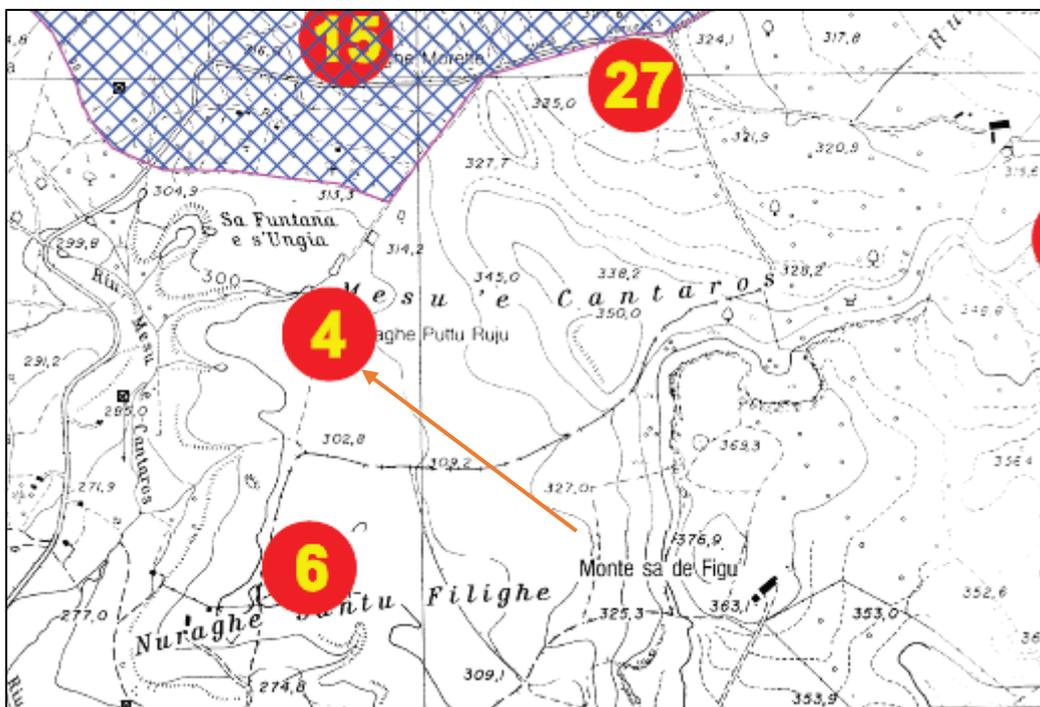


Fig. 4. Estratto del PUC del comune di Siligo - T02\_VARIANTE MONTE RUIU – TAV 2 – ZONE DI INTERESSE PAESISTICO – STORICO E ARTISTI

In primo luogo si deve considerare che le tavole del PUC di Siligo risultano con evidenti errori nella definizione di alcune aree e monumenti di interesse archeologico, come risulta palese nella indicazione del *Nuraghe Littu* posizionato con il n. 27 (fig. 4) nella zona N dell'impianto a ridosso della SP 96 nel punto in cui incrocia una strada vicinale *Funtana e Ranas* che divide in due l'area di progetto. Tale nuraghe è posto nella omonima località nel versante occidentale del Monte Sant'Antonio (*Monte Pelau*) a SE del paese al confine con i limiti comunali di Bessude. Si ricorda che la Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN 10K), è stata prodotta da voli realizzati tra il 1994 e il 2000.

La possibilità di posizionare altrove il nuraghe ci viene confermata dalla tavoletta IGM in cui si indica una posizione diversa ad una distanza di circa 280 m a NNO, in prossimità della SP 96 (fig. 5).

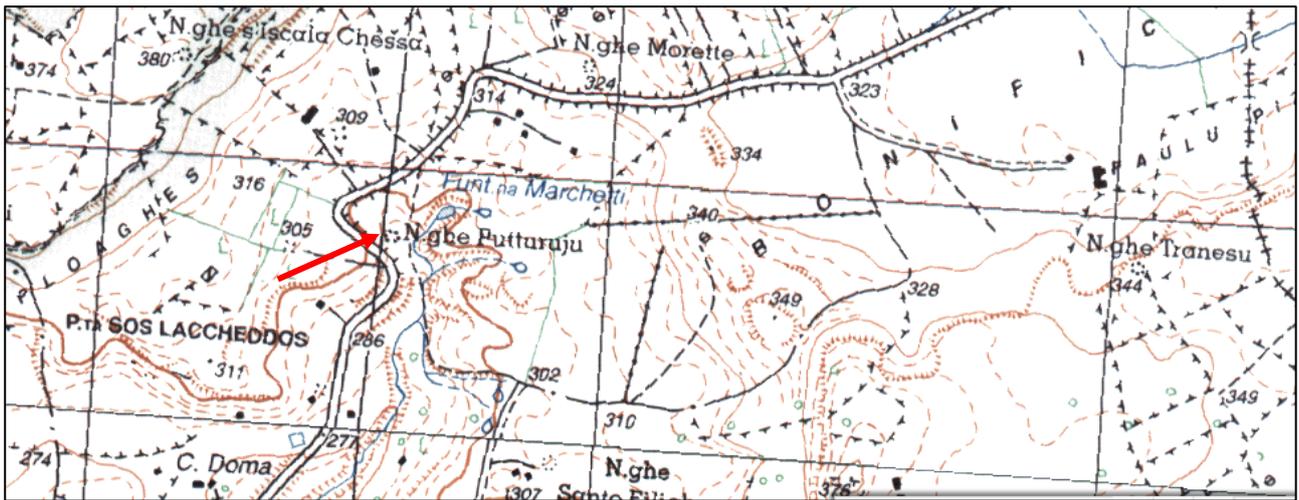


Fig. 5. Stralcio della Tavoletta IGM F. 193 I NO (Ploaghe) con l'indicazione del nuraghe *Putturaju* in una zona più occidentale a ridosso della viabilità moderna

Tale ubicazione risulta affine a quanto indicato nel *Repertorio dei beni paesaggistici storico culturali individuati e tipizzati dal PPR<sup>3</sup>* in cui viene riportato il nuraghe con precise coordinate geografiche (cod. 4364) (fig. 1) e riportato nel Sistema Informativo Territoriale (SIT) della Regione Sardegna nella stessa posizione della carta IGM (fig. 6).

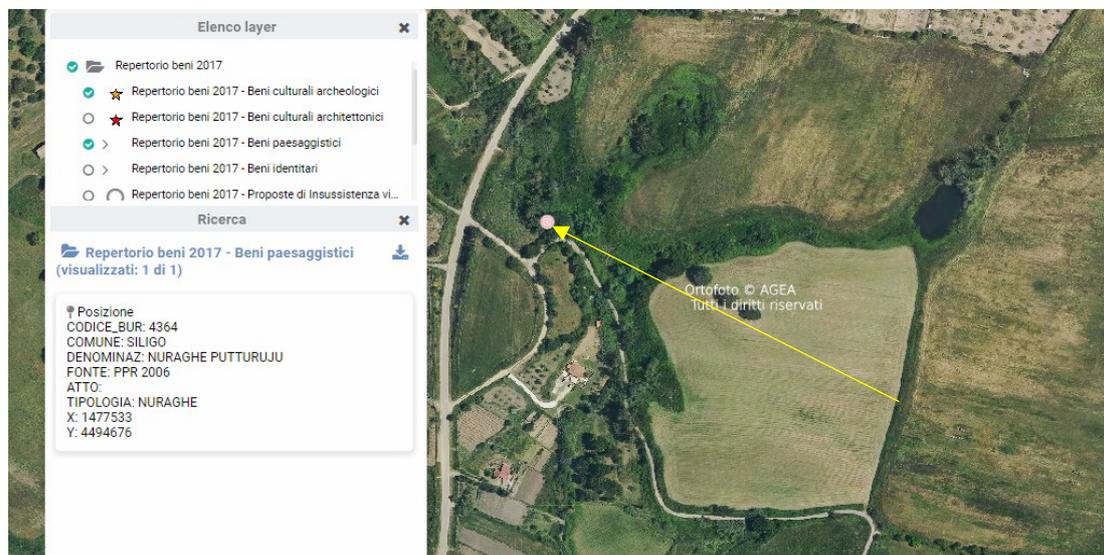


Fig. 6. Screenshot del webgis Regione Sardegna con la posizione del Nuraghe Puttu Ruju diversa rispetto a quanto riportato nella CTR e nel PCU del Comune di Siligo (nel cerchio).

Pare evidente che risulta errato il luogo indicato nella CTR e nel PCU del Comune di Siligo, come confermato dalle attività di survey e dalle successive indagini geofisiche e UAV realizzate nel mese di ottobre 2023.

<sup>3</sup> VOL. 8/8: Provincia di Sassari, anno 2006

Durante le attività di ricognizione archeologica propedeutica alla elaborazione del documento di verifica preliminare dell'interesse archeologico, l'area è stata oggetto di una sistematica campagna di *survey* che ha analizzato tutti gli areali disponibili nell'area di progetto e nelle immediate vicinanze ad esso.

Il punto indicato nella Scheda analitica del Bene paesaggistico BP2830 (fig. 7) corrisponde ad un accumulo di blocchi dovuto ad attività di spietramento come tanti visibili nelle zone destinate ad attività agricole in quest'area (fig. 8). Le stesse attività di analisi con georadar delle zone a ridosso di questo cumulo hanno escluso la presenza del nuraghe. A conclusione delle ricognizioni e delle analisi UAV presso l'evidenza oggetto di interesse, non hanno fatto emergere elementi che possano confermare l'esistenza di un bene archeologico: *"... Il confronto con numerosi altri accumuli di pietre (evidenze 02-07) nella stessa particella dell'evidenza 01, presentano caratteristiche simili e sono chiaramente leggibili come spietramenti di pietre pluridecimentriche di origine vulcanica effusiva (trachiti), legati alle attività agricole"*.

Le indagini GPR effettuate in un'areale di circa 30m di lato attorno all'evidenza sembrano confermare questa lettura, evidenziando la completa assenza di stratigrafie o strutture sepolte al di sotto dell'arativo. Si rimanda alla relazione allegata a cura del dott. Guglielmo Strapazzon (Allegato n. 1 – Georadar "Puttu Ruju") per tutte le specifiche tecniche del caso.



