Archeologia e Calcolatori
Supplemento 15, 2026, 233-248
doi 10.19282/ACS.15.2026.16

VISIBILITÀ ARCHEOLOGICA DELLE NECROPOLI ETRUSCO-ROMANE DI ROSELLE NEL DATO LIDAR: RISULTATI PRELIMINARI DI UN'ANALISI INTEGRATA

1. Introduzione

L'introduzione del LiDAR (Light Detection and Ranging) ha aperto nuove prospettive nello studio delle micro-forme di natura antropica (evidenze archeologiche superficiali caratterizzate da minime variazioni altimetriche) e naturale (microrilievo, ovvero forme con isoipse a 1 m), superando molti dei limiti delle metodologie tradizionali e in particolare della fotointerpretazione aerea (Bewley 2005; Opitz, Cowley 2013; Opitz 2016). Se in contesti dell'Europa centro-settentrionale e in ambienti forestali extraeuropei il LiDAR è ormai pienamente integrato nell'archeologia del paesaggio, nel Mediterraneo la sua applicazione è stata più lenta e disomogenea, principalmente a causa della complessità ambientale e geomorfologica (Knodell 2025; Vinci *et al.* 2025). La persistenza della vegetazione sclerofilla, il sottobosco denso e la frequente sottigliezza delle micro-forme antropiche rendono infatti l'archeologia "under-canopy" mediterranea un ambito particolarmente critico (Doneus *et al.* 2015, 2022). In questo quadro, la qualità del dato LiDAR risulta determinante, intesa non solo come densità di campionamento, ma anche come esito di scelte integrate relative a sensori, piattaforme, parametri di acquisizione e di controllo archeologico del processo (Opitz, Cowley 2013). Le prime esperienze mediterranee, basate su acquisizioni a bassa densità, hanno spesso restituito risultati limitati alla rilevazione di macro-forme (Fontana 2022). Al contrario, recenti acquisizioni ad alta e altissima risoluzione, in particolare mediante UAV (Unmanned Aerial Vehicle), hanno dimostrato una maggiore efficacia nell'individuazione di evidenze antropiche anche di piccole dimensioni (Mazzacca *et al.* 2022; Cirigliano *et al.* 2025).

Tuttavia, l'aumento della risoluzione del dato non elimina le criticità interpretative. Il DTM (Digital Terrain Model) restituito dal LiDAR rappresenta una superficie complessa, risultato dell'interazione tra processi antropici, naturali e post-deposizionali, e richiede quindi un approccio critico e multidisciplinare per evitare letture esclusivamente archeologiche del microrilievo (Opitz 2016; Campana 2018).

In questo contesto si colloca il caso di studio di Roselle e del suo territorio circostante (*Ager Rusellanus*), oggetto di recenti acquisizioni LiDAR ad altissima risoluzione che hanno profondamente modificato il quadro conoscitivo precedente (Campana 2017, 2023). Più che nel mero incremento

quantitativo delle evidenze identificate, il valore di questa esperienza va ricercato nell'opportunità di leggere il paesaggio archeologico come risultato dell'interazione fra forme antropiche e processi geomorfologici. A tal fine, all'analisi dei dati LiDAR si affiancano ricognizioni geomorfologiche condotte sia sul terreno sia attraverso osservazioni da remoto, finalizzate a verificare e contestualizzare le evidenze morfologiche individuate nei modelli digitali del terreno. Il contributo propone dunque una lettura preliminare integrata, di matrice archeologica e geomorfologica, dei dati LiDAR, ribadendo la necessità di un approccio multidisciplinare quale condizione imprescindibile per un uso efficace di questa tipologia di dati finalizzata all'interpretazione del paesaggio mediterraneo (Remondino, Campana 2014).

2. Area di studio

2.1 *Il sito archeologico di Roselle*

Il sito archeologico di Roselle (antica *Rusellae*) è ubicato nella Toscana meridionale, a N dell'attuale città di Grosseto, su un rilievo collinare che domina la piana alluvionale del fiume Ombrone (Fig. 1). Tale collocazione topografica ha rivestito un ruolo determinante nello sviluppo storico e urbanistico dell'insediamento, garantendo il controllo territoriale e l'accesso alle principali risorse ambientali della Maremma (Citter 1996). Le evidenze archeologiche attestano una frequentazione del sito già in età protostorica, con un significativo sviluppo urbano in epoca etrusca, tra il VII e il III sec. a.C., periodo in cui Roselle si affermò come uno dei principali centri dell'Etruria meridionale. Di particolare rilevanza sono le imponenti mura difensive in opera poligonale, che definiscono il perimetro urbano e rappresentano una delle testimonianze meglio conservate dell'architettura militare etrusca (Poggesi, Cygielman 2012).

A seguito della conquista romana nel 294 a.C., la città fu progressivamente riorganizzata secondo modelli urbanistici romani, con la realizzazione di edifici pubblici monumentali, quali il foro, l'anfiteatro, le terme e le infrastrutture idriche (Citter 1996). Parallelamente, l'*Ager Rusellanus* viene riorganizzato attraverso la diffusione di fattorie, *villae* e infrastrutture produttive, adattate alle condizioni geomorfologiche e idrologiche locali. Il *Lacus Prilis*, antico bacino lagunare costiero localizzato nell'odierna piana grossetana e progressivamente interratosi tra età romana e medievale, continua a svolgere un ruolo economico rilevante, influenzando la distribuzione delle attività e degli insediamenti almeno fino al III sec. d.C. (Nicosia, Poggesi 1998; De Benetti, Catalli 2013; Celuzza 2015).

