

Geografia e tecnologia



NUOVA
SERIE
22 / 2023

Memorie
Geografiche

MEMORIE GEOGRAFICHE

Giornate di studi interdisciplinari "Geografia e..."
Pisa, 30 giugno-1° luglio 2022

**Geografia e tecnologia:
transizioni, trasformazioni,
rappresentazioni**

a cura di
Michela Lazzeroni, Monica Morazzoni e Paola Zamperlin



Geografia e tecnologia è un volume delle Memorie Geografiche della Società di Studi Geografici

<http://www.societastudigeografici.it>

ISBN 978-88-94690125

Numero monografico delle Memorie Geografiche della Società di Studi Geografici
(<http://www.societastudigeografici.it>)

Certificazione scientifica delle Opere

Le proposte dei contributi pubblicati in questo volume sono state oggetto di un processo di valutazione e di selezione a cura del Comitato scientifico e degli organizzatori delle sessioni della Giornata di studio della Società di Studi Geografici

Comitato scientifico:

Fabio Amato (SSG e Università L'Orientale di Napoli), Cristina Capineri (SSG e Università di Siena), Domenico de Vincenzo (SSG e Università di Cassino), Egidio Dansero (SSG e Università di Torino), Francesco Dini (SSG e Università di Firenze), Michela Lazzeroni (SSG e Università di Pisa), Mirella Loda (SSG e Università di Firenze), Paolo Macchia (Università di Pisa), Monica Meini (SSG e Università del Molise), Monica Morazzoni (Università IULM di Milano), Andrea Pase (SSG e Università di Padova), Filippo Randelli (SSG e Università di Firenze), Bruno Vecchio (SSG e Università di Firenze), Paola Zamperlin (Università di Pisa).

Comitato organizzatore:

Michela Lazzeroni (SSG e Università di Pisa), Samantha Cenere (Università di Torino), Paolo Macchia (Università di Pisa), Antonello Romano (Università di Siena), Paola Zamperlin (Università di Pisa), Giovanna Zavettieri (Università di Roma Tor Vergata).



Creative Commons Attribuzione – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

© 2023 Società di Studi Geografici

Via San Gallo, 10

50129 - Firenze

SESSIONE 4

*DRONI, TECNOLOGIE COMPLEMENTARI
E CONOSCENZA GEOGRAFICA:
PROSPETTIVE E PROBLEMI*

ROBERTA RODELLI*

OSSERVAZIONI DI UN SITO GEOSTORICO MEDIANTE RIUTILIZZO DI IMMAGINI UAS D'ARCHIVIO: IL CASO DELL'ANFITEATRO DI TREBULA MUTUESCA

1. INTRODUZIONE. – Le potenzialità dell'osservazione geostorica ed archeologica speditiva con droni *low-cost* sono ormai ampiamente dimostrate da una vasta letteratura. Da un lato, le tecnologie si evolvono, facilitando di molto i processi di rappresentazione cartografica e modellistica, tanto in fase di rilevamento quanto in quella d'elaborazione (Jácamo e Novara, 2020); dall'altro, la diffusione di mezzi ad alta accessibilità di fascia *consumer*, consentendo a più individui e gruppi di svolgere acquisizione ed elaborazione dati, può portare, in prospettiva, a un significativo allargamento delle conoscenze (Gašparović *et al.*, 2017; Elkhrachy, 2021; Laporte-Fauret *et al.*, 2019; Karachaliou *et al.*, 2019) rispetto al potenziale dei meno numerosi, ancorché più blasonati e sofisticati, strumenti di fascia alta. Tre risvolti sembrano di particolare interesse in questo scenario: il primo è la capacità dei sistemi di realizzare rappresentazioni composite molto ampie e complesse; il secondo è la possibilità di costruire rappresentazioni a posteriori con l'uso di materiale fotografico o documentario di archivio che, all'origine, si sarebbe prestato poco a tali scopi; il terzo, infine, è la capacità di rendere queste elaborazioni multimodali in diverse tipologie di output.

Una questione specifica, che costituisce una variabile metodologica importante, è la necessità di scegliere, a seconda delle applicazioni, la georeferenziazione diretta nella ricostruzione degli ambienti o l'impiego di punti di controllo come riferimento. La scelta dev'essere determinata dai vincoli metrici, dalla scala e dagli scopi dell'elaborazione.

Costruire un modello 3D scalato solo a partire dalle misure GNSS interne del drone può, a seconda dei casi, non essere appropriato per gli standard dell'architettura o dell'archeologia (Elkhrachy, 2021, p. 5580), ma in particolari situazioni e per gli scopi più generali della documentazione geostorica può risultare perfettamente accettabile.

Da queste possibilità – di per sé, strettamente tecniche – scaturisce un'utile apertura di orizzonti contenutistici per molte applicazioni culturali (Remondino *et al.*, 2012, p. 1); a condizione, però, che le tecnologie siano accessibili, usabili ed effettivamente a disposizione del maggior numero possibile di persone.