Fig. 7. Ubicazione del nuraghe secondo le indicazioni e coordinate della scheda BP 2830. Foto aerea (con drone) con punto di vista da ovest



Fig. 8. Il cumulo di pietrame identificato nella scheda BP 2830 come nuraghe Puttu Ruiu (foto G. Strapazzon)

La corretta ubicazione del Nuraghe *Puttu Ruiu* ci viene fornita da fonti bibliografiche pertinenti a studi sul territorio di Siligo con puntuali ricognizioni archeologiche. In primo luogo si rimanda alla descrizione ed ubicazione che ne diede lo studioso Antonio Taramelli nelle “*Carte archeologiche della Sardegna*”<sup>4</sup> (n. 38) ricordandolo (al più tardi nel 1940) nel terreno “*dell’ing. Diego Murgia*”. e conservato per una altezza di circa 1 m (fig. 9).

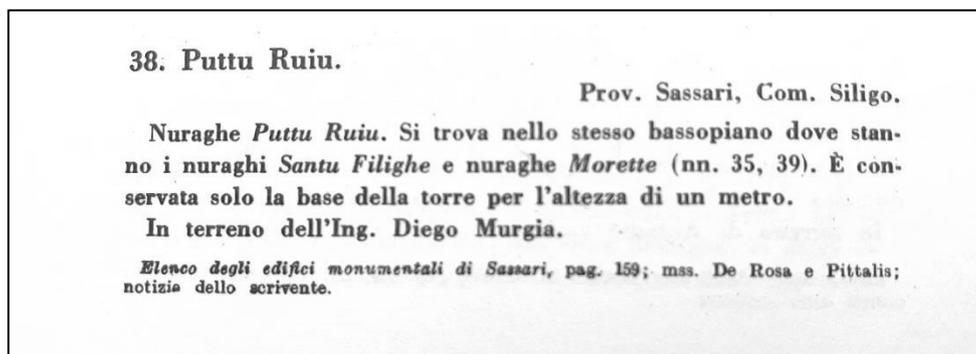


Fig. 9. Stralcio dell’opera di Taramelli (ediz. 1993, pag. 622)

La posizione del nuraghe così come riportata da Taramelli nel Foglio 193 Bonorva (scala 1.100.000 – anno 1938) andrebbe a coincidere con quella delle carte IGM successive (fig. 10).

<sup>4</sup> A. Taramelli, *Edizione archeologica della Carta d'Italia al 100.000, Foglio 193 (Bonorva)*, Istituto Geografico Militare, Firenze 1940, Ristampa Sassari 1993

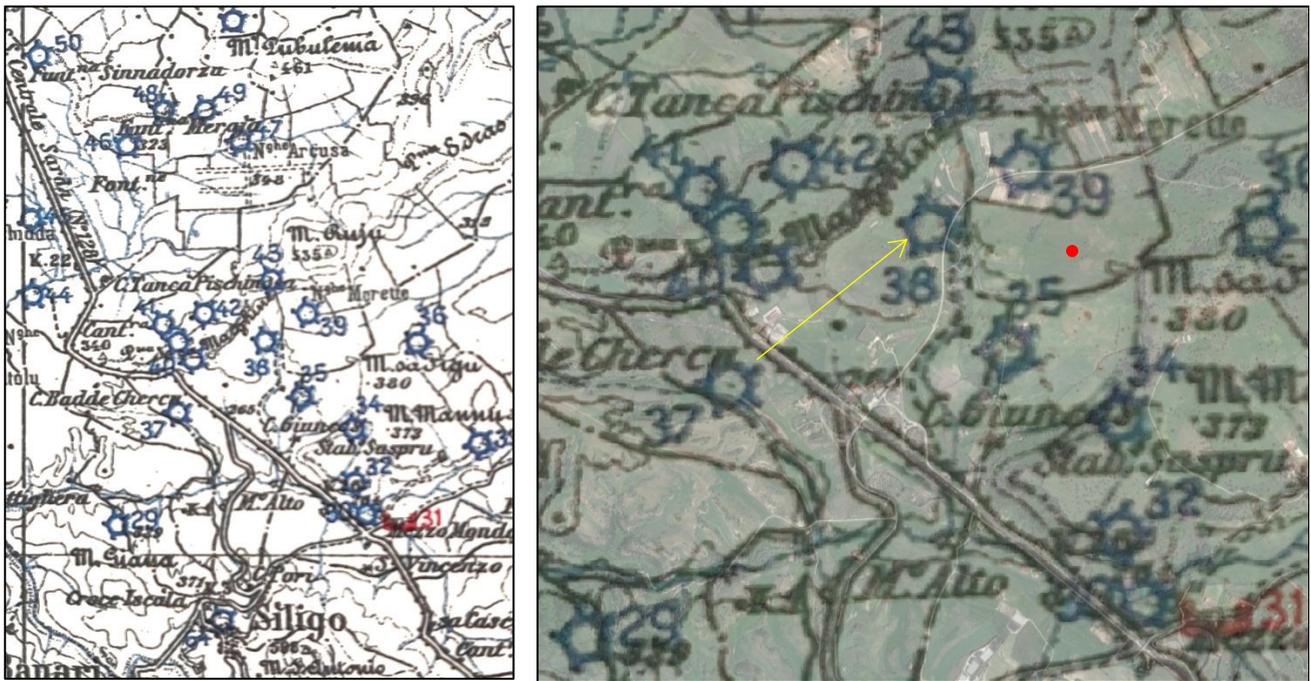


Fig. 10). Ubicazione del nuraghe Puttu Ruju secondo Taramelli – *Carte archeologiche della Sardegna*”, Foglio Bonorva in scala 1.100.000 e sovrapposizione ad immagine satellitare (freccia gialla). In rosso l’ubicazione indicata nella Scheda analitica del Bene paesaggistico BP2830

L’elemento che toglie ogni dubbio sulla esatta collocazione del nuraghe, è la ricognizione effettuata da Elisabetta Alba sui nuraghe di Siligo e pubblicata in *“Siligo. Storia e società”* a cura di Attilio Mastino (Sassari 2003) con il titolo *“Siligo in età preistorica e protostorica”* (pp. 25-54). Si tratta di uno studio sistematico sui monumenti preistorici e protostorici che ricadono all’interno dei confini comunali, con apposite schede di ricognizione per i rispettivi contesti archeologici. A pag. 35 con il n. 9 viene analizzato il Nuraghe Puttu Ruju (fig. 11), per il quale non solo vengono fornite le coordinate geografiche, ma anche le distanze dai più vicini nuraghe, ovvero il Nuraghe Morette (che dista 300 m a NE) ed il Santu Filighe (poco più di 500 a SE). Del nuraghe vi è anche una immagine e la descrizione dei resti visibili nonché le misure degli allineamenti. L’ubicazione del nuraghe in base alla planimetria disponibile ed alle coordinate, si riconosce sul terreno un’area posta ad oltre 320 m rispetto alla ubicazione proposta nella Scheda del Bene BP 2830 (fig. 12). La foto dei resti della struttura andrebbero a coincidere con quanto visibile sul terreno.

presenta pianta circolare (diam. m 5,50) e risulta ingombro di crollo e di alberi di roverelle e di olivastro che rendono piuttosto difficoltosa la lettura dell'intero profilo. Il paramento murario è costituito da massi basaltici di grandi dimensioni, tra i quali sono però visibili anche alcune grosse pietre trachitiche nella parete in cui si apre l'ingresso; residua per un massimo di 5 filari a SO e a Sud (alt. m 2,90) e su 3 filari a NE (alt. m 1,60). Nella parete volta ad Est è visibile l'ingresso, oggi in parte franato nel lato destro; presenta luce trapezoidale (largh. m 0,80 alla base e m 0,50 alla sommità; alt. m 1,20) e risulta sormontato da un robusto architrave in trachite (lung. m 1,40; spess. m 0,50; largh. m 0,70). Lungo il profilo interno, nel lato sud-occidentale, questa camera è ampliata da una nicchia, di forma subellittica (largh. m 1,20; prof. m 1,80) e copertura ogivale (alt. m 2,10) oggi parzialmente crollata. Edificato a circa 30 metri di distanza dal precedente, Su Marghine B risulta attualmente ricoperto da una fitta vegetazione arbustiva che non consente di rilevarne le strutture.

Sembra tuttavia trattarsi di un monotorre, simile per forma e dimensioni al vicino nuraghe Su Marghine A. Tra i rovi che occultano il monumento è infatti possibile intravedere il profilo di una costruzione circolare ed alcuni filari di pietre del paramento esterno. Nel lato che volge a Sud si conserva un breve tratto murario costituito da enormi massi di basalto disposti a filari irregolari (alt. m 3,00 su 4 filari), mentre a SO sono appena visibili 2 corsi di pietre (alt. m 1,50). Soltanto un'accurata pulizia del sito sarebbe in grado di offrire nuovi elementi utili alla definizione dello schema planimetrico e delle caratteristiche tipologiche di questo edificio.

#### 9 - NURAGHE PUTTU RUJU

Provincia – Sassari

Comune – Siligo

Località – Mesu 'e Cantaros

Posizione – IGM Foglio 460, III - Ploaghe; 8°44'13" – 40°36'16"

Quota – m 313 s.l.m.

Bibliografia – E.E.M. LXIX, 1922, p. 159; TARAMELLI 1939, p. 38, n. 38; MELIS 1967, p. 189, n. 9; PAULIS 1987, p. 331.



Il monumento si trova in un vasto e fertile altopiano attraversato dal Rio Mesu 'e Cantaros, dal quale deriva il toponimo della zona. Ubicato fra i nuraghi Morette, a circa 300 metri a NE, e Santu Filighe, a poco più di 500 metri a SE, sembra occupare un'importante posizione strategica al centro della valle.

Il pessimo stato di conservazione in cui versa l'edificio, già distrutto ai tempi del Taramelli, non consente di definirne con certezza lo sviluppo planimetrico, che non sembra essere tuttavia particolarmente articolato. Attualmente sono infatti visibili pochi massi sparsi sul terreno, alcuni dei quali risultano sbazzati nella facciata esterna e disposti a formare un allineamento circolare (diam. esterno m 5,40; diam. interno m 3,40). Il paramento murario residuo è realizzato con pietre basaltiche di medie dimensioni e si conserva per un'altezza massima di m 1,00 su 4 filari ad Est; nel lato occidentale si contano appena 2 filari di pietre (alt. m 0,40) ed il restante perimetro risulta invece occultato dai massi di crollo, fra i quali si intravedono brevi tratti murari costituiti da un unico corso di pietre (alt. massima m 0,25). Nel lato sud-orientale questa muratura si interrompe, lasciando intuire la posizione dell'ingresso, che tuttavia andrà confermata da un'accurata pulizia del monumento.

