

9 DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN

Anna MAROTTA, Roberta SPALLONE (Eds.)



DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. IX

PROCEEDINGS of the International Conference on Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast
FORTMED 2018

DEFENSIVE ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN
Vol. IX

Editors
Anna Marotta, Roberta Spallone
Politecnico di Torino. Italy

POLITECNICO DI TORINO

Series *Defensive Architectures of the Mediterranean*

General editor
Pablo Rodríguez-Navarro

The papers published in this volume have been peer-reviewed by the Scientific Committee of FORTMED2018_Torino

© editors
Anna Marotta, Roberta Spallone

© papers: the authors

© 2018 edition: Politecnico di Torino

ISBN: 978-88-85745-12-4



FORTMED - Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast, Torino, 18th, 19th, 20th October 2018

Organization and Committees

Organizing Committee

Anna Marotta. (Chair). Politecnico di Torino. Italy
Roberta Spallone. (Chair). Politecnico di Torino. Italy
Marco Vitali. (Program Co-Chair and Secretary). Politecnico di Torino. Italy
Michele Calvano. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Massimiliano Lo Turco. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Rossana Netti. (Member). Politecnico di Torino. Italy
Martino Pavignano. (Member). Politecnico di Torino. Italy

Scientific Committee

Alessandro Camiz. Girne American University. Cyprus
Alicia Cámara Muñoz. UNED. Spain
Andrea Pirinu. Università di Cagliari. Italy
Andreas Georgopoulos. Nat. Tec. University of Athens. Greece
Andrés Martínez Medina. Universidad de Alicante. Spain
Angel Benigno González. Universidad de Alicante. Spain
Anna Guarducci. Università di Siena. Italy
Anna Marotta. Politecnico di Torino. Italy
Annalisa Dameri. Politecnico di Torino. Italy
Antonio Almagro Gorbea. CSIC. Spain
Arturo Zaragoza Catalán. Generalitat Valenciana. Castellón. Spain
Boutheina Bouzid. Ecole Nationale d'Architecture. Tunisia
Concepción López González. UPV. Spain
Faissal Cherradi. Ministerio de Cultura del Reino de Marruecos. Morocco
Fernando Cobos Guerra. Arquitecto. Spain
Francisco Juan Vidal. Universitat Politècnica de València, Spain
Gabriele Guidi. Politecnico di Milano. Italy
Giorgio Verdiani. Università degli Studi di Firenze. Italy
Gjergji Islami. Universiteti Politeknik i Tiranës. Albania
João Campos, Centro de Estudos de Arquitectura Militar de Almeida. Portugal
John Harris. Fortress Study Group. United Kingdom
Marco Bevilacqua. Università di Pisa. Italy
Marco Vitali. Politecnico di Torino. Italy
Nicolas Faucherre. Aix-Marseille Université – CNRS. France
Ornella Zerlenga. Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli'. Italy
Pablo Rodríguez-Navarro. Universitat Politècnica de València. Spain
Per Cornell. University of Gothenburg. Sweden
Philippe Bragard. Université catholique de Louvain. Belgium
Rand Eppich. Universidad Politècnica de Madrid. Spain
Roberta Spallone. Politecnico di Torino. Italy
Sandro Parrinello. Università di Pavia. Italy
Stefano Bertocci. Università degli Studi di Firenze. Italy
Stefano Columbu, Università di Cagliari. Italy
Teresa Gil Piqueras. Universitat Politècnica de València. Spain
Víctor Echarri Iribarren. Universitat d'Alacant. Spain

Note

The Conference was made in the frame of the R & D project entitled "SURVEILLANCE AND DEFENSE TOWERS OF THE VALENCIAN COAST. Metadata generation and 3D models for interpretation and effective enhancement" reference HAR2013-41859-P, whose principal investigator is Pablo Rodríguez-Navarro. The project is funded by National Program for Fostering Excellence in Scientific and Technical Research, national Sub-Program for Knowledge Generation, Ministry of Economy and Competitiveness (Government of Spain).