Oltre che lecito, dunque, è quanto mai opportuno porre una domanda di ricerca sulla effettiva capacità degli strumenti “poveri” di produrre informazione geostorica o archeologica che possa risultare significativa e utile da un punto di vista scientifico e/o divulgativo.

Questo scritto svolge considerazioni, a partire da un caso di studio, che si ritiene utile condividere con altri gruppi di ricerca per facilitare la pianificazione e lo svolgimento di operazioni similari in altri contesti.

2. PICCOLI DRONI PER L'OSSERVAZIONE GEOGRAFICA. – Alcuni autori (Casagrande, 2018, p. 6; Germen, 2016) evidenziano come i piccoli UAS¹ riempiano di fatto un vuoto tra le diverse forme di osservazione geografica tradizionale. Il livello del rilievo autoptico al suolo, caratteristico della geografia per secoli, è stato affiancato, nel corso del Novecento, dalla ricognizione aerea e dal telerilevamento satellitare. A ciascuno di questi piani corrisponde tipicamente un insieme di scale cartografiche e di osservazione, nonché, per così dire, uno specifico insieme di livelli tematici. Il drone consente di osservare dall'alto come un aereo o un elicottero, ma più da vicino e con una considerevole libertà di operazione e di prospettiva. Questa nuova “categoria visuale” nello sguardo geografico reca in se stessa, contemporaneamente, un limite e un'opportunità. Un limite, perché nonostante gli scenari tecnici e normativi siano in evoluzione – si pensi al salto concettuale nei regolamenti dal 2013 ad oggi (ENAC, 2013; EASA, 2019a e 2019b) – i piccoli droni civili tendono ancora a poter documentare i fenomeni a scale essenzialmente locali o addirittura puntuali. Un'opportunità tuttavia,

¹ *Unmanned Aircraft System* secondo l'attuale denominazione europea.



perché la diffusione di standard *de facto* nei *workflow* di produzione e di diffusione dei dati consente in effetti di “agganciare” molteplici documentazioni omologhe ricavate da più droni e da più operatori, anche in tempi diversi, in modo tale da poter assemblare – in linea di principio – informazioni geografiche di area molto più vasta (Casagrande, 2018, pp. 5-10; Casagrande *et al.*, 2019, pp. 15-16), mantenendo però un livello di dettaglio alto. Ciò permette, alle attuali piattaforme GIS, di rendere i prodotti geoinformativi finiti integrabili per la rappresentazione di aree più grandi su cui le elaborazioni composite potranno risultare facilmente scalabili. Anche se si adottassero rappresentazioni cartografiche di insieme a più piccola scala, ovviamente, l’elevata densità di dettagli e informazioni – che rimarrebbero nei *geodatabase* – potrebbe risultare utile per conseguire una notevole “multi-modalità” delle rappresentazioni. Da un singolo prodotto ricavato mediante ricognizione con un drone, per esempio un modello 3D metrico, possono utilmente essere derivate dense rappresentazioni cartografiche 2D in un GIS a fini di vettorializzazione; rappresentazioni tridimensionali interattive in ambienti virtuali e modelli tattili stampati in 3D per trasferire conoscenze e descrizioni analoghe a quelle visuali a persone che, per vari motivi, non possano usare la vista per tale tipo di esperienza.

Da questa semplice considerazione discende perciò l’attenzione che meritano, nella prospettiva della geografia storica, le documentazioni “puntuali” a grandissima scala e soprattutto la necessità di esplorare ogni possibilità di costruzione di un’informazione significativa.

Tale costruzione è ottenuta oggi, tipicamente, pianificando una campagna mirata di rilievo con droni, da cui si ricavano, in un *workflow* lineare, gli output programmati (Colomina e Molina, 2014, p. 83; Szabó *et al.*, 2018, pp. 100-120). Il potenziale di produzione informativa, tuttavia, potrebbe essere utilmente accresciuto se non fosse necessario o possibile ripetere questo *workflow* di volta in volta; ci si riferisce alla possibilità di elaborare, secondo opportune logiche, dati d’archivio eventualmente non pensati per un utilizzo coordinato per tali obiettivi. Se gli scopi della rappresentazione lo permettessero, si potrebbe ad esempio ricavare un modello 3D unitario e sufficientemente descrittivo da immagini d’archivio, parziali, disomogenee e non coordinate cronologicamente fra loro. Forse il modello non sarebbe utilizzabile per fini archeologici a causa di errori o per incoerenze di struttura materiale; eventualmente, però, si potrebbe ottenere una ricostruzione complessiva dello spazio descritto a fini di *story-telling*. Come sempre accade in geografia, la scala, il tema e gli scopi della rappresentazione governano i processi e determinano la riuscita, o meno, di una rappresentazione.