#### 10 - NURAGHE TRANESU

Provincia – Sassari

Comune – Siligo

Località – Runaghe Tranesu

Posizione – IGM Foglio 460, III - Ploaghe; 8°45'08" – 40°36'14"

Fig. 11. Pagina da E. Alba 2004



Fig. 12. Ubicazione del Nuraghe Puttu Ruju (in rosso) in base alle coordinate di E. Alba ed ai resti visibili. Si indica la distanza dalla posizione fornita dalla Scheda Paesaggistica BP 2830

In base alla documentazione sopra riportata, la ubicazione individuata nella scheda BP2830 non trova un preciso riscontro sul terreno né dalle fonti documentarie disponibili. Che i resti individuati e documentati da E. Alba siano quelli del nuraghe Puttu Ruju è confermato anche da altre fonti bibliografiche.

L'elemento, inoltre, che esclude la presenza di un nuraghe nel luogo indicato a seguito delle attività di copianificazione, è la completa assenza di strutture murarie, evidenziata sia dall'analisi diretta delle superfici ma anche dalle indagini georadar effettuate sulle aree a ridosso dell'impianto (Allegato 1), qualora le attività agricole lo avessero sommerso o ridotto a struttura in fondazione. Queste, come già indicato e documentato nell'Allegato n. 1 – Georadar "Puttu Ruju", hanno escluso la presenza di alcuna struttura muraria, tantomeno di età nuragica.

Per tale ragione, la erronea ubicazione del nuraghe Puttu Ruju porta a non considerare valida la perimetrazione di tutela diretta ma anche di quella condizionata, essendo il baricentro dell'area decisamente spostato rispetto a quanto perimetrato (fig. 13).



Fig. 13. Il Nuraghe Puttu Riju (in bianco) in relazione alla perimetrazione di tutela condizionata della scheda BP2830

Si allega alla presente,

- Allegato n. 1 – Georadar “Puttu Riju”.

Con Osservanza

Dott. Archeologo Gerardo Fratianni

Ing. Nicola Roselli

## **Allegato n. 1 – Georadar “Puttu Ruju”**

Survey report

# Indagini geofisiche e UAV per l'archeologia, Siligo (SS) 2023

Metodi, acquisizione dei dati, risultati



**Committente:**

ATLAS RE s.r.l.

Via Andreuzzi 12, 33100 Udine (UD)

[www.atlas-re.eu](http://www.atlas-re.eu) Partita IVA 02943070306

**Dati personali:**

Dott. Guglielmo Strapazzon, Via Roma 201, 36060 Schiavon (VI)

[guglielmostrapazzon@gmail.com](mailto:guglielmostrapazzon@gmail.com) Partita IVA 03707070243

# Indagini geofisiche e UAV per l'archeologia, Siligo (SS) 2023

## SOMMARIO

Il presente rapporto tecnico illustra una campagna di indagini geofisiche e UAV con finalità archeologiche condotte nel territorio comunale di Siligo (SS). Le indagini miravano alla verifica della presenza/assenza di strutture di interesse archeologico, ed in particolare alla presenza di resti di un possibile sito nuragico. Le indagini UAV e le ricognizioni hanno rilevato la presenza all'interno della parcella di interesse di numerosi cumuli di pietrame di dimensioni pluridecimetriche interpretabili come spietramenti legati alle attività agricole. Presso uno di questi cumuli di pietrame, identificato dalla cartografia esistente come l'area di possibile presenza di un sito nuragico sono state effettuate delle indagini GPR con un elevato livello di risoluzione. Le indagini GPR hanno permesso di escludere la presenza di resti legati a strutture o depositi di origine antropica.

## 1. INTRODUZIONE

Il presente progetto di indagini non invasive è stato avviato con l'obiettivo di verificare la presenza di evidenze di interesse archeologico nelle aree interessate dalla realizzazione di un campo Agrivoltaico nel comune di Siligo (SS).

L'area del Comune di Siligo presenta una ricca documentazione archeologica tra cui spicca un elevato numero di strutture legate al periodo nuragico. Le ricognizioni di superficie condotte durante la fase di elaborazione della relazione Viarch per il progetto non hanno rilevato presenza di materiali archeologici, e l'analisi aerofotografica del territorio non ha rivelato particolari anomalie di interesse archeologico.

Tuttavia precedenti cartografie indicavano nell'area di interesse il posizionamento di un possibile nuraghe (Figura\_01). In questa prospettiva è stata pianificata la presente campagna di analisi che mirava alla verifica della presenza/assenza di evidenze di interesse archeologico nell'area indicata tramite l'integrazione di tre metodi di indagine: rilievo UAV estensivo dell'area con creazione di DEM, ricognizione dell'area e documentazione di evidenze di interesse e inadine GPR di dettaglio nell'area del presunto nuraghe.



Figura\_01 Individuazione dell'ipotizzato sito di epoca nuragica nell'area di interesse

## 2. STRATEGIE DI ACQUISIZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI RACCOLTI

Scopo primario dell'indagine è quello di verificare la presenza di un ipotizzato sito nuragico nella parcella di interesse. Tale sito sarebbe stato individuato in corrispondenza della presenza di pietre in superficie, lasciando dunque ipotizzare l'eventuale presenza di strutture appena al di sotto dell'attuale livello delle colture. La prima fase delle indagini è stata la realizzazione del rilievo UAV dell'area alla quale è seguita una ricognizione dell'area e la documentazione di evidenze di interesse per concludersi con l'indagine geofisica di dettaglio.

Dato il posizionamento in una zona caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso basaltico, indagini magnetometriche sono state ritenute poco efficaci. L'area di interesse è attualmente destinata a prativo. Questi elementi hanno fatto propendere per un'indagine estensiva tramite Ground Penetrating Radar (GPR).

### 2.1 INDAGINI UAV E RICOGNIZIONE ARCHEOLOGICA

Un rilievo topografico è stato effettuato utilizzando un veicolo aereo senza pilota (UAV o drone), dotato di GPS RTK. Il rilievo UAV è stato effettuato utilizzando un MAVIC 3E RTK.

L'altezza dei voli dell'UAV è stata impostata a 35m e 70m metri. Sono state acquisite 577 immagini verticali di un'area di 25000m<sup>2</sup> per il volo da 70m e 963 immagini per un'areale di 800m<sup>2</sup> per il volo da 35m.

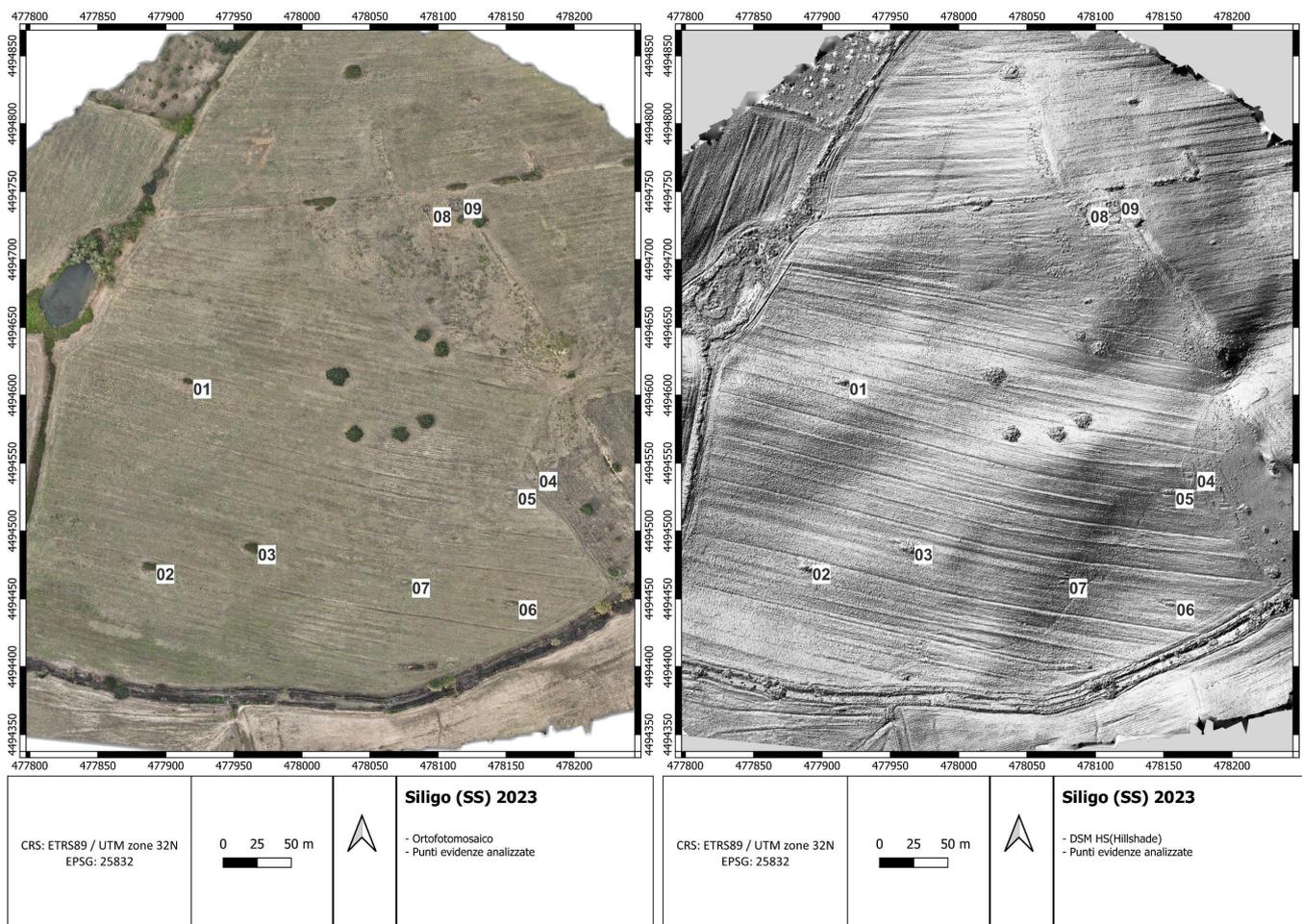
Le immagini risultanti sono state elaborate utilizzando un software dedicato per l'SFM/IBMR che ha permesso la creazione delle nuvole di punti e dei modelli digitali della superficie (DSM) e degli ortofotomosaici dell'area. I DSM sono stati ulteriormente elaborati con algoritmi appositi per evidenziare le caratteristiche geologiche e antropiche dell'area in esame. Nel dettaglio sui dataset analizzati sono stati utilizzati Hillshade (HS), Mutidirectional Hillshade e Sky View Factor (SVF).

