

# 20 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Ornella ZERLENGA, Vincenzo CIRILLO (Eds.)





DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN  
Vol. XX



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN  
Vol. XX

Editors  
Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo  
Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*



Series *Defensive Architecture of the Mediterranean*

General editor: Pablo Rodriguez-Navarro

The papers published in this volume have been peer-reviewed by the Scientific Committee of FORTMED2025\_Caserta

© editors: Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo

© editorial team: Alessandro Antonini, Margherita Cicala, Rosa De Caro, Angelo De Cicco, Felicia Di Girolamo, Carlo Di Rienzo, Monica Esposito, Raffaella Fiorillo, Francesca Gasparetto, Gianluca Gioioso, Fabiana Guerriero, Rosina Iaderosa, Gennaro Pio Lento, Daniele Lucariello, Luca Mangiacapre, Riccardo Miele, Mario Sansone, Adriana Trematerra, Veronica Tronconi

© cover picture: Rosina Iaderosa, Domenico Iovane (photo by drone)

© papers: the authors

© publishers: DADI\_PRESS (Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*), edUPV (Universitat Politècnica de València)

© Copyright 2025 DADI\_PRESS

Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania *Luigi Vanvitelli*

ISBN: 978-88-85556-39-3 (four-volume collection)

ISBN: 978-88-85556-37-9 (vol. 20)

© Copyright edUPV (Universitat Politècnica de València) 2025

ISBN: 978-84-1396-335-8 (four-volume collection)

ISBN: 978-84-1396-333-4 (vol. 20)

edUPV Ref. 6829\_01\_01\_01

DOI: <https://doi.org/10.4995/Fortmed2025.2025.20442>

ISSN: 2792-5633 (Series *Defensive Architecture of the Mediterranean*)

PROCEEDINGS of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2025  
Caserta, 10, 11 and 12 April 2025

CC BY-NC-SA 4.0

Legal Code: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.en>



## Organization and committees

### Organizing Committee

#### Chairs:

Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Vincenzo Cirillo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

#### Scientific Secretary:

Luigi Corniello (coordinator), Margherita Cicala, Rosina Iaderosa, Domenico Iovane, Alice Palmieri  
Università della Campania *Luigi Vanvitelli*

#### Topic Chairs:

Danila Jacazzi. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Giuseppe Pignatelli Spinazzola. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Raffaella Aversa. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Vincenzo Cirillo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Fabiana Forte. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

Manuela Piscitelli. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*

### Scientific Committee

Almagro Gorbea, Antonio. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Spain

Barrera Vera, José Antonio. Universidad de Sevilla. Spain

Bertocci, Stefano. Università degli Studi di Firenze. Italy

Bevilacqua, Marco Giorgio. Università di Pisa. Italy

Bragard, Philippe. Université Catholique de Louvain. Belgium

Bouزيد, Boutheina. École Nationale d'Architecture. Tunisia

Bru Castro, Miguel Ángel. Instituto de Estudios de las Fortificaciones – AEAC. Spain

Cámara Muñoz, Alicia. UNED. Spain

Camiz, Alessandro. Özyeğin University. Turkey

Campos, João. Centro de Estudos de Arquitectura Militar de Almeida. Portugal

Castro Barba, Angelo. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain

Cherradi, Faïssal. Ministère de la Culture du Royaume du Maroc. Morocco

Cirafici, Alessandra. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy

Cirillo, Vincenzo. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy

Cobos Guerra, Fernando. Arquitecto. Spain

Columbu, Stefano. Università di Cagliari. Italy

Coppola, Giovanni. Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli. Italy

Córdoba de la Llave, Ricardo. Universidad de Córdoba. Spain

Cornell, Per. University of Gothenburg. Sweden

Corniello Luigi, University of Campania *Luigi Vanvitelli*, Italy

Daci, Entela. Universiteti Politeknik i Tiranës

Dameri, Annalisa. Politecnico di Torino. Italy

Eppich, Rand. Universidad Politécnica de Madrid. Spain

Fairchild Ruggles, Dorothy. University of Illinois at Urbana-Champaign. USA

Fatta, Francesca. Università Mediterranea di Reggio Calabria. Italy

Faucherre, Nicolas. Aix-Marseille Université – CNRS. France

García Porras, Alberto. Universidad de Granada. Spain

García-Pulido, Luis José. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain