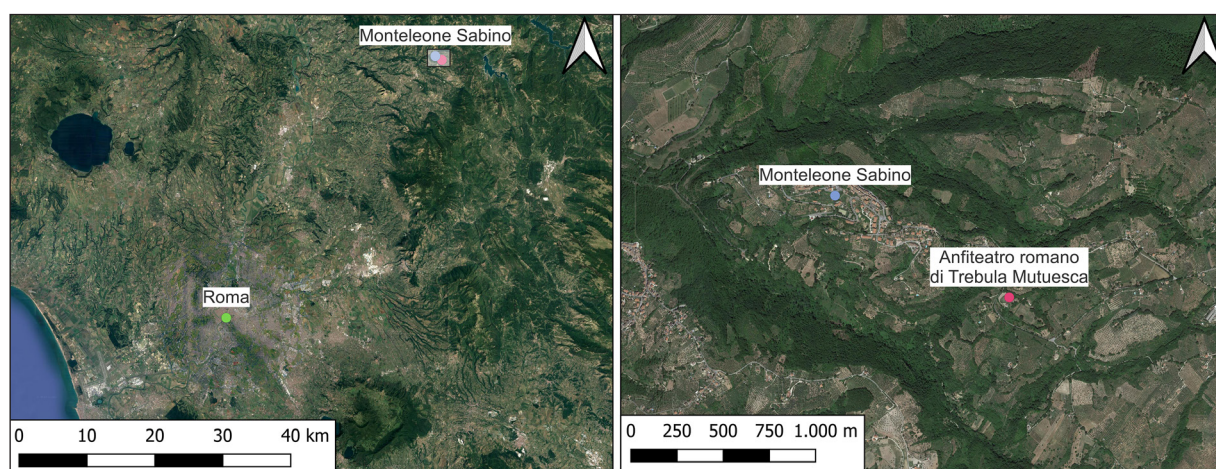
Questo lavoro svolge, di seguito, alcune considerazioni pratiche su questi problemi, a partire da uno specifico caso e con necessaria attenzione agli aspetti tecnici che vincolano il processo di elaborazione dei dati.

3. L’ANFITEATRO DI TREBULA MUTUESCA. – Il caso di studio discusso in questo scritto riguarda l’area archeologica della città di Trebula Mutuesca, in Sabina. Specifico oggetto della documentazione sono stati i ruderi di un anfiteatro di epoca romana imperiale, riportato alla luce a seguito di una serie di scavi nel corso degli ultimi sessant’anni (Alvino, 2000).

Trebula Mutuesca è un insediamento di età antica i cui resti sono stati individuati all’interno del territorio dell’odierno comune di Monteleone Sabino, in provincia di Rieti, a circa un chilometro dall’abitato attuale (Fig. 1). Poche sono le notizie riguardo le origini di questa cittadina, le tracce archeologiche rinvenute testimoniano presenze risalenti al IV secolo a. C., ma alcuni indizi lasciano aperta la possibilità che attività umane nella zona siano, almeno in parte, databili ad epoche precedenti. All’inizio del III secolo, Trebula Mutuesca fu conquistata, con altri centri della Sabina, da Marco Curio Dentato (Humar, 2019, p. 98) e divenne parte del territorio romano come area di sfruttamento coloniale, passando da *vicus* a *municipium* probabilmente solo a seguito della riorganizzazione territoriale operata da Augusto (Alvino, 2000, p. 1). Fu infatti nel I secolo d.C. che il centro abitato si avviò al suo massimo splendore. Amministrata da un collegio di otto magistrati, Trebula iniziò in questo periodo una serie di lavori di pubblica utilità nel foro e di cantieri per la costruzione di nuovi edifici, anche grazie al contributo di ricche famiglie come quelle dei *Plaetorii* e dei *Critonii* (*ibid.*, p. 2). Alla famiglia dei *Brutii Praesentes* si deve invece la costruzione di diverse cisterne per l’approvvigionamento idrico, di strutture termali e dell’anfiteatro, la cui edificazione viene fatta risalire alla prima metà del II secolo d.C., fase in cui il centro abitato sembra essere stato caratterizzato da particolare vitalità e apertura sociale (Mayer e Olivé, 2009, pp. 47-48). Si sono rinvenute diverse iscrizioni che evidenziano la presenza in quest’epoca di alcuni templi e sacelli dedicati a varie divinità. Nell’area di un tempio dedicato alla dea Feronia, successivamente, sarebbe stato ospitato il sepolcro e iniziato il culto di Santa Vittoria, giovane romana martirizzata nel III secolo d.C. durante le persecuzioni di Decio. Pare che già a quell’epoca fosse avanzato il processo di spolamento che avrebbe portato al progressivo abbandono del centro abitato (Humar, 2019, p. 98). Su questo luogo di sepoltura sarebbe stata poi edificata, in epoca altomedievale, la chiesa in onore della Santa che oggi

si trova isolata rispetto al paese, dal momento che a seguito delle invasioni saracene del IX secolo. Trebula fu distrutta e il centro abitato fu ricostruito sul colle di Monteleone (Ferri, 1985, p. 76).