A partire dall'età tardoantica, Roselle conobbe una fase di progressivo declino, riconducibile a una combinazione di fattori ambientali, economici e politico-amministrativi, tra cui l'impaludamento delle aree di pianura e la

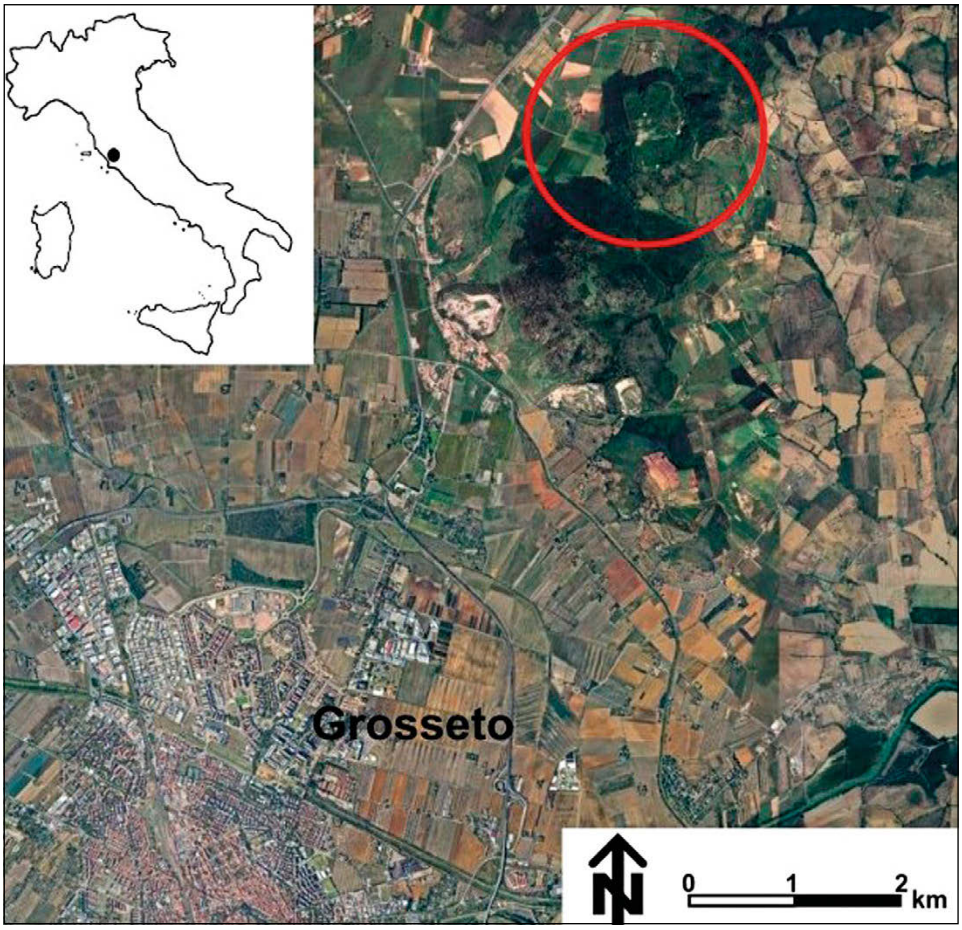


Fig. 1 – Localizzazione dell'area di studio, sito archeologico di Roselle (GR).

perdita di centralità delle reti viarie (Citter 1996). In città si registra una contrazione delle aree abitate e il riuso di edifici pubblici, mentre l'istituzione della sede vescovile nel V sec. d.C. segnala una riorganizzazione funzionale più che un abbandono immediato (Ronzani 1996; Celuzza 2021). Tra alto medioevo e pieno medioevo il ruolo urbano di Roselle si riduce ulteriormente, mentre il controllo del territorio passa progressivamente a nuovi poli e a strutture ecclesiastiche. Lo spostamento del baricentro insediativo verso la pianura favorisce l'emergere di Grosseto come centro principale, sancendo il definitivo ridimensionamento di Roselle nel quadro regionale (Ceccarelli Lemut 1994; Farinelli 2000).

2.2 *Contesto geologico e geomorfologico*

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, il rilievo su cui insiste il sito archeologico presenta forme strutturali nette, con versanti localmente acclivi e superfici sommitali relativamente sub-pianeggianti, direttamente controllate dal diverso comportamento meccanico delle litologie affioranti. Queste ultime sono costituite prevalentemente da successioni riferibili alle Unità Toscane non metamorfiche (AA.VV. 2013). Il principale litotipo affiorante è rappresentato dal Calcare Massiccio (MAS; Censini, Costantini 2002; AA.VV. 2013), costituito da calcari dolomitici massivi.

In estensione minore, in particolare lungo i versanti settentrionali del rilievo, affiorano le formazioni dei Calcari a *Rhaetavicula contorta* (RET; AA.VV. 2013; Fazzuoli *et al*. 2020) e dei Marmi (MAA; AA.VV. 2013). I Calcari a *Rhaetavicula contorta* sono costituiti da calcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni marnose, cui seguono livelli di calcilutiti nere alternate a marne grigio scure, spesso caratterizzate da una patina di alterazione giallastra. La formazione dei Marmi è invece caratterizzata da litotipi marmorei di colore bianco, grigio, avorio e giallo, con sottili livelli di marmi a muscovite e, più raramente, intercalazioni di calcescisti grigio-verdastri.