Organized by



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di
Architettura e Design

Partnerships



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Patronages



CITTA' DI TORINO



unione
italiana
disegno



FONDAZIONE
DELL'ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI
TORINO

Table of contents

Preface	XV
Contributions	
DIGITAL HERITAGE	
<i>Quivi surgeva nel lido estremo un sasso: la torre dell'Arma</i>	925
<i>M. Abbo, F. L. Buccafurri</i>	
Il Castello di Gorizia, analisi geometrica e rilievo con tecnologie avanzate.....	933
<i>G. Amoroso, P. Cochelli, V. Riavis</i>	
“Turris ad nocturnum navigantibus lumen”.....	941
<i>M. Arena, F. Fatta</i>	
Dalla dismissione alla valorizzazione: progetti e interventi per il Forte di Exilles (To) negli anni 1978-2018.....	949
<i>C. Bartolozzi, F. Novelli</i>	
Rilievo digitale dell'area archeologica costiera della Rocca di San Silvestro.....	957
<i>S. Bertocci, A. Lumini</i>	
New tools for the valorization and dissemination of the results of TOVIVA project.....	965
<i>S. Bertocci, P. Rodriguez-Navarro, M. Bercigli</i>	
Sperimentazioni cinquecentesche dei Sangallo verso le fortificazioni toscane. Il caso del Forte Sangallo a Nettuno.....	973
<i>D. Calisi, M. G. Cianci</i>	
Dalla nuvola di punti al progetto di restauro. L'estrazione di dati per la valorizzazione dell'antica fortificazione di Casertavecchia.....	981
<i>V. Cera, L. A. Garcia</i>	
Da castello a castello, il problema della difesa della costa ionica: i casi delle fortificazioni di Catania e Aci Castello.....	989
<i>G. Di Gregorio</i>	
Las torres vigías artilladas de Felipe II en la Región del Murcia. Representación tridimensional virtual de la Torre Navidad.....	997
<i>J. García León, P. E. Collado Espejo, M. Ramos Martínez, L. Cipriani, F. Fantini</i>	

Rappresentando il Forte di Gavi: ieri, oggi, domani.....	1005
<i>A. Marotta, V. Cirillo, O. Zerlenga</i>	
Rappresentazione sincronica e ricostruzioni diacroniche della Rocca di Senigallia. Un approccio di conoscenza integrato.....	1013
<i>A. Meschini, E. Petrucci</i>	
I sotterranei dei castelli di Otranto e di Gallipoli: dal rilievo laser scanner 3D all'analisi Strutturale.....	1021
<i>G. Muscatello, A. Quarta, C. Mitello</i>	
Rilievo tridimensionale del palazzo fortificato di Entella.....	1029
<i>R. Netti</i>	
Torri costiere nella Sicilia sud-orientale: il rilievo per la conoscenza e la messa in valore delle emergenze architettoniche.....	1037
<i>G. Nicastro</i>	
Sistemi fortificati dell'Adriatico centrale: indagini storiche, rappresentazioni contemporanee e ricostruzioni digitali.....	1045
<i>C. Palestini, A. Basso</i>	
Augmented Iconography. AR applications to the fortified Turin in the <i>Theatrum Sabaudiae</i>	1053
<i>V. Palma, M. Lo Turco, R. Spallone, M. Vitali</i>	
Il rilievo della torre degli Appiani a Marciana Marina.....	1061
<i>G. Pancani</i>	
Nuvole di punti per l'accessibilità universale del patrimonio storico: il caso studio del castello di Francolise.....	1067
<i>L. M. Papa, S. D'Auria</i>	
La Documentazione delle mura di Verona Rilievo, analisi e schedatura delle fortificazioni veronesi.....	1075
<i>S. Parrinello, P. Becherini</i>	
Sul limitare del Mediterraneo: Antonelli e la fortificazione di Gibilterra.....	1083
<i>S. Parrinello, F. Picchio, R. De Marco, A. Dell'Amico</i>	
Rappresentare l'architettura militare. Il bastione di Santa Croce a Cagliari in epoca sabauda.....	1091
<i>A. Pirinu, N. Contini, M. Utzeri</i>	
Il castello di Popolonia: dal rilievo alla documentazione visuale.....	1097
<i>P. Puma, A. Guidi</i>	
Método para el levantamiento del patrimonio construido mediante técnicas digitales: Puerta de la Colada de la muralla de Ciudad Rodrigo (Salamanca).....	1101
<i>A. Sánchez Corrochano, A. Greco, D. Besana, E. Martínez Sierra</i>	