Georgopoulos, Andreas. Nat. Tec. University of Athens. Greece  
 Gil Crespo, Ignacio Javier. Asociación Española de Amigos de los Castillos. Spain  
 Gil Piqueras, Teresa. Universitat Politècnica de València. Spain  
 Guarducci, Anna. Università di Siena. Italy  
 Guidi, Gabriele. Politecnico di Milano. Italy  
 González Avilés, Ángel Benigno. Universitat d'Alacant. Spain  
 Hadda, Lamia. Università degli Studi di Firenze. Italy  
 Harris, John. Fortress Study Group. United Kingdom  
 Islami, Gjergji. Universiteti Politeknik i Tiranës. Albania  
 Jiménez Castillo, Pedro. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain  
 León Muñoz, Alberto. Universidad de Córdoba. Spain  
 López González, Concepción. Universitat Politècnica de València. Spain  
 Marotta, Anna. Politecnico di Torino. Italy  
 Martín Civantos, José María. Universidad de Granada. Spain  
 Martínez Medina, Andrés. Universitat d'Alacant. Spain  
 Mazzoli-Guintard, Christine. Université de Nantes. France  
 Mira Rico, Juan Antonio. Universitat Oberta de Catalunya. Spain  
 Navarro Palazón, Julio. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain  
 Orihuela Uzal, Antonio. Escuela de Estudios Árabes, CSIC. Spain  
 Parrinello, Sandro. Università di Pavia. Italy  
 Pirinu, Andrea. Università di Cagliari. Italy  
 Piscitelli, Manuela. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italia  
 Pompejano Federica, Università di Genova, Italy  
 Quesada García, Santiago. Universidad de Sevilla. Spain  
 Rodríguez Domingo, José Manuel. Universidad de Granada. Spain  
 Rodríguez-Navarro, Pablo. Universitat Politècnica de València. Spain  
 Romagnoli, Giuseppe. Università degli Studi della Toscana. Italy  
 Ruiz-Jaramillo, Jonathan. Universidad de Málaga. Spain  
 Russo, Michele. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Italy  
 Santiago Zaragoza, Juan Manuel. Universidad de Granada. Spain  
 Spallone, Roberta. Politecnico di Torino. Italy  
 Toscano, Maurizio. Universidad de Granada. Spain  
 Ulivieri, Denise. Università di Pisa. Italy  
 Veizaj, Denada. Universiteti Politeknik i Tiranës  
 Varela Gomes, Rosa. Universidade Nova de Lisboa. Portugal  
 Verdiani, Giorgio. Università degli Studi di Firenze. Italy  
 Vitali, Marco. Politecnico di Torino. Italy  
 Vokshi, Armand. Universiteti Politeknik i Tiranës  
 Zaragoza, Catalán Arturo. Generalitat Valenciana. Spain  
 Zerlenga, Ornella. Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*. Italy

### **Advisory Committee**

Pablo Rodríguez-Navarro. President of FORTMED. Universitat Politècnica de València  
 Giorgio Verdiani. Vice-president of FORTMED. Università degli Studi di Firenze  
 Teresa Gil Piqueras. Secretary of FORTMED. Universitat Politècnica de València  
 Roberta Spallone. FORTMED advisor. Politecnico di Torino  
 Gjergji Islami. FORTMED advisor. Universiteti Politeknik i Tiranës  
 Denada Veizaj, FORTMED advisor. Universiteti Politeknik i Tiranës

### **Technical-operating staff**

Alessandro Antonini, Margherita Cicala, Rosa De Caro, Angelo De Cicco, Felicia Di Girolamo, Carlo Di Rienzo, Monica Esposito, Raffaella Fiorillo, Francesca Gasparetto, Gianluca Gioioso, Fabiana Guerriero, Rosina Iaderosa, Gennaro Pio Lento, Daniele Lucariello, Luca Mangiacapre, Riccardo Miele, Mario Sansone, Adriana Trematerra, Veronica Tronconi

**Organized by:**



Università  
degli Studi  
della Campania  
*Luigi Vanvitelli*

*Dipartimento di Architettura e  
Disegno Industriale*

**With the patronage of:**



CITTÀ DI CASERTA



COMUNE DI AVERSA

**With the patronage of:**

**Partnership:**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



**Politecnico  
di Torino**

Dipartimento  
di Architettura e Design



**DESTEC**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
DELL'ENERGIA, DEI SISTEMI, DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



UNIVERSITETI  
POLITEKNIK  
I TIRANËS



SOPRINTENDENZA  
ARCHEOLOGIA  
BELLE ARTI E PAESAGGIO  
CASERTA E BENEVENTO

**With the patronage of:**



ordine degli **architetti**  
pianificatori paesaggisti conservatori  
della provincia di **caserta**

**CGA**  
STUDIO ASSOCIATO DI ARCHITETTURA  
CARAFA E GUADAGNO



unione  
italiana  
disegno



SEZIONE CAMPANIA



**ORDINE DEGLI  
INGEGNERI**  
DELLA PROVINCIA  
DI CASERTA



## **Digital Heritage**



## Lo sguardo vigile. La fortificazione bizantina di Monte Kassar a Castronovo di Sicilia

Fabrizio Agnello<sup>a</sup>, Mirco Cannella<sup>b</sup>, Vincenza Garofalo<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> University of Palermo, Italy, <sup>a</sup> [fabrizio.agnello@unipa.it](mailto:fabrizio.agnello@unipa.it), <sup>b</sup> [mirco.cannella@unipa.it](mailto:mirco.cannella@unipa.it),

<sup>c</sup> [vincenza.garofalo@unipa.it](mailto:vincenza.garofalo@unipa.it)