3. Metodologia

3.1 *Acquisizione e processing dei dati LiDAR*

Nei contesti forestali mediterranei, la fase di acquisizione dei dati LiDAR riveste un ruolo determinante nella costruzione del quadro conoscitivo, poiché condiziona direttamente la qualità, la leggibilità e l'interpretabilità dei modelli digitali derivati (Bewley 2005; Opitz, Cowley 2013; Opitz 2016). Per affrontare in modo efficace un'area estesa e complessa come il territorio di Roselle, caratterizzato da copertura vegetazionale persistente e micro-forme archeologiche, l'acquisizione è stata progettata specificamente per l'archeologia under-canopy. Il rilievo LiDAR è stato effettuato nel 2021 su una superficie continua di ca. 550 ettari, mediante piattaforma UAV, durante la stagione invernale, al fine di ridurre l'interferenza della biomassa fogliare e aumentare la probabilità di intercettazione del suolo (Fig. 2). Le missioni di volo sono state condotte mantenendo parametri costanti di quota (ca. 60 m dal suolo) e velocità, utilizzando un sensore RIEGL miniVUX-3. L'acquisizione ha prodotto una nuvola di punti di oltre 2,7 miliardi di osservazioni, con una densità media complessiva di ca. 750 punti/m², affiancata da oltre 20.000 immagini aeree. L'allineamento delle strisciate e la compensazione delle traiettorie sono stati eseguiti mediante procedure di strip adjustment basate sui dati inerziali, garantendo un'elevata omogeneità del dataset e un'accuratezza planimetrica e altimetrica dell'ordine di pochi centimetri.

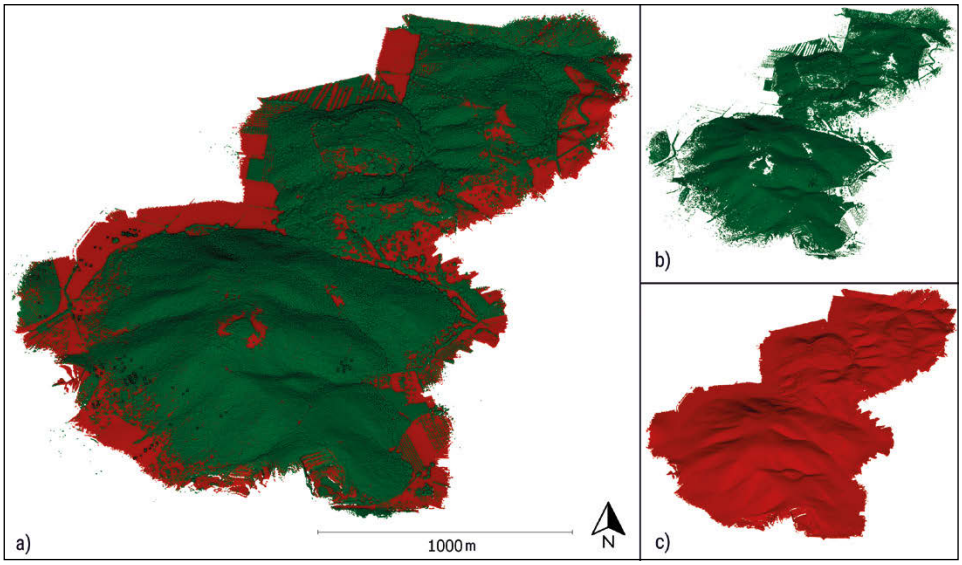


Fig. 2 – Risultati del primo livello di segmentazione: a) nuvola di punti segmentata in ground (in rosso) e non terra (in verde); b) nuvola di punti above ground; c) nuvola di punti ground (da Cirigliano *et al.* 2025).

Il processing dei dati è stato finalizzato principalmente alla produzione di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione, idonei all'analisi delle microforme del paesaggio. In continuità con precedenti sperimentazioni condotte nell'area rosellana (Mazzacca *et al.* 2022), è stata adottata una pipeline di segmentazione semantica multilivello, orientata in primo luogo alla separazione tra punti ground e non-ground. Questa scelta metodologica risponde all'esigenza di ottenere un DTM quanto più possibile pulito e continuo, evitando che la presenza di strutture archeologiche a basso rilievo e di vegetazione arbustiva generi rumore o distorsioni nella superficie interpolata. La classificazione è stata eseguita mediante tecniche di deep learning basate su architetture point-based (Zhao *et al.* 2021), addestrate su porzioni del dataset annotate manualmente in aree caratterizzate da una copertura vegetazionale analoga. Le informazioni geometriche sono state integrate con caratteristiche derivate dal sensore e descrittori calcolati a diverse scale spaziali, secondo approcci già consolidati in letteratura (Weinmann *et al.* 2015). Per gestire l'elevato volume dei dati e contenere i costi computazionali, la nuvola di punti è stata suddivisa in tile ed elaborata in modo incrementale, applicando un subsampling controllato nella fase iniziale di classificazione. I raster DTM sono stati generati a partire dai punti classificati come ground mediante interpolazione e successivamente importati in ambiente GIS per le analisi archeologiche.



Fig. 3 – DTM elaborato di Roselle. Le frecce evidenziano la localizzazione delle necropoli occidentale (freccia arancione) e meridionale (freccia verde) analizzate in questo studio.

In una fase successiva, i punti non-ground sono stati ulteriormente elaborati per la distinzione tra strutture antropiche e vegetazione, con l'obiettivo di produrre un Digital Feature Model (DFM), ovvero l'unione del ground e delle strutture in elevato precedentemente identificate come vegetazione (Fig. 3; Štular *et al.* 2021; Cirigliano *et al.* 2025). Come discusso in dettaglio in Cirigliano *et al.* (2025), la verifica sul terreno ha costituito una fase imprescindibile per la validazione delle evidenze individuate mediante l'analisi LiDAR ad alta densità nel comprensorio di Roselle. In contesti mediterranei caratterizzati da copertura forestale persistente e da una limitata visibilità archeologica, la relazione tra il dato telerilevato e il riscontro diretto sul campo assume infatti un ruolo centrale nel processo interpretativo, poiché l'assenza di materiali superficiali non può essere considerata un indicatore affidabile dell'assenza di strutture o di occupazione antropica. Le attività di ground verification sono state condotte in modo selettivo e mirato, concentrandosi sulle anomalie micro-topografiche individuate nei modelli digitali del terreno e interpretate come potenzialmente antropiche. Il lavoro sul campo è stato

supportato da un sistema GIS mobile, che ha consentito di trasferire direttamente in ambiente operativo le geometrie e le schede descrittive delle evidenze individuate in fase di analisi, facilitando la navigazione in ambiente boschivo e la registrazione standardizzata delle osservazioni. Il posizionamento delle evidenze è stato effettuato mediante GNSS RTK (Global Navigation Satellite System Real Time Kinematic) garantendo un'elevata precisione spaziale anche in condizioni di copertura vegetazionale densa.