La ricognizione archeologica è stata effettuata all'interno della parcella agraria all'interno della quale si collocava il sito di interesse. L'attività ha portato all'individuazione di diverse evidenze che sono state documentate tramite camera digitale.

### 2.1.2 RISULTATI INDAGINE UAV E RICOGNIZIONE

Dall'analisi degli ortofotomosaici e dei DSM opportunamente elaborati, sono stati individuati nella parcella interessata diverse anomalie successivamente verificate tramite ricognizioni a terra. Ad esclusione delle evidenze 08-09 (TAV 11-12), che presentano una struttura complessa e ben leggibile con l'impiego dello SVF (Sky View Factor), le rimanenti sono state ben visualizzate dall'impiego dell'HS (Hillshade). L'elaborazione tramite HS ha inoltre permesso di leggere con chiarezza la morfologia della parcella indagata (Figura\_02) evidenziando la presenza di diversi dossi legati alle dinamiche geomorfologiche dell'area.

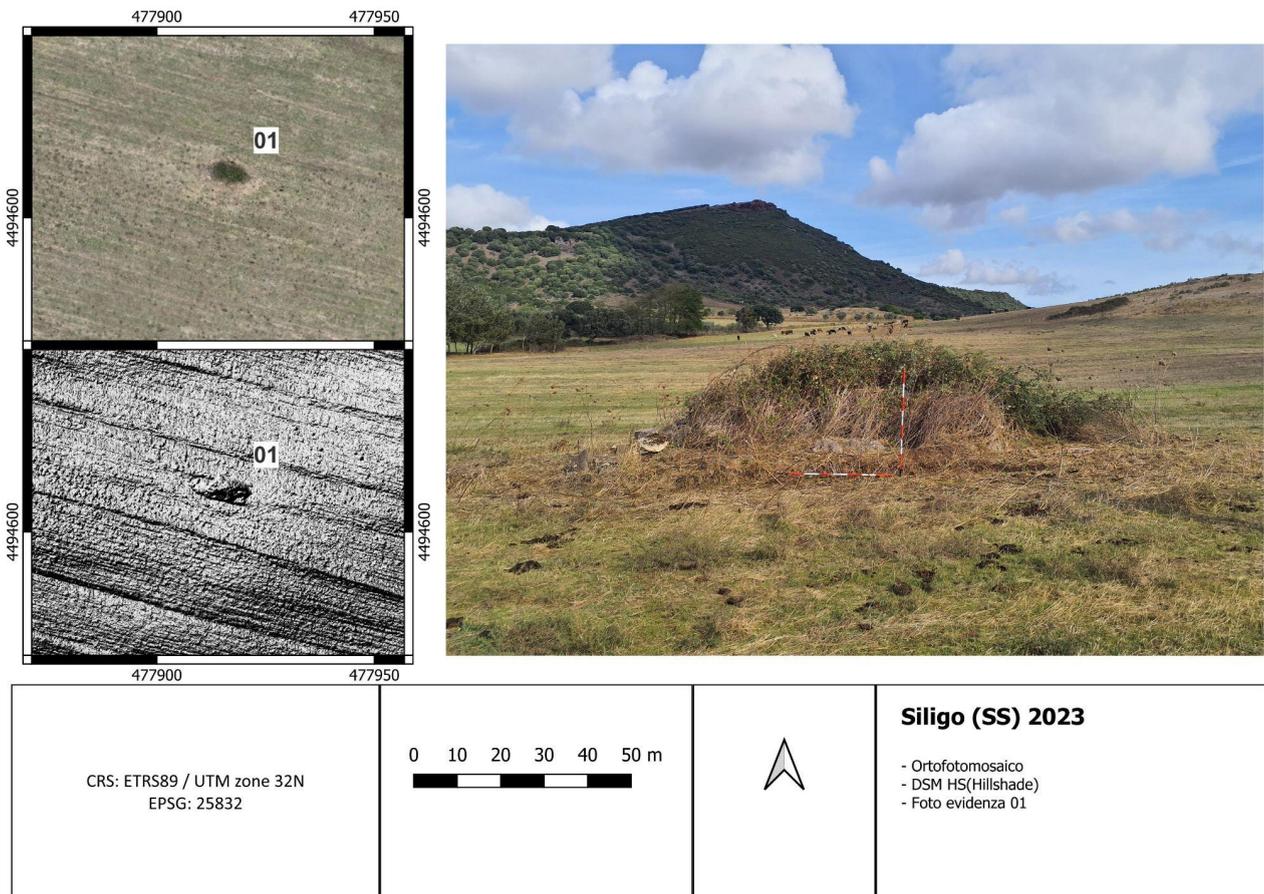
L'evidenza 01 (Figura\_03) corrisponde all'area indicata come il possibile sito nuragico. Si tratta di un cumulo di pietre di origine vulcanica effusiva (principalmente trachiti) di dimensioni pluridecimentriche che si sviluppa per 9.5m in direzione EW e 4.8m in direzione NS, ora in buona parte ricoperto da rovi. La ricognizione non ha evidenziato la presenza di materiale di origine antropica o di consistente materiale lapideo nell'area circostante.



Figura\_02 Ortofotomosaico e Hillshade da DSM con le diverse evidenze indagate

L'estensione della ricognizione all'interno della parcella ha evidenziato la presenza di numerosi altri cumuli di pietrame con caratteristiche simili (evidenze 02-07)(TAV 05-10). Tutte presentano caratteristiche simili all'evidenza 01. Questi spietramenti presentano tutti un orientamento coerente con le direzioni delle arature/lavorazioni agricole e risultano in buona parte coperte da vegetazione spontanea. Almeno due evidenze individuate (06-07)(TAV 09-10), collocate nella porzione SE della parcella sono state interessate da un recente incendio che rimuovendo la vegetazione spontanea ha messo in luce la natura di questi cumuli di pietre, legandoli chiaramente ad attività agrarie di spietramento.

Le evidenze 08-09 (TAV 11-12), collocate sul limite NE della parcella, risultano invece di natura differente, trattandosi dei resti di strutture di origine antropica con pietre pluridecimentriche legate con terra o a secco, di probabile funzione agropastorale, tuttora parzialmente conservate in alzato.



Figura\_03 Evidenza 01 nell'ortofotomosaico, Hillshade e foto

## 2.2 INDAGINI GPR

### 2.2.1 PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il *Ground Penetrating Radar*, *Ground Probing Radar* (GPR) o Georadar è una tecnica di indagine

geofisica che permette l'analisi di una porzione superficiale del sottosuolo. La tecnica si basa sull'invio di onde elettromagnetiche nel sottosuolo attraverso un'antenna GPR. Queste onde vengono riflesse da variazioni nel sottosuolo di origine sia naturale (interfacce tra diversi livelli geologici) che antropica (strutture, quali fondazioni di edifici, fosse, buche). Le onde radar riflesse, che ritornano alla superficie come un'eco, sono registrate con l'antenna GPR e utilizzate per generare un'immagine del sottosuolo.

Le antenne GPR utilizzate nelle prospezioni archeologiche emettono un segnale elettromagnetico con una frequenza media compresa tra i 200 e gli 800 Megahertz (MHz). In generale, è possibile affermare che più elevata è la frequenza, minore è la lunghezza d'onda dell'impulso elettromagnetico. La lunghezza d'onda definisce la risoluzione con la quale è possibile "risolvere" le strutture nel sottosuolo: una lunghezza d'onda minore sarà in grado di "vedere" oggetti di minore dimensione. D'altro canto, un'onda elettromagnetica ad alta frequenza sarà soggetta ad una maggiore attenuazione del segnale se paragonata ad un'onda elettromagnetica con maggiore lunghezza d'onda e minore frequenza.

L'attenuazione del segnale elettromagnetico dipendente dalla frequenza, comporta che l'ampiezza del segnale elettromagnetico diminuisca man mano che il segnale si propaga nel sottosuolo. L'impiego di segnali a bassa frequenza risulta più adatto per indagini a maggiore profondità. Questo comporta che per la scelta dell'antenna con una frequenza ottimale per il nostro obiettivo d'indagine sarà necessario fare un compromesso tra la profondità di indagine e la risoluzione desiderata. Tra le diverse antenne disponibili (100, 200, 250, 400, 600, 900, 2000 MHz), quelle con frequenze comprese tra i 400 e i 600 MHz risultano essere le più versatili per indagini con scopi archeologici, permettendo una penetrazione del segnale fino a profondità di 2-3 m con una risoluzione di 10-30 cm.

La risoluzione e la profondità di penetrazione del metodo georadar non dipendono unicamente dalla frequenza dell'antenna impiegata, ma anche dalle proprietà del suolo nell'area di indagine. Le proprietà fisiche del suolo determinano la velocità di propagazione e l'attenuazione delle onde elettromagnetiche. In particolare, la conduttività elettrica del suolo condiziona fortemente il comportamento delle onde radar.

Suoli con alto contenuto di argilla, o suoli con un elevato contenuto di acqua conduttiva, risultano particolarmente difficili da indagare con il georadar. I livelli più superficiali di questi suoli assorbono buona parte dell'energia dell'onda elettromagnetica e non permettono a questa di raggiungere profondità elevate. Al contrario, suoli fortemente sabbiosi e asciutti permettono una maggiore profondità di indagine.

Le indagini GPR finalizzate alla ricerca archeologica vengono effettuate attraverso l'acquisizione di profili paralleli i quali dopo l'opportuna elaborazione vengono interpolati permettendo la creazione di un modello tridimensionale del sottosuolo. La risoluzione di tale modello dipende dalla frequenza dell'antenna impiegata e dalla spaziatura scelta nella raccolta dei profili. Sebbene l'impiego di GPR multi-antenna permette acquisizioni fino agli 8cm di spaziatura, per quanto riguarda GPR dotati di un'antenna singola tali valori si attestano tra i 25cm e i 50cm. Tali valori sono definiti in base alla tipologia di evidenza da individuare e più in generale sulla base della dimensione dell'area da indagare.