### Abstract

For many centuries, Sicily was a place where civilisations interacted and clashed. Its insular nature and its barycentric position in the Mediterranean have determined, together with the balances between the hegemonic powers, the settlement strategies: cities on the sea during the Greek-Punic colonisation and in subsequent periods characterised by general conditions of peace and equilibrium; cities inland or ‘perched’ in periods of greater fragility, when the main urgency was defence against attacks from the sea or control of the territory. The first real fortifications built in Sicily can be traced back to the period of Byzantine domination, a ‘fragile’ domination that followed the period of Roman rule and preceded the invasion and hegemony of Islamic culture (535-827 A.D.). The few surviving traces of the building activity carried out during the Byzantine rule are mainly located in eastern Sicily; little or nothing has been preserved in western Sicily. The exceptions are a few fortified sites located along the demarcation line running northeast-southwest, at either end of which were the cities of Himera and Selinunte, which historically separated Greek and Punic Sicily. Among these, a conspicuous stretch of fortification recently rediscovered on a rise above the town of Castronovo di Sicilia, in the central section of the demarcation line, stands out for the quality of its remains, having walls and towers that allow a reconstruction. The investigation aims at the acquisition of a digital survey developed with photogrammetric methods, using shots acquired from the ground and from above with the aid of a drone, and with laser scanning methods, using a SLAM scanner. The survey will make it possible to analyse the possibilities of integration between the two methodologies for the construction of a digital twin. The survey data will make it possible to analyse the construction techniques used and to investigate the relations that the fortification establishes with the territory, the reasons for its location, the visual control that it allowed, the possible relationship with other fortified places present on the demarcation line.

**Keywords:** byzantine fortifications; survey; virtual reconstruction.

### 1. La fortificazione bizantine di Monte Kassar

La Sicilia è stata per molti secoli luogo di incontro e scontro fra civiltà. La sua natura insulare e la sua collocazione baricentrica nel Mediterraneo hanno determinato, unitamente agli equilibri fra le potenze egemoni, le strategie insediative: città sul mare durante la colonizzazione greco-punica e nei periodi caratterizzati da condizioni generali di pace ed equilibrio; città nell’entroterra o ‘arroccate’ nei periodi di maggiore fragilità,

quando l’urgenza principale era la difesa dagli attacchi dal mare o il controllo del territorio. Numerose strutture fortificate vengono costruite in Sicilia durante i tre secoli della ‘fragile’ dominazione bizantina (535-827 d.C.), che segue il periodo della egemonia romana e precede quello della cultura islamica. Le poche tracce superstiti dell’attività costruttiva di questo periodo sono ubicate prevalentemente nella

Sicilia orientale; poco o nulla si è conservato nella Sicilia occidentale. Fanno eccezione alcuni luoghi fortificati ubicati lungo la linea di demarcazione con direzione Nord-Sud, che storicamente separava la Sicilia greca da quella punica. Agli estremi di questo limite si trovavano la città di Himera a Nord e la città di Agrigento a Sud.

Su questa stessa linea si trovavano anche le principali vie fluviali di accesso verso l'entroterra, i fiumi Torto e Himera da Nord e il fiume Platani da Sud; ancora, sulla stessa direttrice si sviluppava il tracciato della Via Aurelia, una strada romana, che collegava Palermo con Agrigento (Modeo & Cutaia, 2013).



Fig. 1- Ubicazione del centro abitato di Castronovo di Sicilia. In rosso il tracciato della Via Aurelia.

Nel punto baricentrico della direttrice, corrispondente al tratto intermedio della via Aurelia, immediatamente a settentrione del centro abitato di Castronovo di Sicilia (AG), si trova Monte Kassar, un altopiano posto ad una quota di circa 1000m, delimitato su tre fianchi (Est, Sud, Ovest) da ripidi pendii. Il quarto fronte, rivolto a Nord, si connette al territorio circostante con lievi e graduali cambi di quota.

Proprio su questa linea, estesa circa 1km e facilmente attaccabile per la sua orografia, si collocano i resti del più importante sistema di fortificazione di epoca bizantina finora rinvenuto in Sicilia.

Si tratta di una cinta muraria di consistente spessore, caratterizzata dalla presenza di nove torri e di due varchi di ingresso: una porta monumentale fortificata e una postierla.

Il primo rilievo della fortificazione di Monte Kassar viene completato nel 1867 da Francesco Saverio Cavallari, architetto ed esperto in rilievi architettonici, che a lungo aveva collaborato con

Domenico Lo Faso Pietrasanta Duca di Serradifalco per la redazione dei rilievi e dei disegni che illustrano le monumentali pubblicazioni di quest'ultimo sulla Sicilia di epoca antica e medievale.

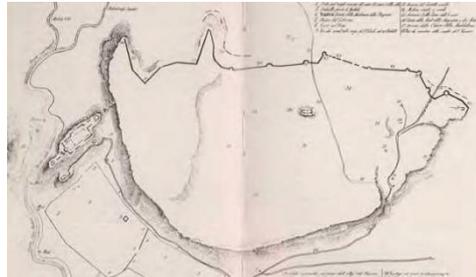


Fig. 2- Rilievo della fortificazione di Monte Kassar di F.S. Cavallari. (Vassallo et al. 2015: p. 10).

Una nuova e più aggiornata campagna di rilievo verrà condotta solo 130 anni dopo, nel 2005, a cura della Sezione archeologica della Soprintendenza di Palermo. Il resoconto di queste attività di rilievo, pubblicato nel 2015, costituisce ad oggi la fonte imprescindibile per lo studio della fortificazione del Kassar (Vassallo et al. 2015).