I risultati della verifica hanno confermato la buona affidabilità complessiva delle interpretazioni basate sul DTM e DFM LiDAR, mostrando come una quota significativa delle anomalie identificate corrisponda effettivamente a strutture archeologiche o a micro-forme del terreno riconducibili ad attività antropiche. Il lavoro invece che qui si presenta è la relazione tra fattori geomorfologici e tracce archeologiche individuate.

3.2 *Rilevamento geomorfologico*

Il rilevamento geomorfologico è stato condotto sia da remoto, sia da rilevamento di campagna, utilizzando le tradizionali tecniche di osservazione e di cartografia e la loro restituzione in formato digitale (Fig. 4). Il rilevamento geomorfologico, a scala 1:10.000, sulla base delle CTR, è stato condotto attraverso cartografia e analisi delle forme, dei depositi e dei processi associati. Le forme del paesaggio sono state quindi classificate secondo l'agente



Fig. 4 – Operazioni di rilevamento geomorfologico nell'area della necropoli meridionale di Roselle.

morfogenetico responsabile del loro modellamento, l'attributo morfodinamico (stato d'attività), morfometrico (dimensioni) e morfocronologico (età). Tutte le osservazioni e le informazioni grezze ottenute hanno permesso di redigere una carta geomorfologica dell'area d'indagine in cui vengono riportate le morfologie riconosciute.

Il lavoro è stato condotto in ambiente GIS tramite il software ESRI ArcMAP 10.5, progettando un geodatabase dedicato, la cui struttura è stata elaborata sulla base delle linee guida proposte dalla Regione Toscana (2017) e in conformità alle linee guida del Servizio Geologico d'Italia per il rilevamento e la rappresentazione cartografica della Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 (ISPRA-APAT 1994).

4. Risultati

4.1 *Analisi geomorfologica*

Il rilievo di Roselle è caratterizzato da morfologie prevalentemente convesse e ondulate con versanti a pendenza moderata, generalmente compresa tra 10° e 25°, modellati da processi erosivi (ad es., ruscellamento concentrato) e gravitativi moderatamente accentuati. I versanti sono incisi prevalentemente da vallecole con profilo a V, in cui si imposta il reticolo idrografico minore, e più raramente con profilo ad U. Le dinamiche morfogenetiche attualmente attive includono fenomeni gravitativi diffusi, quali colamenti superficiali e processi di ruscellamento concentrato, frequentemente innescati da eventi pluviometrici di elevata intensità. Alla base dei versanti sono diffusamente presenti depositi colluviali e conoidi alluvionali a granulometria variabile, costituiti da ghiaie, sabbie e silt derivanti dal rimodellamento dei versanti e dal trasporto a carattere torrentizio (Fig. 5).

I depositi di versante e colluvi dell'area di Roselle si sviluppano lungo i pendii che delimitano il rilievo e i terrazzi naturali su cui insiste l'antico insediamento etrusco-romano, a quote comprese tra 40 e 100 m s.l.m., su pendenze moderate e forme concave poco espresse (Fig. 5). I conoidi alluvionali rappresentano morfologie di raccordo tra il sistema collinare e la pianura costiera grossetana e costituiscono elementi chiave nell'evoluzione geomorfologica tardo-quaternaria del bacino (Fig. 5). Tali forme si sono generate in seguito all'apporto sedimentario di corsi d'acqua a carattere torrentizio o regime intermittente, dando origine ad accumuli a geometria conica con pendenza decrescente dalle zone prossimali allo sbocco della valle verso i settori più distali nella pianura. Dal punto di vista sedimentologico, i conoidi sono caratterizzati da ghiaie e sabbie grossolane nelle porzioni apicali, con una progressiva diminuzione della tessitura verso valle, dove prevalgono sabbie fini e limi, in accordo con la diminuzione dell'energia di trasporto.

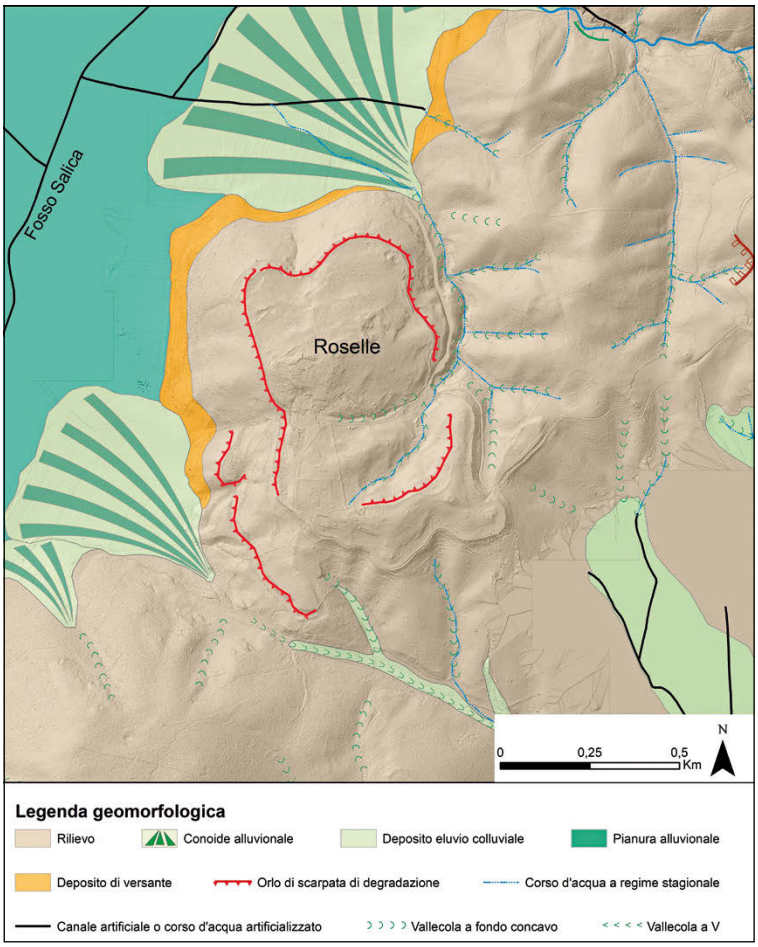


Fig. 5 – Carta geomorfologica del sito archeologico di Roselle.