All'inizio del Novecento la struttura dell'anfiteatro fu individuata nei pressi della cosiddetta valle "Pantano", mentre per una prima fase di ricerca sull'area sarebbe stato necessario attendere gli anni Cinquanta. Nel 1958 fu dato avvio ad un progetto di "cantiere scuola" coordinato da A. La Regina, F. Coarelli, M. Torelli e F. Zevi per uno studio più approfondito del sito archeologico (Alvino, 2000). In questa occasione si poté determinare l'area occupata dal manufatto, individuando alcuni ambienti riconducibili alla sua struttura. Dopo un'ulteriore pausa di circa quarant'anni le attività di scavo sono riprese. Nel 1998 un'ampia porzione dell'anfiteatro è stata riportata alla luce e ciò ha permesso di raggiungere una migliore comprensione della sua forma originale (*ibid.*, p. 13). L'anfiteatro è costruito su un terrazzamento artificiale, così che parte della sua struttura risulta addossata alla roccia e parte invece elevata rispetto al declivio del terreno. Gli scavi hanno permesso inoltre di portare alla luce gallerie e strutture che costituivano gli ipogei e che sorreggevano la cavea: ad oggi la configurazione dell'anfiteatro è, nel suo complesso, ben riconoscibile.



Fonte: Google Earth Satellite, elaborazione dell'autrice su QGIS 3.22.

Fig. 1 - Monteleone Sabino e posizione dell'anfiteatro rispetto all'abitato attuale

A partire dal 2017, con maggiore sistematicità dal 2018 e fino al 2020 il GREAL dell'Università Europea di Roma ha svolto ricognizioni con UAS nell'area dell'anfiteatro; in tali occasioni si sono raccolte riprese aeree nadirali e oblique per elaborazioni *image-based-modelling*. Il lavoro, condotto di concerto con il Comune e con la Soprintendenza Archeologica, ha avuto lo scopo di acquisire documentazione sullo stato materiale di parti del manufatto e di realizzare modelli 3D di alcune sezioni della cavea. Le ricognizioni sono state condotte, nei vari periodi, con diverse tipologie di droni. In ordine cronologico, si è visto l'impiego di un FTD300X (2017) per riprese video, un FTD Spark (2018) per riprese fotogrammetriche (a 12 Mpx) e un DJI Phantom 4 Pro (2020) per riprese video e fotogrammetriche (a 20 Mpx). I voli effettuati hanno prodotto una cospicua documentazione video e fotografica, utilizzabile sia a scopi di ricerca, sia di didattica e divulgazione. Nondimeno, la diversità dei momenti e degli scopi di ripresa ha prodotto una certa eterogeneità nei dati raccolti. Ciò avrebbe potuto essere utile per un'osservazione diacronica, ma non altrettanto per una correlazione metrica che potesse condurre ad un'elaborazione unitaria. Le acquisizioni si prestavano sì alla realizzazione di modelli 3D, ma a diverse scale, poiché alcune zone dell'anfiteatro erano state coperte da riprese di dettaglio, mentre in altri casi si erano effettuate riprese da quota più alta, con inquadrature più generali.

Queste disomogeneità non si riflettevano sul valore strettamente archeologico della documentazione prodotta, poiché questa era stata presa, di volta in volta, con l'intento di descrivere specifiche sezioni dell'anfiteatro. Avrebbero però reso più difficoltoso realizzare un modello dettagliato completo, da destinarsi ad alcune forme particolari di fruizione didattica e divulgativa.

4. UN PROCESSO DI RICOSTRUZIONE UNITARIA DA DATI ETEROGENEI. – Recentemente il GREAL ha iniziato a lavorare sull'ipotesi di un modello unitario che potesse riprodurre la struttura subdiale superstite dell'anfiteatro al suo stato del 2020, non tanto a scopo di documentazione archeologica o di ricerca, ma soprattutto

in vista di una divulgazione e *story-telling* multimodale del sito. Se si fosse conseguito lo scopo, sarebbe stato infatti possibile utilizzare una versione digitale del modello per produrre divulgazione web o come base per virtualizzazioni; o ancora, infine, per stampe 3D.

Ricostruire però il modello digitale di tutta l'area presentava obiettive difficoltà e la necessità di “trovare una strada” di ordine strettamente tecnico per conseguire un risultato utile dal punto di vista dei contenuti. Di seguito si presenta l'insieme delle strategie e delle operazioni attraverso le quali si ritiene di aver raggiunto lo scopo.

4.1 *Metodo ricostruttivo*. – Il software scelto per tentare una ricostruzione complessiva dell'anfiteatro di Trebula Mutuesca è Agisoft Metashape. Con lo stesso sistema erano state precedentemente realizzate singole sezioni tridimensionali dell'anfiteatro, attraverso gruppi di fotografie acquisiti nei diversi momenti.

Di norma, la creazione di un processo di *image-based-modelling* in campo archeologico prescrive la raccolta di immagini secondo tempistiche e modalità adeguatamente coordinate. Una volta passate le immagini al software di elaborazione, si procede al cosiddetto “allineamento” delle stesse; il sistema svolge una comparazione fra le immagini disponibili e determina punti comuni fra gruppi di esse. Tali punti comuni vengono visualizzati nella forma della cosiddetta “nuvola di punti sparsa” (*sparse point cloud*). A partire da questi punti vengono poi determinati altri punti di collegamento e si consegue una riproduzione geometrica della scena ripresa, scalata se sono disponibili opportuni metadati nelle immagini o se è possibile determinarli in altro modo. L'individuazione di questi punti dà luogo alla costruzione della cosiddetta “nuvola di punti densa” (*dense point cloud*). I passaggi successivi prevedono la produzione di un modello 3D che unisca i punti della nuvola densa in una superficie triangolata chiamata *mesh*, su cui poi si può applicare una *texture* (una colorazione superficiale) derivata dalle immagini inizialmente inserite nel sistema. In questi ultimi due processi, dunque, il software realizza la riproduzione tridimensionale sintetica dell'oggetto ripreso e le conferisce un aspetto “fotorealistico” applicandovi colori ricavati “dal vero”.