Fig. 3- In alto: vista del varco di ingresso dall'interno della cinta; sullo sfondo è visibile Pizzo Garibaldi vicino ad Alia. In basso: ripresa da drone dei resti della torre all'estremità orientale della fortificazione.

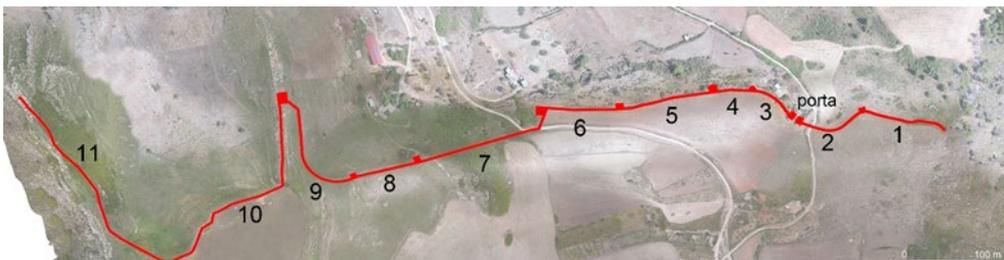


Fig. 4- Ortofoto dell'area con planimetria della fortificazione e delle sezioni divise dalle torri.

Il rilievo di Cavallari, in buona parte confermato dal più aggiornato rilievo della Soprintendenza, documenta la consistenza attuale dei resti della fortificazione, con il lungo muro di cinta, di spessore medio pari a 3,40m, che si sviluppa lungo una direttrice est-ovest; della fortificazione si conservano soltanto le parti più prossime all'attuale piano di calpestio, con un risalto variabile fra pochi centimetri e 2m.

Il muro di cinta è articolato in 11 sezioni delimitate da torri; fra la seconda e la terza sezione, contando da est, 2 torri di forma quadrata delimitano un varco di accesso monumentale di ampiezza pari a 3,75m; delle restanti 9 torri, 7 hanno forma approssimativamente quadrata e 2 hanno forma poligonale. Il tratto dalla sezione 1 alla 6 si sviluppa a quota pressoché costante, mentre le sezioni 7 e 8 si inerpicano in un tratto in forte pendenza, che culmina, nella sezione 9, in una sorta di avamposto con direzione Nord-Sud, terminato da una torre; da qui, le mura riprendono la direzione est-ovest, per superare un ulteriore dislivello e concludersi con un tratto terminale, di direzione nord-sud, a quota pressoché costante. Gli studi fin qui condotti non hanno potuto dare risposta ai numerosi interrogativi sulla funzione e sulle ragioni dell'ubicazione di una così imponente struttura fortificata. La collocazione occupa, come già evidenziato, un luogo baricentrico e nevralgico del sistema di comunicazioni interne della Sicilia, sia di quelle che attraversano la dorsale Nord-Sud (di cui si è detto), che quelle che da questa direttrice si sviluppavano verso est in direzione di Catania e verso Ovest alla volta di Selinunte e Mazara del Vallo. L'elemento che pone i maggiori interrogativi riguarda l'assenza di un centro abitato di dimensioni adeguate alla struttura fortificata; l'idea di un semplice presidio militare, realizzato per fronteggiare invasioni e attacchi e per comunicare, anche solo attraverso segnali visivi, con altre strutture fortificate, non risolve

pienamente i dubbi. La fortificazione di Monte Kassar, imponente e suggestiva, anche per l'articolato rapporto con l'orografia del suolo, rimane in attesa di nuovi studi che possano gettare luce sulle ragioni della committenza e del ruolo che essa assumeva nel belligerante contesto della Sicilia in epoca bizantina.

## 2. Le operazioni di rilievo

Le tecniche digitali permettono oggi di costruire rapidamente i simulacri di manufatti e contesti.

Tali simulacri, detti *digital twins*, gemelli digitali, riproducono fedelmente le caratteristiche morfologiche, dimensionali e cromatiche delle superfici rilevate.

Fra le opportunità più evidenti offerte dalle tecnologie digitali di rilevamento indiretto è utile ricordare: a) l'alto livello di definizione nella documentazione delle superfici; b) la possibilità di riferire a uno stesso sistema di coordinate dati metrici acquisiti con metodologie differenti, quindi anche dati relativi ad aree dimensionalmente differenti (territorio, manufatti); c) la possibilità di mettere a confronto acquisizioni svolte in periodi differenti, grazie alla stabilità del sistema di riferimento GNSS.

Il rilievo della fortificazione di Monte Kassar è stato eseguito con diversi metodi, anche al fine di sperimentare i modi per la loro integrazione e le opportunità che ne derivano.

Fin dai primi sopralluoghi in situ e dall'analisi degli studi precedenti è apparso evidente che il rilievo delle strutture fortificate doveva essere condotto con un approccio multiscale, che permettesse l'inquadramento generale del rapporto fra le strutture architettoniche e la morfologia del suolo, ma, allo stesso tempo, l'approfondimento e la documentazione di specifici aspetti delle tecniche costruttive ad una scala più ridotta.



Fig. 5- In alto: immagine acquisita dal drone. In basso: ingrandimento su due target.



Fig. 6- In alto: Rilievo fotogrammetrico dell'area. Al centro: Mesh texturizzata calcolata con processi fotogrammetrici. In basso: dettaglio dell'ortofoto con proiezione nadirale.