## 2.2.2 INDAGINI GPR

Per le indagini GPR è stato impiegato un GPR(*Ground Penetrating Radar*) CO4080 Impulse Radar dotato di antenna *dual frequencies* HDR(*High Definiton Range*) da 800MHz e 400MHz collegato ad un DGPS RTK in configurazione base-rover grazie al quale è stato possibile georiferire i risultati delle acquisizioni.

Per i rilievi si è adottata una strategia di acquisizione a profili paralleli spazati a 25cm. Le indagini presso l'area 925 m<sup>2</sup> pari a circa 3,703.96 m lineari di profili acquisiti (Figura\_05). Al momento delle indagini l'area si presentava destinata a prativo e privo di colture a seguito del taglio e raccolta del fieno(Figura\_06).



Figura\_04 Realizzazione indagini GPR Ottobre 2023 presso l'area di interesse

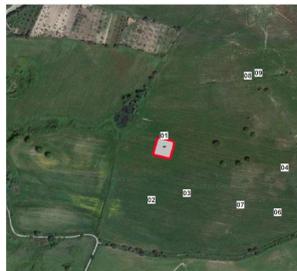
I singoli radargrammi sono stati elaborati con un software dedicato. Sui singoli profili GPR è stato effettuata la seguente elaborazione:

- *Time zero correction*
- *Background removal*
- *Band pass Frequency filter* per l'antenna da 400MHz: 200MHz- 800MHz, per l'antenna da 800MHz: 295MHz- 1105MHz
- *Manual Gain*

- *Migration* ( velocità media stimata 0.08 m/ns)

Le *amplitude depth slices* hanno una risoluzione di 7.5cm e sono state create ogni 7.5cm per un *range* di circa 7.5cm.

### Indagini GPR Siligo



— profili  
□ griglie

0 30 60 m

CRS: ETRS89 / UTM zone 32N  
EPSG: 35832



Figura\_05 Posizionamento dell'area di indagine e dei singoli profili GPR



Figura\_06 Condizioni della superficie presso l'area di indagine GPR

## 2.2.4 RISULTATI INDAGINE GPR

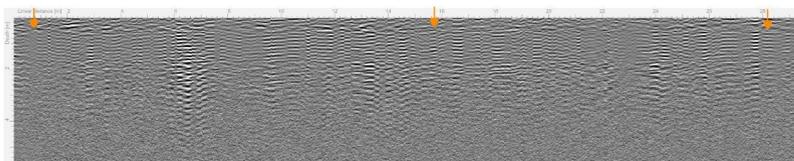
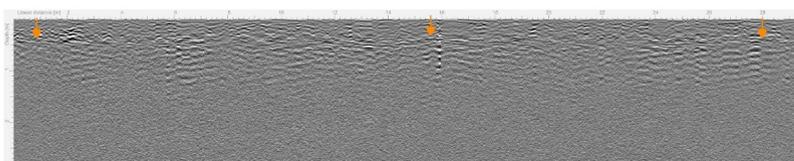
Dall'analisi delle indagini effettuate il 26 ottobre 2023 è stato possibile osservare una penetrazione del segnale dell'antenna da 800MHz di circa 36ns TWT corrispondenti a circa 1.4m e per l'antenna da 400MHz 54ns TWT(*Two Way Travel time*) corrispondenti a circa 2.22m. Al di sotto di queste profondità è possibile osservare l'attenuazione del segnale.

Dall'analisi dei radargrammi è possibile definire lo spessore dell'arativo, pari a 45cm, corrispondente ad un livello fortemente riflettente (**Figura\_11**), legato alle recenti lavorazioni agricole. Al di sotto di questa quota è visibile un livello omogeneo e non emergono anomalie rilevanti dall'analisi dei radargrammi o delle *amplitude time slice*, escludendo quindi la presenza di strutture o depositi sepolti di interesse archeologico.

### Indagini GPR Siligo



 griglie  
 profilo\_003  
GPR slice 400MHz 0.9 m



CRS: ETRS89 / UTM zone 32N  
EPSG: 35832

**Figura\_07** *Amplitude depth slice* a 0.9 m con indicata la posizione del radargramma 03, con l'antenna da 800MHz (sopra) e 400MHz (sotto). Nei radargramma è ben visibile l'arativo (arancione) e l'assenza di riflessioni riconducibili a evidenze di origine antropica

## 4. CONCLUSIONI

Le indagini non invasive integrate nel territorio comunale di Siligo hanno permesso di ottenere un'immagine ben definita delle evidenze oggetto di analisi. Le ricognizioni e le analisi UAV presso

l'evidenza 01, dove era stata ipotizzata la presenza di un sito nuragico, non hanno fatto emergere elementi che possano confermare questa tesi. Il confronto con numerosi altri accumuli di pietre (evidenze 02-07) nella stessa parcella dell'evidenza 01, presentano caratteristiche simili e sono chiaramente leggibili come spietramenti di pietre pluridecimentriche di origine vulcanica effusiva (trachiti), legati alle attività agricole.

Le indagini GPR effettuate in un'area di circa 30m di lato attorno all'evidenza 01 sembrano confermare questa lettura, evidenziando la completa assenza di stratigrafie o strutture sepolte al di sotto dell'arativo.