Un navigatore per monumenti: proposta di applicazione software per valorizzare i monumenti culturalmente e storicamente con soluzioni informatiche, GIS e GPS.....	1109
<i>L. Serra</i>	
Partimonio costruito e BIM: il palazzo di Francesco de' Medici nella Fortezza Vecchia di Livorno fa un secondo passo nell'epoca digitale.....	1117
<i>G. Verdiani, V. Donato, L. Pianigiani, F. Marsugli</i>	
Cannons, galleries, ruins and Digital Survey: a first report about the “Molo Cosimo” after seventy years of abandon.....	1125
<i>G. Verdiani, A. Frasconi</i>	
 CULTURE AND MANAGEMENT	
Il castello normanno di Ginosa (TA). Progetto di salvaguardia e valorizzazione di una memoria.....	1133
<i>A. Albanese, F. Allegretti, C. Castellana, A. Colamonico, F. Fiorio, M. Marasciulo</i>	
The fortification system on the Elba Island: analysis of the strategic evolution and the military technologies.....	1141
<i>G. Baldi, A. Mancuso, A. Pasquali, M. Pucci</i>	
Un percorso virtuale nel Forte di Fenestrelle tra memoria e attualità.....	1149
<i>O. Bucolo, D. Miron, R. Netti</i>	
La fruizione multimediale del Castello di Lecce.....	1157
<i>G. Cacudi</i>	
Some aspect of relationships of old and new in moroccan fortification.....	1165
<i>M. Cherradi</i>	
Tutela, recupero, valorizzazione delle torri costiere come parte integrante di sistemi territoriali complessi. La “nuova vita” della Torre di Cerrano (Abruzzo, Italia).....	1171
<i>A. Colecchia</i>	
Estudio integral de la Torre Navidad, en Cartagena (España), para su correcta conservación, puesta en valor y musealización.....	1179
<i>P. E. Collado Espejo, J. García León, J. F. García Vives</i>	
Fortified architecture in Spanish chain Paradores de Turismo. 90 years of heritage management for touristic purposes.....	1187
<i>P. Cupeiro López</i>	
Difendere la Terra d’Otranto. Le torri di avvistamento della Serie di Nardò.....	1195
<i>G. Danesi, A. Gagliardi</i>	
Il castello Ursino a Catania: la costa scostata.....	1203
<i>G. Di Gregorio, F. Condorelli</i>	

Conservation of Martinengo Bastion, Famagusta, Cyprus.....	1209
<i>R. Eppich, M. Pittas, M. Zubiaga de la Cal</i>	
Paesaggi sublimi: un parco ecomuseale per valorizzare il patrimonio paesaggistico militare delle colline del Golfo della Spezia.....	1217
<i>E. Falqui, D. Reitano, L. Marinaro</i>	
Il parco multimediale delle mura di Padova: valorizzazione di paesaggi e percorsi culturali in un'ottica creativa e innovativa.....	1223
<i>A. Ferrighi</i>	
Paesaggi militari della Sardegna tra XVIII e XX secolo. Scenari di riconversione e di riuso integrato.....	1229
<i>D. R. Fiorino, S. M. Grillo, E. Pilia, M. Porcu, M. Vargiu</i>	
Conoscenza e approccio architettonico per la conservazione del Castello di Mirto Crosia in Calabria (Italy).....	1237
<i>C. Gattuso</i>	
Le fortezze della famiglia Ruffo in Calabria (Italia).....	1245
<i>C. Gattuso, P. Gattuso</i>	
Accessibilità integrata per architetture inaccessibili. I castelli della Sardegna (XIV-XV sec.).....	1253
<i>C. Giannattasio, A. Pinna, V. Pintus, M. S. Pirisino</i>	
Lungo le Mura del Cassaro di Palermo. Studi e rilievi architettonici e proposte per il turismo culturale.....	1261
<i>G. Girgenti</i>	
Atlante delle Opere Fortificate: un progetto ambizioso applicato alle opere fortificate alpine della Val Pellice.....	1269
<i>L. Grande, S. Pons</i>	
"Rodi antica, medievale e cavalleresca": exemplary restoration of a Walled City during the Italian Colonialism.....	1277
<i>M. M. Grisoni</i>	
Esclusione – Inclusion. Eptapyrgio, la fortezza di Salonico.....	1285
<i>S. Gron, E. Gkrimpa</i>	
Attraversare paesaggi, collegare il patrimonio: trasformazioni militari in Liguria secondo il pensiero e i progetti di Napoleone.....	1293
<i>L. Marinaro, P. Granara, S. Di Grazia</i>	
Por un plan autonómico para la gestión de los castillos en la Comunidad Valenciana (España).....	1301
<i>J. A. Mira Rico</i>	
La musealización del patio y el almacén del Palau del Castell de Castalla (Alicante, España): nuevas aportaciones para el contexto de la provincia de Alicante.....	1309
<i>J. A. Mira Rico, M. Bevià i Garcia, J. R. Ortega Pérez</i>	