Le prime acquisizioni sono state condotte con metodi fotogrammetrici e GNSS, al fine di produrre un modello digitale delle strutture architettoniche e dell'orografia dell'area su cui esse sono edificate. Il rilievo con metodi GNSS è stato utilizzato per la misura delle coordinate

spaziali del punto baricentrico di 9 target piani di dimensioni 50\*50cm, poggiati al suolo. Le coordinate di tali punti, riconoscibili nelle foto dal drone, hanno permesso di assegnare un orientamento spaziale e un fattore dimensionale ai modelli fotogrammetrici realizzati dalla foto aeree.



Fig. 7- Ortofoto del fronte Sud-Est del varco di ingresso.

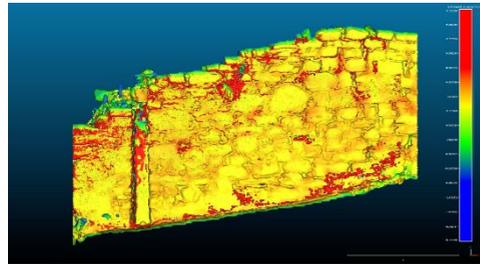


Fig. 8- Confronto fra la mesh risultante dal rilievo con laser scanner statico e quella prodotta dal rilievo con lo scanner dinamico.

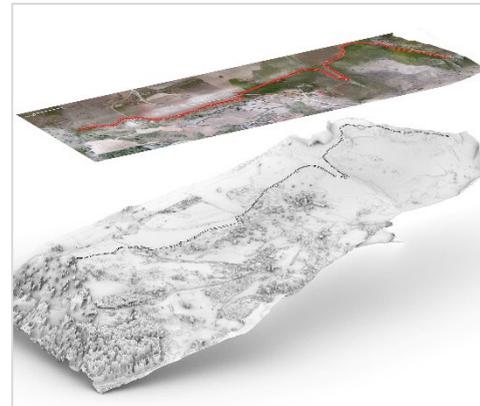


Fig. 9- Proiezione della planimetria della fortificazione sul modello mesh.

Il rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato per calcolare un modello mesh texturizzato e un'ortofoto, con proiezione su piano orizzontale, dell'intera cinta muraria e dell'area ad essa limitrofa.

Ulteriori riprese fotografiche, acquisite da terra, sono state utilizzate per la realizzazione delle ortofoto, con proiezione su piano verticale, delle superfici interne della porta di accesso, uniche superfici in elevazione che superano l'altezza di 2 metri. In questo caso il modello mesh utilizzato per il processo di texturing fotogrammetrico è stato estratto da una nuvola di punti ottenuta dalla mosaicatura e dalla successiva campionatura di 6 scansioni, acquisite da terra con un laser scanner statico a modulazione di fase Leica HDS7000.

L'ultima fase del processo di acquisizione è stata dedicata alla sperimentazione sull'utilizzo di uno scanner laser dinamico di recente commercializzazione, per il rilievo di un tratto della cortina muraria.

Lo scanner SLAM ha dimostrato di essere uno strumento particolarmente efficace per il rilievo del paramento esterno delle mura, al netto della fitta presenza di vegetazione, che in più tratti nasconde l'opera di architettura.

Al fine di mettere a confronto le peculiarità dei dati acquisiti con le due diverse strumentazioni laser scanning, il rilievo delle torri sul varco di ingresso è stato ripetuto anche con il dinamico. Dal confronto sono emersi scarti medi compresi fra 5mm e 2cm, del tutto accettabili considerata la peculiarità dell'opera rilevata.

### 3. Il disegno della fortificazione

La costruzione di un modello affidabile dello stato di fatto della fortificazione ha permesso di condurre alcune osservazioni, impensabili con le tradizionali metodologie di rilievo e di disegno, sulle caratteristiche intrinseche dell'opera e sulle sue relazioni a scala territoriale.

Tali osservazioni si propongono di avanzare alcune ipotesi sul 'disegno' dell'opera, ovvero sulle finalità della sua costruzione e sulle strategie insediative che ne hanno determinato l'ubicazione e l'assetto.

La prima fase di elaborazione è stata dedicata al ridisegno delle tracce della fortificazione a partire dall'ortofoto dell'area.

Il disegno ha sostanzialmente confermato l'attendibilità dei rilievi del 2005, a meno di piccoli scarti.

Il modello dello stato di fatto ha posto in evidenza la complessità del sistema della fortificazione e il suo svilupparsi in un contesto orograficamente articolato, che dalla quota lungo la quale si sviluppano le sezioni da 1 a 6 (variabile fra 870 e 890m slm), passa alla quota dove si trova la sezione 9 (970m slm) e prosegue ancora, in leggero pendio ascendente, nelle sezioni 10 e 11, fino a raggiungere la quota di 1020m slm.