4.2 *Analisi delle evidenze archeologiche*

L'individuazione e la mappatura della necropoli occidentale di Roselle mediante dati LiDAR ad altissima risoluzione hanno rappresentato uno dei risultati più significativi delle recenti ricerche condotte nel comprensorio rosellano. Come già presentato in Cirigliano *et al.* (2025), l'analisi dei DTM e DFM ha permesso di riconoscere un'area funeraria fino ad oggi sostanzialmente sconosciuta, composta da oltre cinquanta tombe distribuite su una superficie superiore a mezzo ettaro, completamente invisibili nelle fotografie aeree tradizionali a causa della densa copertura vegetazionale (Fig. 6).

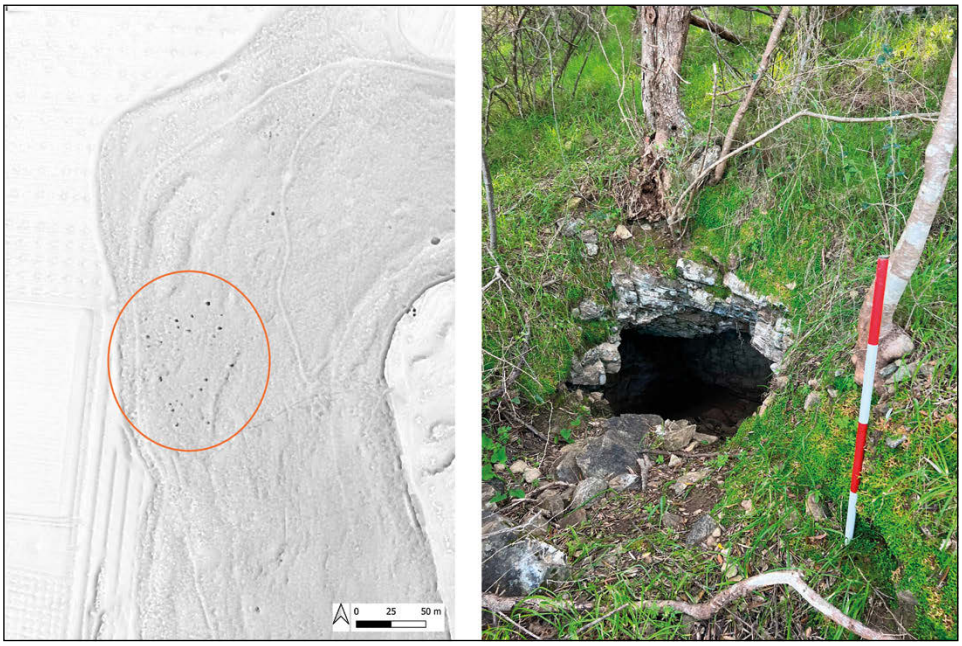


Fig. 6 – Roselle, necropoli occidentale. A sinistra: particolare del DTM di Roselle con evidenziata nel cerchio arancione la necropoli occidentale; a destra: esempio di tomba ipogea scavata direttamente nel substrato roccioso.

Le sepolture sono state identificate principalmente attraverso le anomalie negative del DTM, corrispondenti ai vuoti generati dagli ingressi delle camere ipogee, resi leggibili grazie a visualizzazioni dedicate del microrilievo. A partire da questo risultato, il confronto con un'altra area funeraria collocata nel settore meridionale della città ha aperto nuove prospettive interpretative sul rapporto tra architettura funeraria, contesto geomorfologico e visibilità archeologica nel dato LiDAR (Fig. 7). A differenza della necropoli occidentale, quella meridionale risulta infatti molto meno leggibile nei modelli digitali del terreno, nonostante la presenza di sepolture note e documentate.

Le differenze morfologiche e costruttive tra le due aree funerarie sono state verificate e confermate attraverso ricognizioni dirette sul terreno, che hanno permesso di osservare *in situ* le caratteristiche strutturali delle tombe ancora accessibili e di confrontarle con le anomalie individuate nei modelli digitali del terreno. Questa asimmetria di visibilità non può essere spiegata unicamente in termini di densità della vegetazione o di qualità del dato LiDAR, che risultano comparabili nei due settori, ma sembra piuttosto legata