***Guglielmo Strapazzon, PhD***

***Codrongianos 30/10/23***

**TAVOLE:**

**TAV 01 – Ortofotomosaico del volo a 70cm con indicazione delle diverse evidenze ricognite**

**TAV 02 – *Hillshade* del DSM del volo a 70cm con indicazione delle diverse evidenze ricognite**

**TAV 03 – *Hillshade* multidirezionale del DSM del volo a 70cm con indicazione delle diverse evidenze ricognite**

**TAV 04 – Ricognizione evidenza 01**

**TAV 05 – Ricognizione evidenza 02**

**TAV 06 – Ricognizione evidenza 03**

**TAV 07 – Ricognizione evidenza 04**

**TAV 08 – Ricognizione evidenza 05**

**TAV 09 – Ricognizione evidenza 06**

**TAV 10 – Ricognizione evidenza 07**

**TAV 11 – Ricognizione evidenza 08**

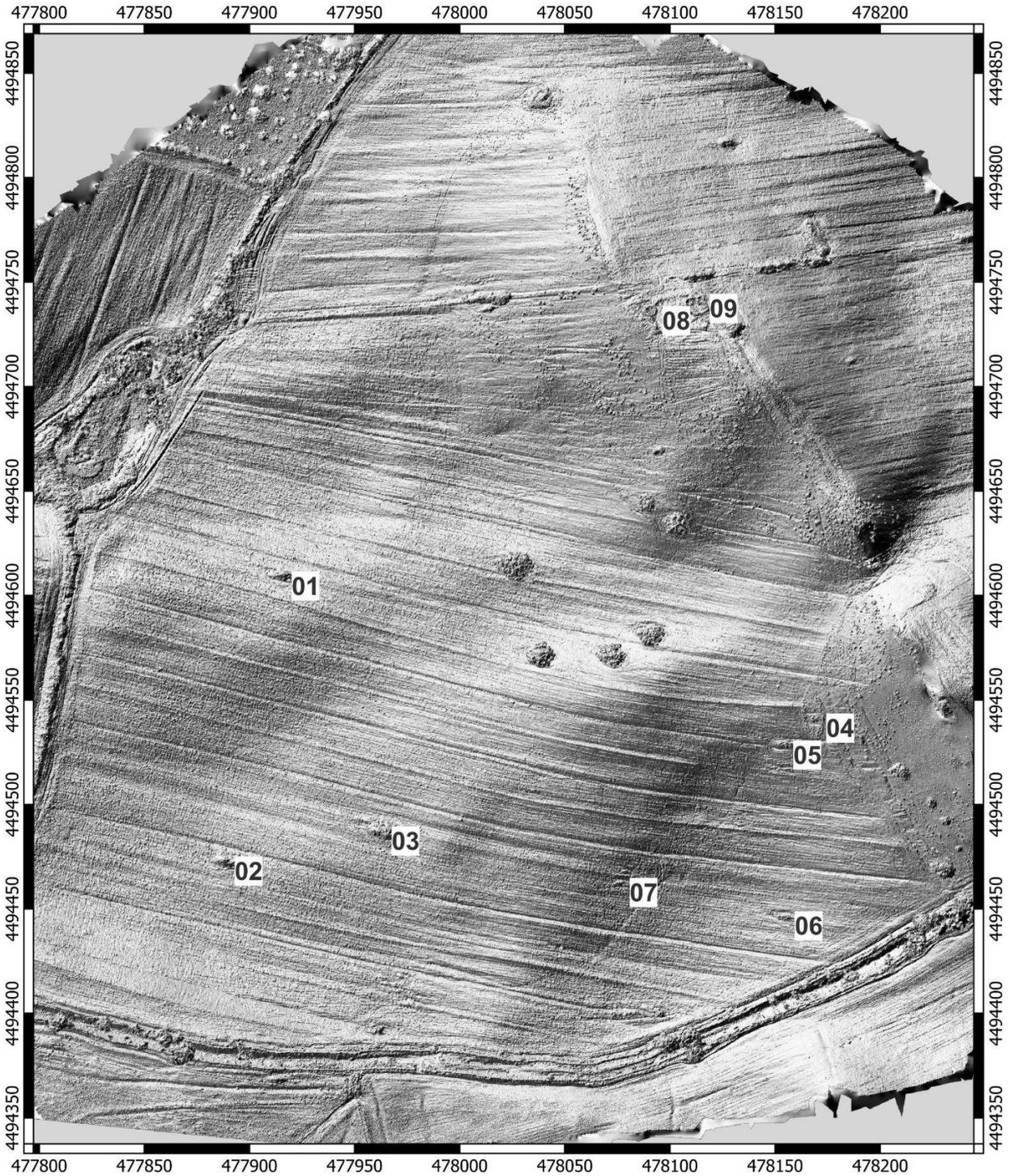
**TAV 12 – Ricognizione evidenza 09**

**TAV 13 – *Amplitude depth slices* GPR 800MHz**

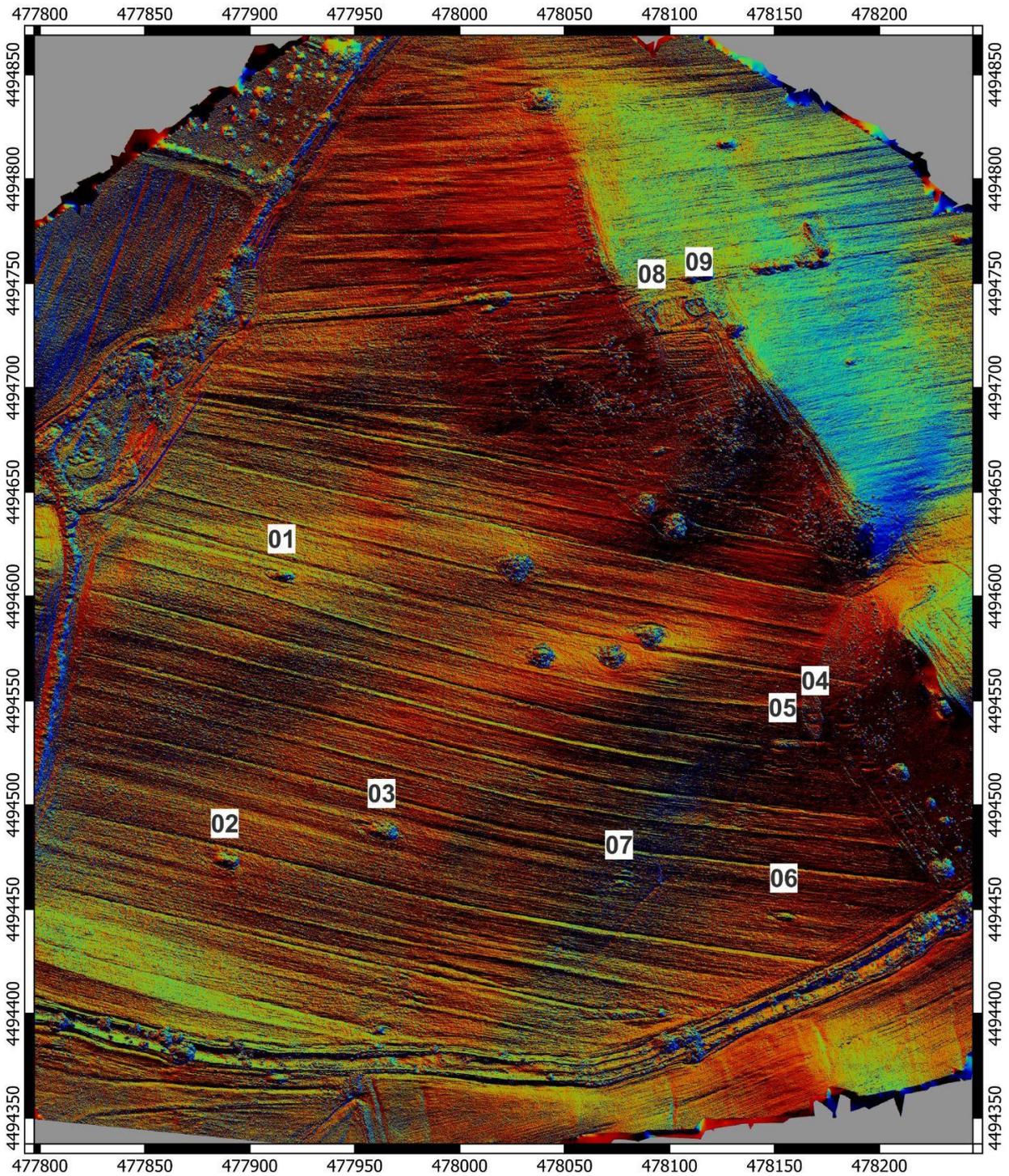
**TAV 14 – *Amplitude depth slices* GPR 400MHz**



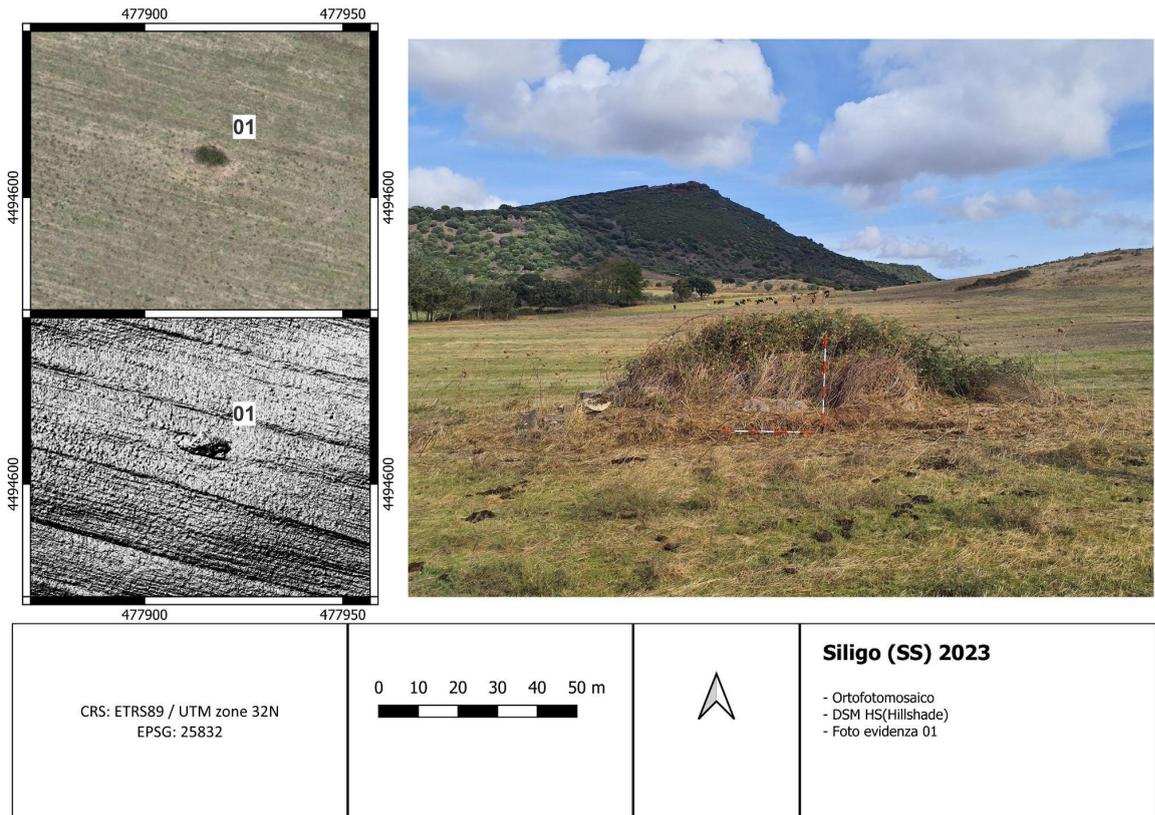
<p>CRS: ETRS89 / UTM zone 32N EPSG: 25832</p>	<p>0 25 50 m</p> 		<p><b>Siligo (SS) 2023</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ortofotomosaico</li> <li>- Punti evidenze analizzate</li> </ul>
---	--	---	---



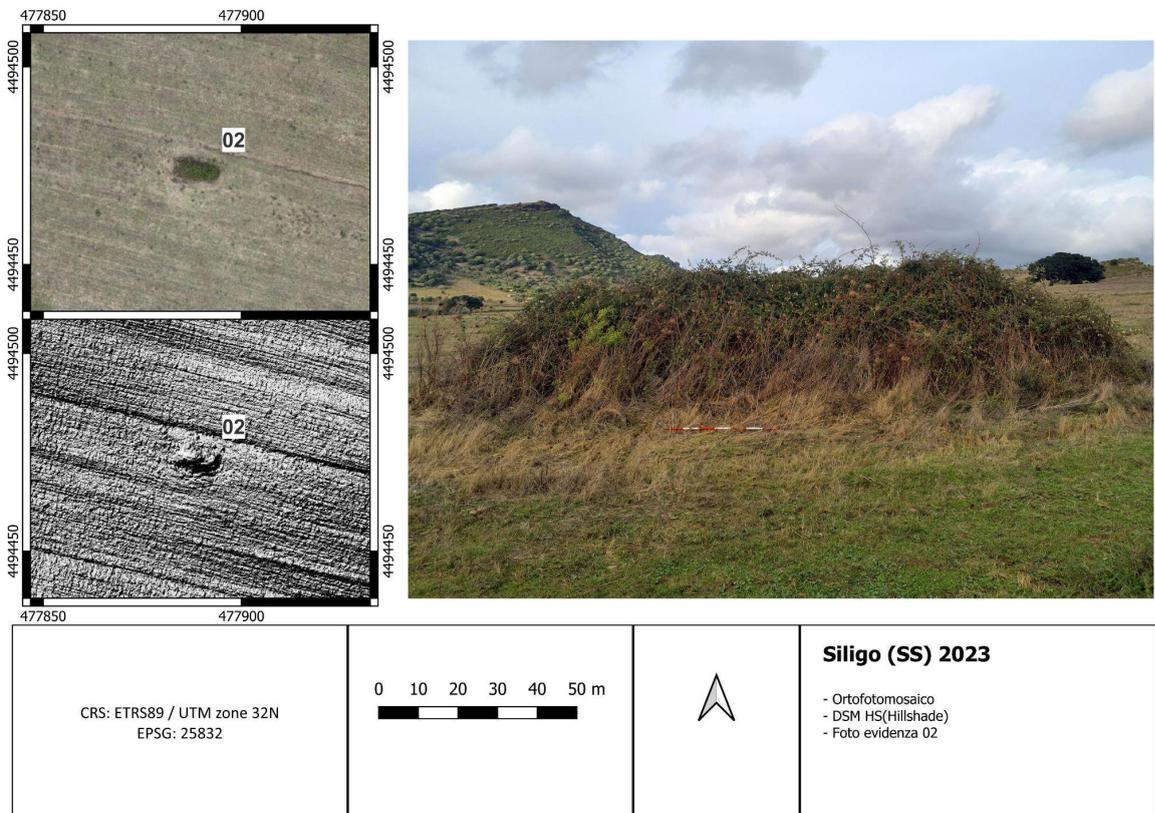
<p>CRS: ETRS89 / UTM zone 32N EPSG: 25832</p>	<p>0 25 50 m</p> 		<p><b>Siligo (SS) 2023</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DSM HS(Hillshade)</li> <li>- Punti evidenze analizzate</li> </ul>
---	--	---	---