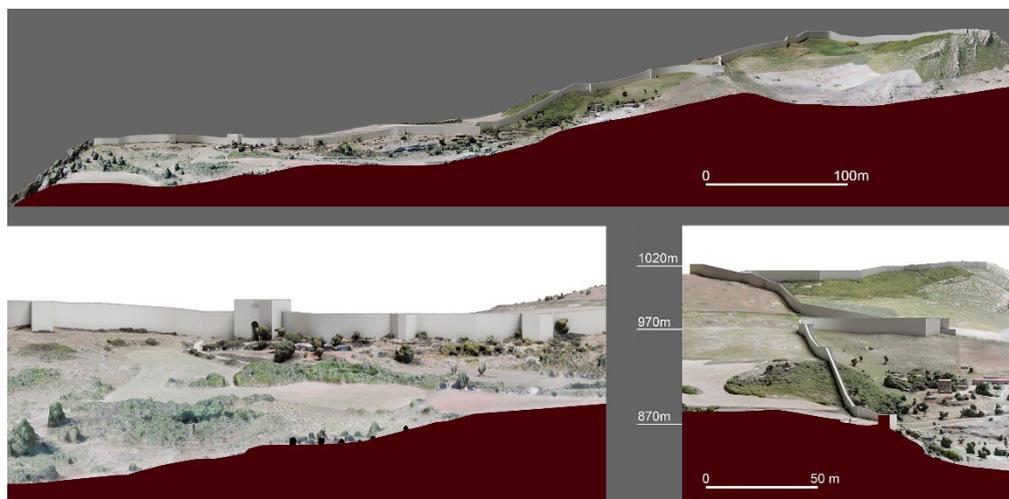


Fig. 10- Viste del modello ricostruttivo inserito nel contesto reale. In alto: prospetto-sezione da Nord. In basso a sinistra: dettaglio in corrispondenza della porta di accesso. In basso a destra: sezione trasversale in corrispondenza della torre fra le sezioni 5 e 6, che pone in evidenza il cambio di pendenza del terreno e lo sviluppo altimetrico della fortificazione.



Fig. 11- Ripresa fotografica da drone con inserimento del modello ricostruttivo delle mura. A destra, la parte più alta della fortificazione; a sinistra e sullo fondo la Valle del fiume Platani.

Complessivamente, quindi, il sistema della fortificazione si estende sulla direttrice est-ovest per una lunghezza di 1124m e supera un dislivello di 150m.

Al fine di realizzare il modello ricostruttivo delle mura, basato sulle ipotesi formulate in letteratura, (Vassallo, 2015), il disegno dello sviluppo planimetrico del tracciato delle mura e delle torri è stato proiettato ortogonalmente sul modello digitale del terreno. Le curve ottenute dalla proiezione sono state utilizzate come linee guida per la determinazione del profilo altimetrico del modello ricostruttivo.

Dal modello complessivo sono state estratte alcune proiezioni ortografiche; a) una sezione con piano verticale orientato secondo l'asse Est-Ovest, che mostra efficacemente lo sviluppo lineare della fortificazione e il suo rapporto con l'orografia del sito; b) una sezione ortogonale alla linea della fortificazione, che mostra il repentino cambio di pendenza del suolo a ridosso delle mura e, in modo ancora più incisivo, il salto di quota che la fortificazione supera nel suo sviluppo. Queste viste riaffermano le potenzialità del disegno anche nella rappresentazione digitale, che troppo spesso si concentra sull'attività di creazione dei modelli, riducendo il disegno a una semplice 'vista' del modello.

Le due sezioni dimostrano che un'adeguata scelta del piano e del tipo di proiezione può produrre elaborati grafici che descrivono in modo sintetico ed efficace le qualità salienti di un'opera di architettura.

Un elemento significativo, emerso durante i sopralluoghi e ben evidenziato anche dal modello tridimensionale del terreno e delle mura, nonché dai disegni, è la connessione visiva fra le torri, in particolare fra la torre posta all'estremità Est della linea fortificata e quella che concludeva l'avamposto alla quota 970m: la prima, più bassa, controllava la Valle del Platani, mentre quella più alta era in connessione visiva con i principali rilievi montuosi, sia verso Nord che verso Sud.

Al fine di ampliare il modello del terreno realizzato con le foto del drone, per inserirlo nell'ambito dell'intero altopiano, e successivamente, in un più ampio contesto territoriale, sono state utilizzate due tecniche: a) la simulazione di un volo con Google Earth Pro; b) l'estrazione semiautomatica di un modello del terreno con il plug-in "Blender GIS" del noto software di simulazione fotorealistica, che utilizza i dati della *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Il primo metodo ha dato risultati attendibili con voli a quote limitate e con la combinazione di fotografie nadirali e inclinate, mentre ha mostrato notevoli criticità nell'estrazione di modelli fotogrammetrici da riprese eseguite a quote superiori a 1000m, utili alla restituzione di una vasta porzione di territorio. Questo metodo è stato dunque utilizzato soltanto per generare un modello di suolo dell'altopiano di Kassari.

Per contro, il secondo metodo, che permette di generare modelli del terreno non dettagliati ma più affidabili sotto il profilo dimensionale e altimetrico, è stato utilizzato per documentare l'orografia dell'intera isola.