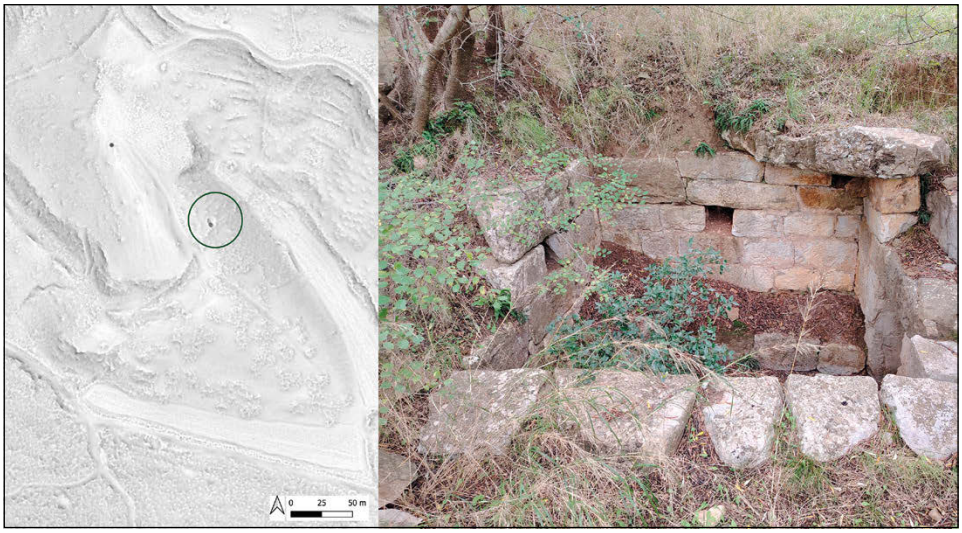


Fig. 7 – Roselle, necropoli meridionale. A sinistra: particolare del DTM di Roselle con evidenziata nel cerchio verde la necropoli meridionale; a destra: esempio di tomba ipogea realizzata tramite murature in blocchi squadrati.

a differenze strutturali e costruttive delle tombe, nonché alle caratteristiche litologiche e morfologiche del substrato.

La necropoli occidentale è costituita quasi esclusivamente da camere ipogee direttamente scavate nella roccia affiorante (Fig. 6). Questa modalità costruttiva produce cavità nette e durature, in grado di generare discontinuità topografiche stabili nel tempo, facilmente intercettabili dal LiDAR anche in presenza di copertura forestale. I vuoti degli ingressi, in particolare, determinano depressioni puntuali e ben definite nel DTM, che si distinguono chiaramente dalla topografia naturale del versante.

Al contrario, le evidenze funerarie del settore meridionale sembrano caratterizzate, per quanto è possibile ricostruire dalle strutture ancora visibili, da camere ipogee realizzate mediante murature in blocchi squadrati e successivamente ridefinite verso l'interno (Fig. 7). Questa tecnica implica un'interazione diversa con il substrato naturale e una maggiore dipendenza dalla conservazione delle strutture murarie stesse. Il crollo, il riempimento progressivo e i processi colluviali possono aver attenuato nel tempo le discontinuità micro-topografiche originarie, rendendo le tombe meno riconoscibili nei modelli del terreno. Il confronto tra le due necropoli suggerisce quindi che la visibilità archeologica nel dato LiDAR non dipenda esclusivamente dalla presenza o assenza di strutture, ma che probabilmente sia il risultato di una complessa interazione tra fattori antropici e naturali.

5. Discussione dei risultati

L'analisi geomorfologica del rilievo di Roselle fornisce un quadro fondamentale per la comprensione delle dinamiche insediative e funerarie di lunga durata, evidenziando come le scelte antropiche si siano innestate su un sistema morfologico complesso ma relativamente stabile. L'analisi integrata dei dati LiDAR ha consentito di cogliere in modo particolarmente efficace queste dinamiche, mettendo in evidenza come la risposta del segnale archeologico possa essere condizionata dal substrato e dai processi post-deposizionali.

La scelta delle aree funerarie appare strettamente legata alla morfologia locale e alla percezione del paesaggio. I lievi pianori di versante, spesso delimitati da scarpate dolci o da affioramenti rocciosi, offrono superfici stabili, ben drenate e visivamente dominanti, idonee all'impianto di necropoli monumentali. La relazione visiva tra città dei vivi e città dei morti, mediata dalla topografia, assume un valore simbolico oltre che funzionale. Le necropoli si collocano lungo assi di percorrenza naturali, ai margini delle principali vie di accesso all'abitato, sfruttando la morfologia per garantire visibilità e riconoscibilità nel paesaggio antico (D'Agostino 1985; Cerchiai 2018). Tale assetto a Roselle trova confronti significativi nei centri dell'Etruria meridionale. A Cerveteri, la necropoli della Banditaccia, posta su un pianoro immediatamente prospiciente l'abitato, stabilisce un rapporto diretto, visivo e simbolico con la città (Vagnarelli 2021); a Vulci le aree funerarie si dispongono lungo le direttrici viarie e fluviali, marcando gli accessi urbani (Moretti Sgubini 2012); a Veio, infine, le necropoli occupano posizioni strategiche sui versanti e lungo le vie di collegamento, rafforzando il carattere monumentale e liminale dello spazio funerario (Bartoloni *et al.* 1994).

In questo contesto, i versanti e i terrazzi naturali compresi tra 40 e 100 m s.l.m. sembrano essere delle superfici morfologicamente favorevoli sia all'occupazione stabile, sia in particolar modo all'impianto di aree funerarie. La presenza diffusa di colluvi e depositi di versante, attivi soprattutto lungo i versanti a debole e media pendenza, ha svolto un ruolo determinante nella ridefinizione del microrilievo, contribuendo alla conservazione o all'obliterazione delle strutture funerarie ipogee, in particolar modo laddove queste non siano direttamente scavate nel substrato roccioso affiorante. I conoidi alluvionali, quali elementi di raccordo tra il sistema collinare e la pianura grossetana, assumono inoltre un ruolo importante non solo nella ricostruzione paleoambientale, ma anche nella comprensione delle modalità di accesso, visibilità e uso rituale degli spazi funerari posti ai margini dell'area urbana.

Nel caso della necropoli occidentale, l'affioramento del substrato, scavato direttamente per ricavare le tombe, ha prodotto forme negative nette, con bordi regolari e geometrie coerenti, che si conservano nel tempo come vere e proprie "fossilizzazioni" topografiche. Queste discontinuità risultano

chiaramente distinguibili anche dopo secoli di esposizione, poiché i processi di alterazione superficiale agiscono in modo relativamente uniforme, senza colmare o deformare significativamente i vuoti artificiali.