Tuttavia, nel caso che qui presentiamo, non si poteva disporre di immagini coordinate in partenza e bisognava quindi cercare di considerare la correlazione fra immagini disomogenee con metodi non previsti dal *workflow* sopra descritto.

Un processo già previsto da Agisoft Metashape nel momento in cui si abbia l'obiettivo di unire sezioni diverse è quello di creare dei *chunk* distinti, ossia dei gruppi di fotografie da elaborare separatamente per creare porzioni di un oggetto da assemblare poi con altri (Agisoft LLC, 2021, pp. 133-134). Le immagini appartenenti ad ogni gruppo sono, per solito, allineate automaticamente dal software. I singoli *chunk* così elaborati vengono successivamente uniti fra loro al fine di creare una *mesh* unica.

Nello specifico caso, però, seguire questo processo lineare e prestabilito non avrebbe condotto al risultato, poiché i dati disponibili non erano stati acquisiti per effettuare una ricostruzione totale dell'area.

Innanzitutto, vi erano molti dati da selezionare e gestire: le immagini acquisite erano circa 5.700 (a diverse dimensioni di immagine, 12 Mpx o 20 Mpx). Esse documentavano un'evoluzione del sito tra il 2017 e il 2020, periodo in cui erano stati scavati nuovi resti, abbattuti alberi e si erano svolti i normali cicli stagionali della vegetazione.

La copertura fotografica non era, inoltre, uniforme tra le diverse aree dell'anfiteatro: l'osservazione aveva documentato l'intero manufatto, ma vi erano differenze nel numero di immagini disponibili per ciascuna area e questo rendeva complesso collegare le varie porzioni del modello.

Non erano poi disponibili punti di controllo, dato che i rilievi avevano avuto carattere speditivo.

Infine, mentre i metadati posizionali delle fotografie realizzate col drone Phantom risultavano adeguati, le coordinate associate alle fotografie dello Spark non avevano una precisione sufficiente e impedivano quindi in molti casi l'allineamento automatico.

Per elaborare tridimensionalmente, ad esempio, una sezione del muro che sostiene il quadrante sud-est dell'anfiteatro, è stata usata una serie di trenta fotografie acquisite dallo Spark in un rilievo svolto nel febbraio del 2019. I riferimenti di latitudine, longitudine e altitudine acquisiti dal drone e associati ad ogni fotografia non erano corretti e questo provocava rilevanti problemi di allineamento. È stato quindi necessario, in questo caso, eliminare il riferimento ai metadati posizionali per ottenere un allineamento valido, da integrarsi poi con un posizionamento sufficientemente corretto rispetto alle altre componenti del modello unitario.

A causa dei problemi riscontrati, nella creazione dei *chunk* relativi alle varie sezioni del manufatto era inevitabile il dover raggruppare, e poi allineare, solo immagini acquisite in origine dallo stesso drone. Seguendo questo approccio, sono stati definiti sei diversi gruppi di immagini per ricostruire altrettante aree dell'anfiteatro che, almeno in parte, risultassero collegabili tra loro (Fig. 2).



Fonte: dati GREAL, elaborazione dell'autrice.

Fig. 2 - Alcune sezioni ricostruite separatamente prima del collegamento

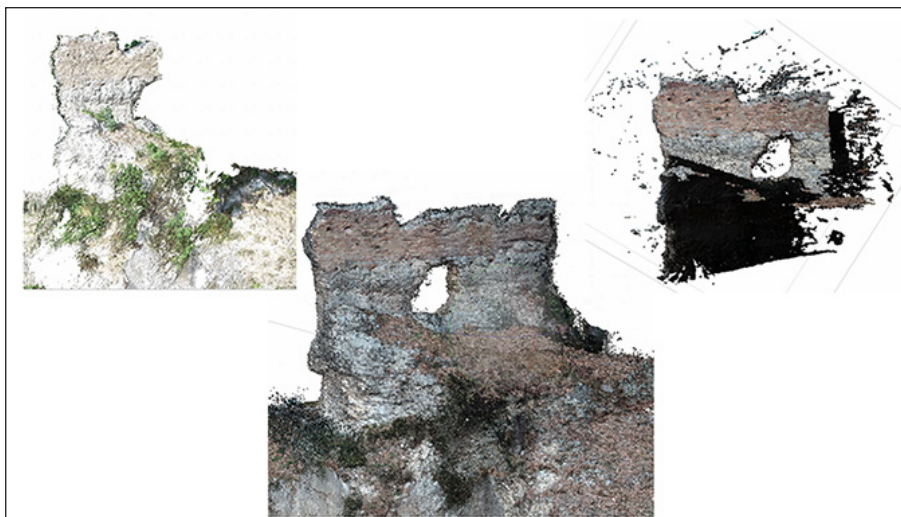
Il procedimento seguito per la ricostruzione ha preso avvio da un primo *chunk*, composto da 500 scatti acquisiti dal Phantom nel settembre del 2020 e riferiti all'intera area, pur con vuoti e ammanchi. L'obiettivo di questa ricostruzione parziale consisteva nel tentare di ottenere un'area il più possibile ampia e correttamente geolocalizzata che fungesse da base di partenza per i passi successivi. Purtroppo, la vegetazione rigogliosa che occupava ampie parti della zona in quel periodo dell'anno generava problemi; si è dovuto quindi provvedere ad una "pulitura" della nuvola di punti nelle zone in cui la vegetazione rendeva impossibile comporre il modello. È stato poi necessario cercare, fra i dati d'archivio, altre immagini che rappresentassero le sezioni mancanti per ricostruirle separatamente, con l'obiettivo di unirle poi al modello complessivo.