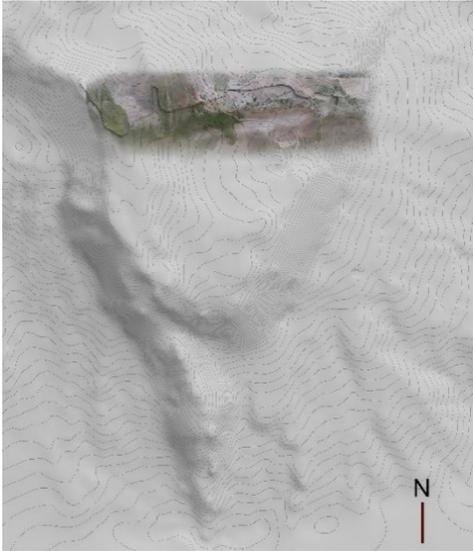


Fig. 12- Modello del terreno da immagini estratte da Google Earth e modello estratto dalle foto da drone.

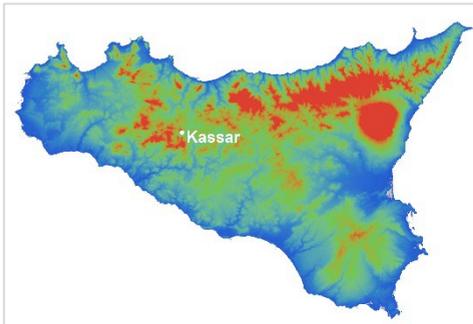


Fig. 13- Proiezione ortografica del modello del suolo della Sicilia con texturing a falsi colori.

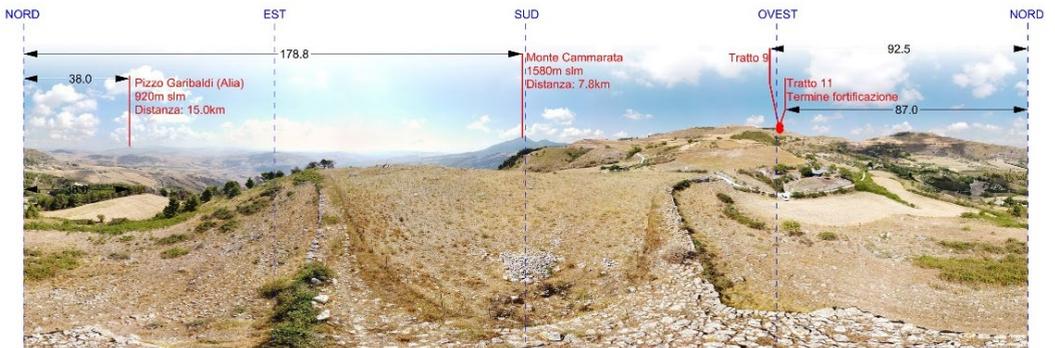


Fig. 14- Immagine equirettangolare acquisita dal drone. Le distanze dal bordo dell'immagine, corrispondente al Nord, misurano gli angoli visuali riportati nella mappa.

Il modello estratto con quest'ultima tecnica è stato texturizzato con falsi colori associati all'altitudine. La vista ortografica del modello permette di visualizzare in modo estremamente efficace i rilievi montuosi, le vallate e i fiumi.

Un'ulteriore sperimentazione, consentita dall'uso integrato di metodi di rilievo e rappresentazione digitale, è stata indirizzata all'analisi delle relazioni visuali fra la fortificazione e le alture circostanti, alla ricerca di possibili connessioni per punti, che permettessero di veicolare messaggi visivi dal Monte Kassar fino ai principali centri della costa (Palermo a Nord e Agrigento a Sud).

A tal fine sono state realizzate delle riprese con drone, idonee alla realizzazione di immagini panoramiche; la quota di stazionamento del drone durante l'esecuzione delle prese è stata fissata a un'altitudine di circa 10 metri dai resti della fortificazione.

Per il processo di analisi è stata utilizzata l'immagine sferica acquisita in corrispondenza della torre all'estremità Est della fortificazione.

Al fine di determinare le coordinate geografiche del punto nodale dell'immagine sferica e l'orientamento della stessa, le prese acquisite con il drone sono state inserite nel progetto fotogrammetrico generale, le cui coordinate, occorre ricordare, sono geografiche poiché riferite al rilievo con metodi GNSS.

L'immagine equirettangolare prodotta al termine del calcolo permette quindi di posizionare con esattezza la direzione Nord, che, nel caso in esame, è stata posizionata ai bordi dell'immagine. Quest'ultima è stata scalata in modo da assegnarle una dimensione pari a 360 unità.

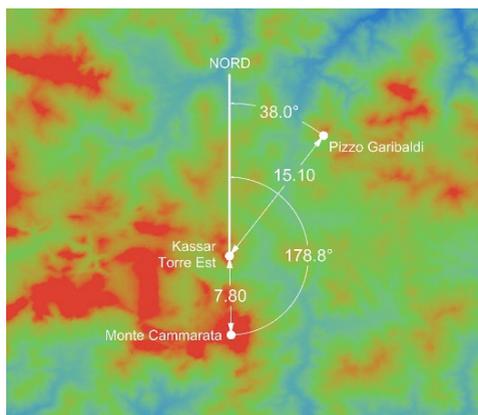


Fig. 15- Mappa a falsi colori del territorio intorno al monte Kassar con gli angoli visuali utilizzati per identificare i rilievi.