La necropoli meridionale, al contrario, si inserisce in un contesto geomorfologico più dinamico, caratterizzato da coperture colluviali spesse e da una maggiore incidenza di processi di accumulo e ridistribuzione dei sedimenti. Le strutture funerarie, realizzate in parte con murature e in parte scavate in materiali meno competenti, risultano più sensibili al degrado meccanico e al riempimento progressivo. Il collasso delle coperture, la disgregazione dei paramenti murari e l'apporto continuo di sedimenti hanno contribuito a livellare il microrilievo, riducendo drasticamente il contrasto topografico necessario affinché il LiDAR possa intercettare le anomalie.

6. Conclusioni

Il confronto tra la necropoli occidentale e quella meridionale di Roselle rappresenta un caso di studio emblematico per valutare l'interazione tra geomorfologia, scelte costruttive e visibilità archeologica nel dato LiDAR. La straordinaria leggibilità della necropoli occidentale nei DTM e DFM ad altissima risoluzione appare strettamente connessa alla scelta di scavare le tombe direttamente nella roccia affiorante, generando discontinuità microtopografiche nette, stabili e scarsamente sensibili ai processi di rimodellamento superficiale. In questo settore, l'assetto geomorfologico funge da "amplificatore" della traccia antropica, consentendo al LiDAR di intercettare anomalie negative chiaramente distinguibili dalla naturale topografia di fondo.

Al contrario, la minore visibilità della necropoli meridionale nei modelli digitali del terreno, nonostante la documentata presenza di sepolture, suggerisce che i processi geomorfologici attivi abbiano avuto un impatto più significativo sulla conservazione delle evidenze. Le camere ipogee realizzate mediante murature in blocchi e successivamente scavate verso l'interno risultano maggiormente vulnerabili al collasso strutturale, al riempimento progressivo e ai fenomeni colluviali, che tendono a smussare o cancellare le discontinuità micro-topografiche originarie. In questo caso, i processi geomorfologici non solo non favoriscono la leggibilità del segnale archeologico, ma contribuiscono attivamente alla sua attenuazione nel tempo.

Questa differenza di comportamento evidenzia come la visibilità archeologica nei modelli digitali non possa essere interpretata in modo diretto o quantitativo senza una preliminare analisi geomorfologica. L'assenza o l'omogeneità del segnale non implica necessariamente una minore densità di strutture, ma può indicare una maggiore efficacia dei processi naturali di cancellazione o mascheramento. In tal senso, la geomorfologia agisce come un filtro selettivo della memoria archeologica, amplificando alcune tracce e

attenuandone altre, secondo logiche indipendenti dall'intenzionalità umana originaria. Lo studio qui presentato mostra bene come la multidisciplinarietà concretizzatasi con la stretta collaborazione tra diversi esperti arricchisce in maniera significativa la lettura critica dei risultati ottenuti ed evidenziati.

Davide Susini, Stefano Campana
Laboratory of Landscape Archaeology and Remote Sensing (LAP&T)
Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università degli Studi di Siena
davide.susini2@unisi.it, stefano.campana@unisi.it

Giuseppe Prospero Cirigliano
Scuola IMT, Alti Studi Lucca
giuseppe.cirigliano@imtlucca.it

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. 2013, *Legenda Unità Geologiche e Depositi Superficiali*, Banche dati cartografia geologica della Regione Toscana (https://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html).

Bartoloni G., Berardinetti A., Drago L., De Santis A. 1994, *Veio tra IX e VI secolo a.C.: Primi risultati sull'analisi comparata delle necropoli veienti*, «Archeologia Classica», 46, 1-46.

Bewley R.H. 2005, *Aerial archaeology: The first century*, in J. Bourgeois, M. Meganck (eds.), *Aerial Photography and Archaeology 2003*, «Archaeological Reports Ghent University», 4, 15-30.

Campana S. 2017, *Emptyscapes: Filling an "empty" Mediterranean landscape at Rusellae, Italy*, «Antiquity», 91, 359, 1223-1240 (https://doi.org/10.15184/aqy.2017.139).

Campana S. 2018, *Mapping the Archaeological Continuum. Filling "Empty" Mediterranean Landscapes*, Cham, Springer.

Campana S. 2023, *Infrastructures, water management, settlements, agricultural and funerary landscapes in the Ager Rusellanus in the longue durée: A work in progress*, in R. Rao, A. Sebastiani (eds.), *Archaeological Landscapes of Late Antique and Early Medieval Tuscia*, Brepols, Turnhout, 39-55 (https://doi.org/10.1484/M.MEDITO-EB.5.133992).

Ceccarelli Lemut M.L. 1994, *La Maremma tra tarda antichità e alto medioevo*, in R. Francovich, G. Noyé (eds.), *La storia dell'alto medioevo italiano (VI-X secolo)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 233-258.

Celuzza M. 2015, *Roselle romana e tardoantica*, in M. Celuzza (ed.), *Roselle. Storia e monumenti*, Arcidosso, Effigi, 85-112.

Celuzza M. 2021, *Roselle tra età romana e tarda antichità*, in A. Sebastiani, C. Megale (eds.), *Archaeological Landscapes of Roman Etruria. Research and Field Papers*, Brepols, Turnhout (https://doi.org/10.1484/M.MEDITO-EB.5.121516).

Censini G., Costantini A. 2002, *Il sottosuolo della pianura tra Grosseto e Ribolla: ipotesi sul suo assetto strutturale*, in *Le voragini catastrofiche. Un nuovo problema per la Toscana*, Firenze, Regione Toscana, 231-241.

Cerchiai L. 2018, *Società dei vivi, comunità dei morti: qualche anno dopo*, «Annali di Archeologia e Storia Antica», 25, 151-158.

Cirigliano G.P., Mazzacca G., Remondino F., Liverani P., Cantoro G., Maschner H., Campana S. 2025, *Drone-based high-resolution LiDAR for under-canopy archaeology in Mediterranean environments: The Rusellae case study (Italy)*, «Archaeological Prospection», 32, 3, e1980 (https://doi.org/10.1002/arp.1980).