Una sezione particolarmente difficile da ricostruire, e quindi esemplificativa dell'intero processo di lavoro, è stata quella del muro nella parte settentrionale dell'anfiteatro. L'elemento era in larga misura coperto da vegetazione nel settembre del 2020, e per giunta era stato inquadrato in un ridotto numero di foto scattate dal drone Phantom. Ciò rendeva quindi possibile ricostruire solo una piccola porzione della struttura. È stato così necessario utilizzare immagini precedenti, ricavate da voli effettuati con lo Spark nell'inverno del 2019. Individuando 111 foto di archivio, si è riusciti a realizzare la parte di muro che risultava mancante nel rilievo 2020. Il passo successivo, arduo, è consistito nell'allineare ed unire i due modelli parziali.

Si è tentato, come prima strada, l'utilizzo dell'allineamento automatico previsto dal software che si basa sulla ricerca di punti in comune tra le nuvole sparse di *chunk* diversi (Agisoft LLC, 2021, pp. 131-132). Tale procedimento non restituiva però alcun risultato. Un secondo tentativo è stato quello di optare per un allineamento, anch'esso previsto da Agisoft Metashape, tramite *markers*, ossia punti di riferimento che l'utilizzatore può indicare al software e che risultano comuni alle zone da collegare. Per questo motivo è stato necessario creare manualmente *markers* su entrambi i gruppi di fotografie, scegliendo punti comuni ben identificabili (*ibid.*, pp. 78-79).

Limitandosi però ad allineare i due *chunk* sulla base dei *markers*, il modello risultava male orientato rispetto alla posizione dell'anfiteatro. Si è provato quindi a mantenere le corrette informazioni di posizione delle fotografie del drone Phantom, andando invece ad eliminare quelle meno affidabili che erano state acquisite dallo Spark. In ogni caso l'allineamento avveniva ma il modello restava male orientato. Dopo una serie di tentativi infruttuosi, il metodo efficace si è dimostrato quello di mantenere le coordinate (corrette) associate alle fotografie acquisite dal Phantom, e di ignorare quelle delle immagini dello Spark, procedendo poi all'inserimento manuale dei valori di latitudine, longitudine e altitudine ai punti di controllo riportati su queste, come estrapolati dall'elaborazione delle foto del Phantom (*ibid.*, p. 81). Tale processo si è dimostrato valido, l'orientamento è risultato infatti corretto (Fig. 3).

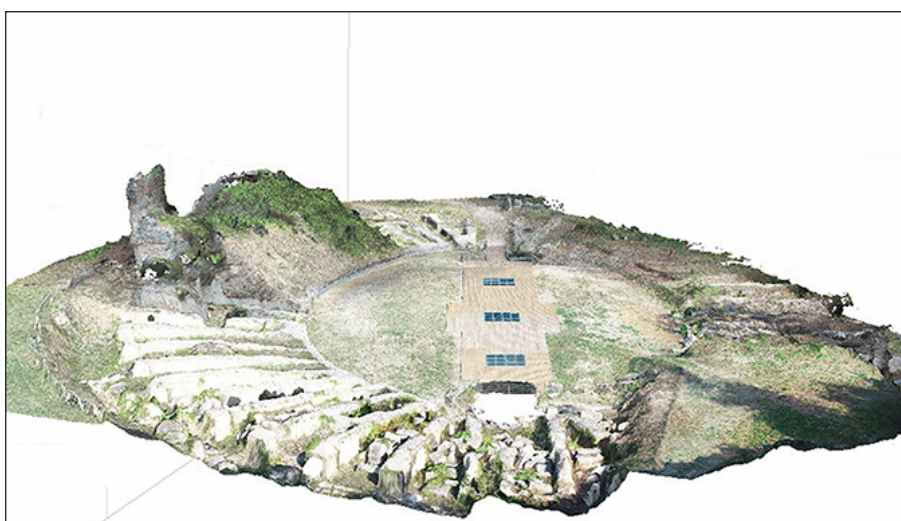
Ognuno dei casi di ricostruzione parziale presentava criticità diverse a seconda della quantità e qualità di immagini disponibili, della precisione, della correttezza o meno dei metadati posizionali e del momento in cui le fotografie erano state acquisite. Questo ha comportato, in ogni *step* del processo, la necessità di valutare se affidarsi o meno ai settaggi di default, derivati dalle informazioni acquisite dai droni. Si è trattato quindi, in pratica, di "negoziare" con il software i casi in cui utilizzare o meno le informazioni a disposizione, in modo completo o selettivo, per arrivare ad un'elaborazione unitaria dell'intero anfiteatro.