In questo modo, le distanze dal bordo dell'immagine equivalgono, sulla mappa, agli angoli rispetto alla direzione Nord. Si è dunque proceduto a identificare, nell'immagine equirettangolare, le principali cime montuose visibili e a individuare sulla mappa, i luoghi corrispondenti.

L'ipotesi proposta è che i luoghi di riferimento per Kassar potessero essere, a Nord, pizzo Garibaldi, ubicato a una distanza di 15 km nei pressi del centro abitato di Alia, e, a Sud, monte Cammarata a una distanza di circa 8km. Da queste due alture, i messaggi potevano essere indirizzati sia a Nord che a Sud verso ulteriori

rilievi montuosi in diretta connessione visiva con i centri abitati di Palermo e Agrigento.

Un'ultima sperimentazione, indirizzata a promuovere la conoscenza della fortificazione verso una più ampia platea di soggetti non specializzati, è stata eseguita con l'ausilio di due distinte tecniche, indirizzate rispettivamente alla visualizzazione in situ e a distanza. Per quest'ultima sono state utilizzate tecniche di *Motion tracking*, ampiamente diffuse nell'industria cinematografica, che permettono di contestualizzare, in una ripresa video, un oggetto virtuale. In questo caso, il video è stato acquisito con un volo da drone e l'elaborazione di *motion tracking* è stata sviluppata con il software Blender.

La seconda tecnica, che utilizza la combinazione di un'immagine sferica acquisita in situ con un'equivalente immagine di un modello tridimensionale, ha permesso di inserire il modello ricostruttivo in una delle immagini equirettangolari acquisite in situ; il visitatore che si trovi nei pressi del luogo da cui l'immagine sferica è stata acquisita potrà visualizzare, con l'ausilio di uno smartphone o di un tablet, la ricostruzione della fortificazione dal suo punto di osservazione.

#### 4. Conclusioni

Lo studio sulla fortificazione di Monte Kassar ha mostrato le potenzialità che le tecnologie digitali



Fig. 16- Vista di un *frame* del filmato di *motion tracking* con la contestualizzazione del modello ricostruttivo.

offrono oggi ai processi che mirano alla conoscenza e alla divulgazione del patrimonio culturale.

Allo stesso tempo, lo studio ha posto in evidenza l'importanza della ricerca di forme di rappresentazione capaci di evidenziare le peculiarità di un'opera di architettura.

L'utilizzo combinato del rilievo digitale e di strumenti per la visualizzazione di immagini satellitari, come Google Earth Pro, ha dimostrato la possibilità di indagare in modo accurato le connessioni visive fra siti in elevato, elemento particolarmente rilevante nello studio delle strutture fortificate.

## Contributo degli autori

Il contributo è stato realizzato nell'ambito della ricerca PRIN 2022 PNRR "Byzantine Cultural Routes between tangible and intangible", Coordinatore scientifico nazionale Marinella Arena (Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria), Responsabile unità ricerca locale Francesco Maggio (Università degli Studi di Palermo) ed è frutto della collaborazione tra gli autori che hanno condiviso obiettivi, metodologie e risultati. A Vincenza Garofalo si attribuisce il paragrafo 1, a Fabrizio Agnello il 2, a Mirco Cannella il 3. Si ringrazia il Dott. Stefano Vassallo per i preziosi suggerimenti.



Fig. 17- Immagine equirettangolare 'ibrida' con il posizionamento del modello ricostruttivo.

## Bibliografia

- Modeo, S., Cutaia, A. (2010). Il sistema bizantino di difesa e di trasmissione dei messaggi ottici nella Valle del Platani. In Congiu M., Modeo S., Arnone, M. (eds.). *La Sicilia bizantina: storia, città e territorio, Atti del VI Convegno di Studi*. Caltanissetta-Roma, pp. 297-330.
- Modeo, S., Cutaia, A. (2013). L'incastellamento bizantino nella Sicilia centro-meridionale. Tipologie edilizie e tecniche costruttive dei κάστρα tra il Platani e il Salso. In AA.VV. *La Sicilia del IX secolo tra Bizantini e Musulmani. Atti del IX Convegno di studi*. Caltanissetta, Sciascia Editore, pp. 91-120.
- Panvini R. (2002). Insediamenti bizantini nella Sicilia centro-meridionale. *Byzantino-Sicula IV*, Atti del I Congresso Internazionale di Archeologia della Sicilia Bizantina, Palermo, pp. 191-213.
- Vassallo, S., De Leo, A., Di Stefano, S. & Graditi, R. (2015). *La fortificazione bizantina del Kassar. Relazione di scavo 2005* - Soprintendenza Beni culturali e ambientali di Palermo. Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana available at [https://www.academia.edu/15290794/\\_Vassallo\\_De\\_Leo\\_Di\\_Stefano\\_Graditi\\_La\\_Fortificazione\\_bizantina\\_del\\_Kassar\\_Relazione\\_di\\_scavo\\_2005\\_A\\_Testo\\_2015\\_](https://www.academia.edu/15290794/_Vassallo_De_Leo_Di_Stefano_Graditi_La_Fortificazione_bizantina_del_Kassar_Relazione_di_scavo_2005_A_Testo_2015_) (Accessed: 15 September 2024).

**V: DADI**  
**PRESS**

 **Editorial**  
Universitat Politècnica  
de València