Citter C. (ed.) 1996, *Grosseto, Roselle e il Prile. Note per la storia di una città e del territorio circostante*, Mantova, Società Archeologica Padana.

D'Agostino B. 1985, *Società dei vivi, comunità dei morti: un rapporto difficile*, «Dialoghi di Archeologia», 3, 1, 47-58.

De Benetti M., Catalli F. (eds.) 2013, *Roselle. Le monete dagli scavi archeologici (1957-1991) e dal territorio*, Arcidosso, Effigi.

Doneus M., Briese C., Fera M., Janner M. 2015, *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning*, «Journal of Archaeological Science», 51, 94-103 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.08.013).

Doneus M., Banaszek Ł., Verhoeven G.J. 2022, *The impact of vegetation on the visibility of archaeological features in airborne laser scanning datasets from different acquisition dates*, «Remote Sensing», 14, 4, 858 (https://doi.org/10.3390/rs14040858).

Farinelli R. 2000, *Grosseto e il suo territorio nel medioevo*, Arcidosso, Effigi.

Fazzuoli M., Fois E., Turi A. 2020, *Stratigrafia e sedimentologia dei Calcari e Marne a Rhaetavicula Contorta Auctt. (Norico-Retico) della Toscana nord-occidentale - Nuova suddivisione formazionale*, «Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia», 94, 4, 561-618 (https://doi.org/10.54103/2039-4942/13141).

Fontana G. 2022, *Italy's hidden hillforts: A large-scale LiDAR-based mapping of Samnium*, «Journal of Field Archaeology», 47, 4, 245-261.

Knodell A.R. 2025, *Archaeological LiDAR in Greece: A summary of recent work*, «Journal of Greek Archaeology», 10, 3-19.

Mazzacca G., Grilli E., Cirigliano G.P., Remondino F., Campana S. 2022, *Seeing among foliage with LiDAR and machine learning: Towards a transferable archaeological pipeline*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 46, 2/W1, 365-372.

Moretti Sgubini A.M. 2012, *Vulci*, in AA.VV. (eds.), *Bibliografia topografica della colonizzazione greca in Italia e nelle isole tirreniche*, 21, 1 (siti: Torre Castelluccia – Zambrone), 1082-1154 (https://www.persee.fr/doc/btcgi_0000-0009_2012_num_21_1_4783).

Nicosia M., Poggesi R. (eds.) 1998, *Roselle*, Siena, Nuova Immagine Editrice.

Opitz R.S. 2016, *An overview of airborne and terrestrial laser scanning in archaeology*, in S. Campana, R. Scopigno (eds.), *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology*, Cham, Springer, 13-31.

Opitz R.S., Cowley D.C. 2013, *Interpreting archaeological topography: Lasers, 3D data, observation, visualisation and applications*, in R.S. Opitz, D.C. Cowley (eds.), *Interpreting Archaeological Topography*, Oxford, Oxbow Books, 1-12.

Poggesi G., Cygielman M. 2012, *Le mura di Roselle fra città e territorio: porte e strade*, «Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana», 8, Suppl. 1, 143-147.

Remondino F., Campana S. (eds.) 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, Oxford, Archaeopress.

Ronzani M. 1996, *Le diocesi toscane tra tarda antichità e alto medioevo*, Pisa, ETS.

Štular B., Lozić E., Eichert S. 2021, *Airborne LiDAR-derived digital elevation model for archaeology*, «Remote Sensing», 13, 9, 1855 (https://doi.org/10.3390/rs13091855).

Vagnarelli T. 2021, *Paesaggi antichi e interpretazioni moderne: le due identità della necropoli della Banditaccia a Cerveteri*, in C. Devoti, M. Neretto (eds.), *Archivi e cantieri per interpretare il patrimonio: fonti, metodi, prospettive/Archives et chantiers pour l'interprétation du patrimoine: sources, méthodes, mise en perspective*, «Heredium», 2, 229-233.

Vinci G., Vanzani F., Fontana A., Campana S. 2025, *LiDAR applications in archaeology: A systematic review*, «Archaeological Prospection», 32, 1, 81-101.

Weinmann M., Jutzi B., Hinz S., Mallet C. 2015, *Semantic point cloud interpretation based on optimal neighborhoods, relevant features and efficient classifiers*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 105, 286-304.

Zhao H., Jiang L., Jia J., Torr P.H.S., Koltun V. 2021, *Point Transformer*, in *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (Montreal 2021)*, 16259-16268 (https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.01595).

ABSTRACT

The application of high-resolution drone LiDAR reveals new potential to detect and interpret subtle archaeological features in Mediterranean forested landscapes, where dense vegetation and low-relief topography strongly limit traditional survey methods. This paper presents preliminary results from an integrated archaeological and geomorphological analysis of drone-derived LiDAR data over the urban landscape of Roselle and its environs (southern Tuscany). Using high-resolution digital terrain models (DTMs) and digital feature models (DFMs), supported by targeted ground verification and geomorphological mapping, we identified and mapped a previously unknown western necropolis comprising more than 50 round barrows, features that were entirely invisible in conventional aerial imagery. By contrast, a known southern necropolis shows markedly lower visibility in the LiDAR data despite comparable data quality and vegetation cover. Comparison of these two funerary areas demonstrates that funerary architecture, substrate lithology, and geomorphological processes interact to govern archaeological visibility. Round barrows cut directly into outcropping bedrock produce stable, long-lived microtopographic anomalies, whereas masonry tombs affected by colluvial processes tend to be progressively obscured and smoothed. These results underscore the necessity of integrating geomorphological analysis into LiDAR-based archaeological interpretation and highlight geomorphology as a key control on the long-term preservation and detectability of funerary landscapes in Mediterranean settings.