Fonte: dati GREAL – elaborazione dell'autrice.

Fig. 3 - Ricostruzione del muro settentrionale (al centro) a partire da nuvole di punti ricavate da diversi gruppi di foto. A sinistra, Phantom (2020), a destra Spark (2019)

Procedendo in questo modo si è giunti ad una prima rappresentazione quasi integrale del manufatto storico, che si potrà ulteriormente migliorare grazie alla grande quantità di immagini archiviate (Fig. 4).



Fonte: dati GREAL, elaborazione dell'autrice.

Fig. 4 - Primo risultato di rappresentazione integrale del manufatto

5. OUTPUT E POSSIBILI IMPIEGHI. – Come sopra descritto, è stato possibile partire da dati già utilizzati per scopi diversi, per arrivare *ex post* a produrre nuove forme di documentazione. Con metodi analoghi si possono recuperare vecchi dati e proporre rappresentazioni che in origine non erano state previste.

Una ricostruzione di questo tipo, inevitabilmente, può presentare controindicazioni d'uso in campo di ricerca archeologica o architettonica, dato che sussistono possibilità di errori o incoerenze nella cronologia delle varie fasi. L'integrazione manuale dei dati, inoltre, potrebbe aumentare il rischio di introdurre inesattezze. Tuttavia, è possibile validamente raggiungere in ogni caso un modello digitale da mettere a servizio di scopi diversi e/o complementari. In questo caso si è riusciti a creare un prodotto che può essere funzionale a forme di divulgazione e *story-telling*.

La versione digitale del manufatto potrà essere impiegata ad esempio per produrre materiale informativo web, come possono essere modelli interattivi navigabili e interrogabili online; oppure per la creazione

di esperienze virtuali immersive; oppure, infine, per realizzare un modello fisico a scopi di didattica e narrazione inclusiva nei confronti di persone cieche o ipovedenti. L'efficacia di questa ultima tipologia di soluzione è dimostrata da numerosi progetti già avviati quali 3DPhotowork (La Stampa, 2019) e Unseenart (Waldman, 2015) e da mostre come *Lo sguardo del buio. Il Cieco d'Adria e il Tintoretto* tenutasi presso il Museo Archeologico Nazionale di Adria (Ministero della Cultura, 2020).

L'esperienza svolta ha prodotto, a opinione del gruppo di lavoro, alcuni risultati utili. Da una parte, le diverse documentazioni parziali (2017-2020) hanno consentito la raccolta dati e l'integrazione informativa di utilità archeologica; dall'altra il modello unitario (2022), realizzato mediante il lavoro riassunto in queste pagine, rivela un notevole potenziale ai fini della divulgazione e del racconto dei luoghi in senso geostorico.

Entrambi gli aspetti possono far riflettere sul pregio delle nuove tecnologie, se razionalmente ed efficientemente impiegate, ai fini della conoscenza e della valorizzazione dei nostri *landmark*.