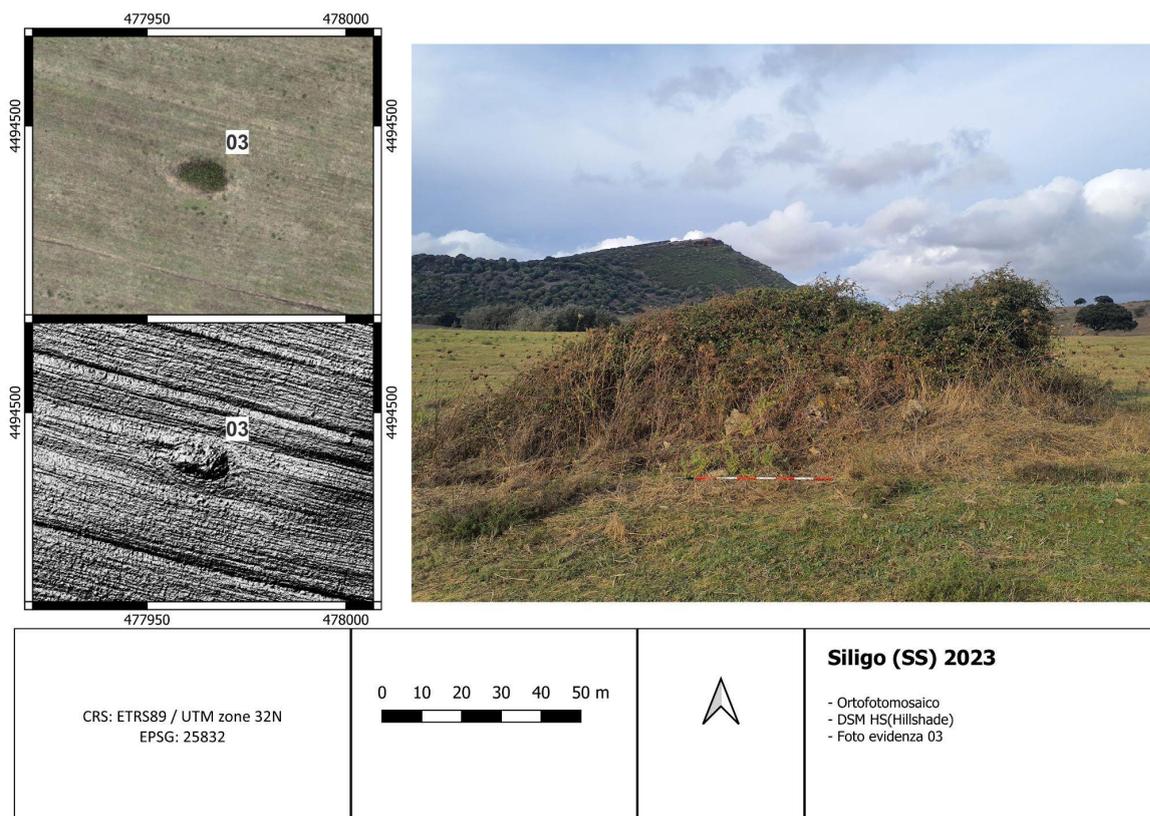
<p>CRS: ETRS89 / UTM zone 32N EPSG: 25832</p>	<p>0 25 50 m</p> 		<p><b>Siligo (SS) 2023</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DSM Multidirectional HS(Hillshade)</li> <li>- Punti evidenze analizzate</li> </ul>
---	--	---	--



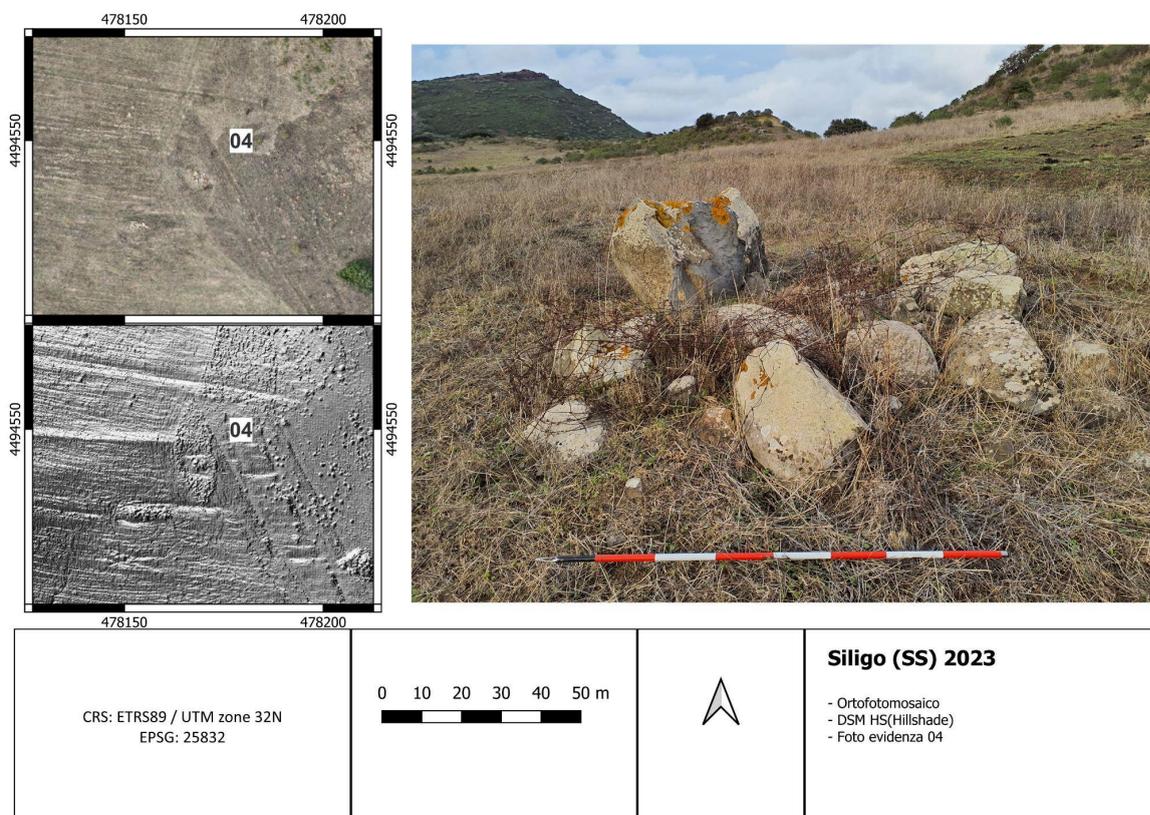
**TAV 05**



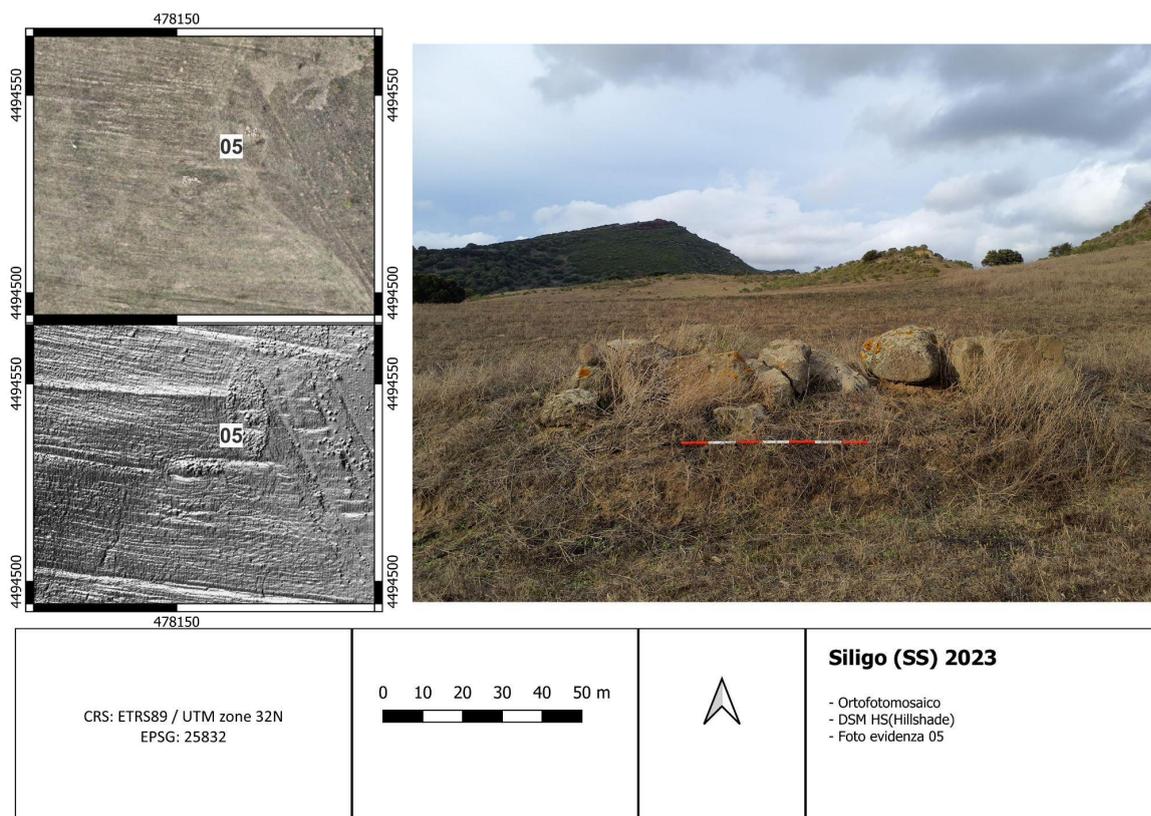
**TAV 06**



**TAV 07**



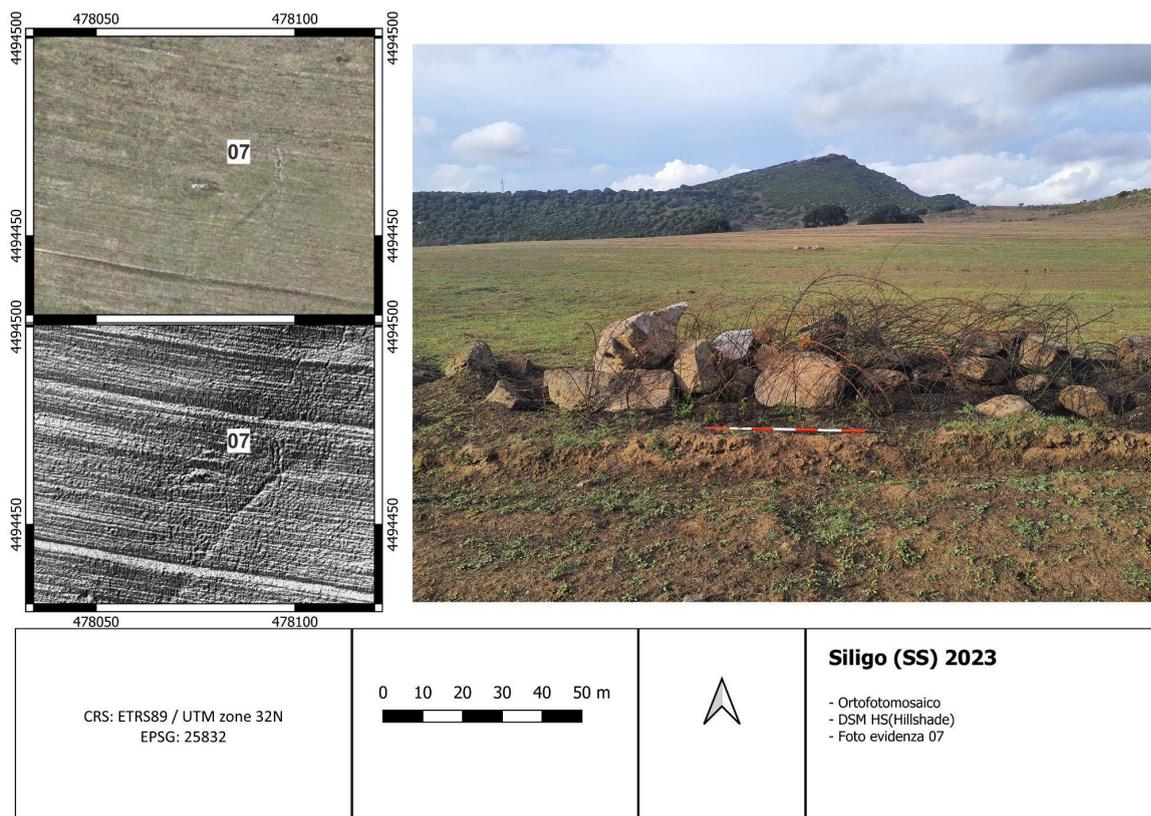
**TAV 08**



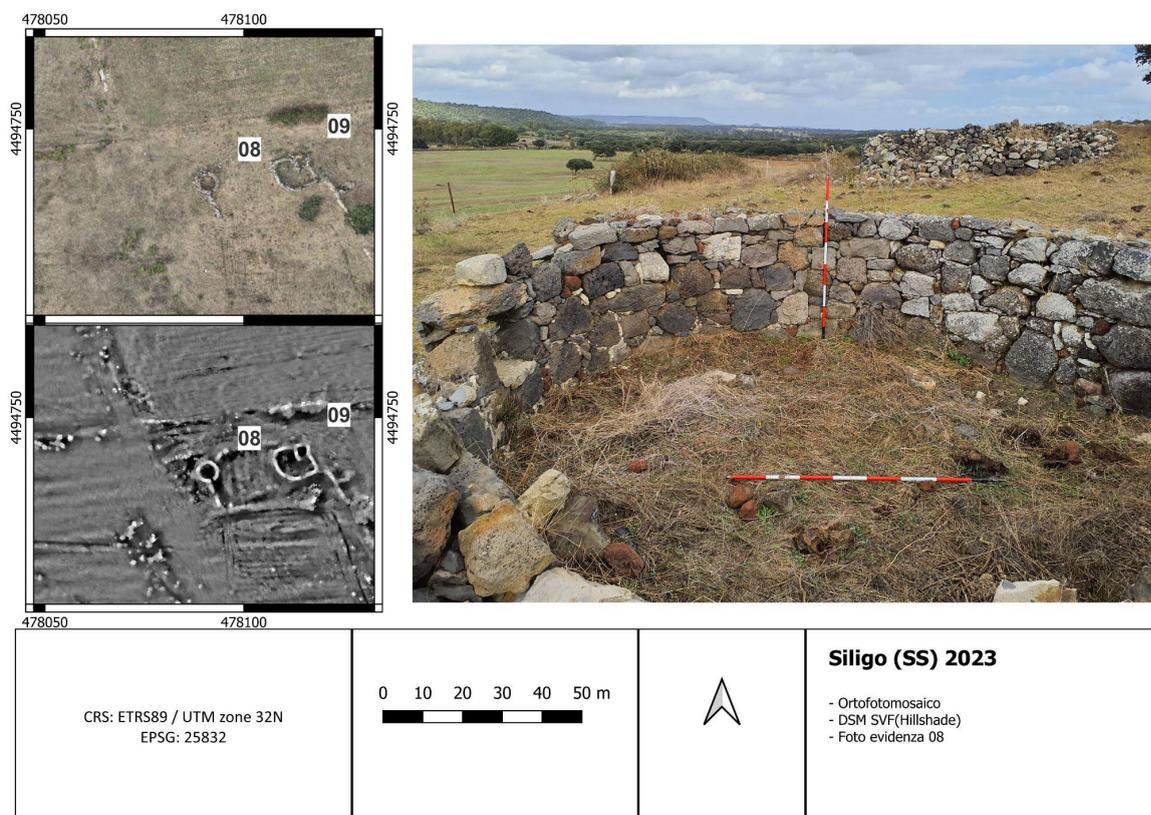
TAV 09



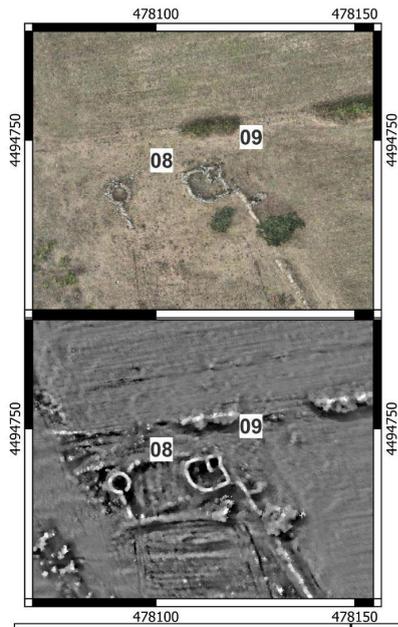
TAV 10



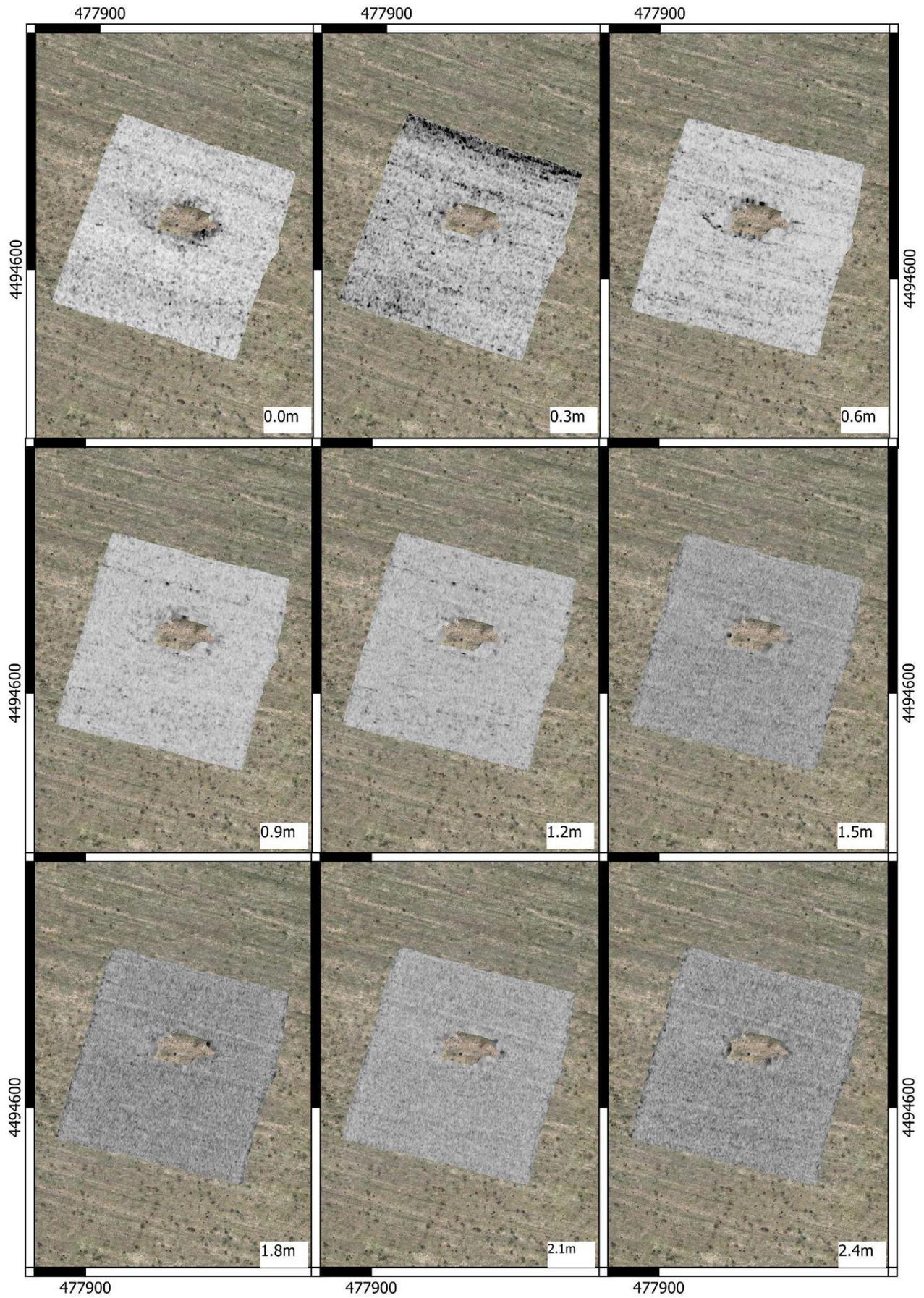
**TAV 11**



**TAV 12**



<p>CRS: ETRS89 / UTM zone 32N EPSG: 25832</p>	<p>0 10 20 30 40 50 m</p>		<p><b>Siligo (SS) 2023</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ortofotomosaico</li> <li>- DSM SVF(Hillshade)</li> <li>- Foto evidenza 09</li> </ul>
---	---------------------------	--	--



TAV 14