BIBLIOGRAFIA

- Agisoft LLC (2021). *Agisoft Metashape User Manual. Professional Edition, Version 1.7*.
- Alvino G., a cura di (2000). *Trebula Mutuesca. Nuove luci nell'oblio*. Ministero per i Beni e le attività Culturali, Soprintendenza Archeologica per il Lazio.
- Casagrande G., Ruggeri F., Pesaresi C. (2019). Una "Story Map" integrata per la valorizzazione delle torri costiere del Lazio. *Ambiente Società e Territorio*, 1-2: 11-16.
- Casagrande G., Sik A., Szabó G. (2018). *Small Flying Drones: Applications for Geographic Observation*. Cham: Springer.
- Colomina I., Molina P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92: 79-97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- EASA (2019a). Regolamento delegato (UE) 2019/945 della Commissione del 12 marzo 2019 relativo ai sistemi aeromobili senza equipaggio e agli operatori di paesi terzi di sistemi aeromobili senza equipaggio. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* 11 giugno 2019, L 152/1-40.
- Id. (2019b). Regolamento di Esecuzione (UE) 2019/974 della Commissione del 24 maggio 2019 relativo a norme e procedure per l'esercizio di aeromobili senza equipaggio. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* 11 giugno 2019, L 152/45-71.
- Elkhrachy I. (2021). Accuracy assessment of low-cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, 60: 5579-5590. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.011> 1110-0168
- ENAC (2013). *Regolamento mezzi aerei a pilotaggio remoto*. Edizione n. 1 del 16.12.2013.
- Ferri A. (1985). Monteleone. La chiesa di Santa Vittoria. In: Righetti Tosti-Croce M., a cura di, *La Sabina Medievale*. Milano: Amilcare Pizzi Editore.
- Gašparović M., Seletković A., Berta A., Balenović I. (2017). The evaluation of photogrammetry-based DSM from low-cost UAV by LiDAR-based DSM. *South-east Eur for*, 8(2): 117-125.
- Germen M. (2016). Alternative cityscape visualisation: Drone shooting as a new dimension in urban photography. In: *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2016)*, London, 12-14 July 2016, pp. 150-157. DOI: 10.14236/ewic/EVA2016.31
- Humar M. (2019). Riscoperta della Sabina dimenticata: Trebula Mutuesca e il suo Anfiteatro. *Vespertilia*, XVI(5): 98-119.
- Jácamo E., Novara M. (2020). Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de modelos digitales de superficies de alta resolución. Aportes metodológicos sobre las distintas alturas de vuelo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 12(17): 1-18.
- Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E. (2019). UAV for mapping historic buildings: From 3d modelling to BIM. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W9. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019
- La Stampa (2019). Una Gioconda da toccare: così può godere dell'arte anche chi non può vederla. *La Stampa*, 30 agosto. Testo disponibile al sito: https://www.lastampa.it/cultura/2019/08/30/video/una_gioconda_da_toccare_cosi_puo_godere_dell_arte_anche_chi_non_puo_vederla-115136 (consultato il 28 novembre 2022).
- Laporte-Fauret Q., Marieu V., Castelle B., Michalet R., Bujan S., Rosebery D. (2019). Low-cost UAV for high-resolution and large-scale coastal dune change monitoring using photogrammetry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3): 63. <https://doi.org/10.3390/jmse7030063>
- Mayer y Olivé M. (2009). La società romana di Trebula Mutuesca, Monteleone Sabino: alcune particolarità. In: Monaco D., Tomassetti V., Tomassetti R., Capitani G., a cura di, *Monteleone Sabino già Trebula Mutuesca. Storia di un'antica città, di un borgo, di una santa*. Terni: Edizioni DEUI.
- Ministero della Cultura (2020). *Lo sguardo del buio. Il Cieco d'Adria e il Tintoretto*. 14 aprile 2020. Testo disponibile al sito: <https://www.beniculturali.it/evento/lo-sguardo-del-buio-il-cieco-d-adria-e-il-tintoretto> (consultato il 28 novembre 2022).
- 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 J., Davies R., Remondino F., Caffo R., a cura di, *Progress in Cultural Heritage Preservation*. EuroMed 2012. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7616. Heidelberg-Berlin: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-34234-9_5
- Szabó G., Bertalan L., Barkóczy N., Kovács Z., Burai P., Lénárt C. (2018). Zooming on aerial survey. In: Casagrande, Sik e Szabó (2018).
- Waldman J. (2015). Unseen art: 3D printing classical paintings for the blind. *Colossal*, 25 novembre. Testo disponibile al sito: <https://www.thisiscolossal.com/2015/11/unseen-art-3d-printing-classical-paintings-for-the-blind> (consultato il 28 novembre 2022).

RIASSUNTO: Fra il 2017 e il 2020 il laboratorio GREAL dell'Università Europea di Roma è stato impegnato nello svolgimento di una serie di documentazioni dell'anfiteatro romano di Trebula Mutuesca (Monteleone Sabino), effettuando ripetute osservazioni UAS-based del manufatto storico (sec. II d.C.) e del suo contesto. Tali osservazioni sono state condotte con l'uso di diversi piccoli droni a basso costo; i dati acquisiti hanno consentito la composizione di dataset omologhi ma eterogenei. Essi sono stati utilizzati più tardi per produrre una rappresentazione integrata e coordinata al di là del progetto iniziale di rendering parziali. Questo lavoro presenta una sintesi dell'attività svolta, con riflessioni metodologiche che potrebbero risultare utili in futuri casi analoghi.

SUMMARY: *Observations of a geo-historical site through archival UAS images: the case of the Trebula Mutuesca Amphitheatre.* From 2017 to 2020, the Geographic Research and Application Laboratory (GREAL) of the European University of Rome was involved in a series of documentations of the 2nd-century A.D.-Roman amphitheatre at Trebula Mutuesca (Monteleone Sabino). Repeated UAS-based observations of the historical place and of its context were conducted. Different small and low-cost drones were used for data collection; acquired data were gathered in homologous but heterogeneous datasets. These materials were later used to compose an integrated and coordinated representation beyond the initial plans of partial renderings. This work presents a summary of the activity, with methodological remarks that could prove useful in future, similar cases.

Parole chiave: piccoli-UAS, image-based-modelling, Trebula Mutuesca, [virtualizzazione]

Keywords: small-UAS, image-based-modelling, Trebula Mutuesca, [virtualization]

*Geographic Research and Application Laboratory, Università Europea di Roma; roberta.rodelli@unier.it