Archeologia della distruzione: i seicenteschi “Castelli del Mare” presso Castelfranco, a Finale Ligure (SV). Individuazione del tracciato e dei resti di una delle più imponenti fortezze del Ponente, contributo per la salvaguardia e la valorizzazione di un sito fragile e dimenticato.....	1317
<i>G. Pertot</i>	
Impronte del passato, forme del futuro: la valorizzazione dei siti fortificati attraverso l’arte Contemporanea.....	1325
<i>S. Pons</i>	
Programme to capitalize the fortified cultural heritage in Europe Research-Tourism-Marketing-Networking.....	1331
<i>D. Röder</i>	
Memoria dell’antico in alcune fortificazioni microasiatiche.....	1335
<i>E. Romeo</i>	
Una verifica nella gestione della conservazione programmata dei castelli recetto della Valtenesi a dieci anni dalle prime azioni: valutazioni, esiti e nuovi indirizzi.....	1341
<i>B. Scala</i>	
Il patrimonio fortificato della Repubblica di Venezia: per un’ipotesi di riformulazione della candidatura UNESCO.....	1349
<i>E. Zanardo</i>	
 MISCELLANY	
Fortificación del siglo XX en la orilla norte del estrecho de Gibraltar.....	1357
<i>A. Atanasio-Guisado, A. Martínez-Medina</i>	
Fortificazioni nel Mediterraneo: disegni di ambito spagnolo nella seconda metà del XVI secolo.....	1365
<i>P. Davico</i>	
Geometria e rappresentazione nell’architettura militare e civile a Malta.....	1373
<i>A. Mollicone</i>	
El 'aura' del 'residuo': aproximación estética y fenomenológica en torno a la ruina militar Moderna.....	1379
<i>R. Nicolau Tejedor, A. Martínez-Medina</i>	
L’opera di Punta Rossa, Caprera. Strategie di conoscenza e di progetto per un patrimonio costruito militare e il suo paesaggio.....	1387
<i>S. Pieri</i>	
Protection of a UNESCO transnational site: three different legislations for the "Venetian Works of Defence between the 16th and 17th Centuries: Stato da Terra – Western Stato da Mar”.....	1395
<i>S. Rocco</i>	

Rilievo tridimensionale del palazzo fortificato di Entella

Rossana Netti^a

^aPolitecnico di Torino, Torino, Italy, rossana.netti@polito.it

Abstract

Entella is a city of ancient Sicily, whose ruins rise on the summit plateau of the homonymous Rocca. The typological complexity and the architectural and volumetric articulation of the imposing structure of the medieval castle - one among the most important testimonies found in the intramural area of the Rocca, definable from comparison to different scales (territorial, urban, architectural and detail) - have oriented this research towards a synergistic integration of different methodologies of survey: with 3D laser scanner, to obtain a three-dimensional metric model; with GPS, for the recording of scans and the definition of a topographic framework; with direct survey, for the verifications of parts and components. The main objective of this complex operation was to obtain a first and complete three-dimensional relief of the archaeological evidence belonging to the fortified palace, whose only knowledge was entrusted exclusively to two-dimensional planimetric representations (with a low scale of detail) and to partial sections obtained returning the data received from various manual survey campaigns.

Keywords: testimonianza archeologica, rilievo digitale, laser scanner, modello tridimensionale, Entella

1. Introduzione

Pur non raggiungendo una quota particolarmente elevata (altezza massima circa 557 metri s.l.m.) la Rocca di Entella si presenta da S come un'imponente roccaforte naturale isolata dalle colline circostanti (Fig. 1). Il pianoro sommitale, leggermente ondulato, è limitato sui lati E, S e O da pareti rocciose a picco, mentre sul lato N si incanala più dolcemente ad imbuto, ai due lati di un contrafforte roccioso centrale, determinando due vie di accesso naturali al sito dalla valle del Belice.

La ricerca storico-archeologica su Entella inizia nel Cinquecento e prosegue lentamente nel tempo ad opera di numerosi studiosi, fino ad arrivare agli anni Ottanta, in cui si è avuta una ripresa di interesse del sito ad opera di Giuseppe Nenci, direttore del Laboratorio di Topografia Storico-Archeologica del Mondo Antico della Scuola Normale Superiore di Pisa che, in accordo con la Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Palermo, ha avviato un organico

programma di scavi e di ricerca per arginare l'attività illegale dei tombaroli. Le esplorazioni, avvenute attraverso saggi di scavo, fotografie aeree e prospezioni geomagnetiche, hanno chiarito le linee generali della topografia della città: è stato individuato il percorso della cinta muraria, la presenza di edifici pubblici sul vallone orientale della Rocca e di altri edifici nel pianoro sommitale e in aree subacropoliche, fronti di cava, un'area di culto tesmoforico sulle pendici N, un castello arabo-normanno, strutture murarie emergenti sul Pizzo della Regina e per finire tre necropoli (Fig. 2).

"Così Entella da 'grande dimenticata fra le città elime', come la definì Nenci tratteggiandone la storia degli studi nell'enfasi delle fervide iniziative promosse a favore della sua Rocca, può considerarsi oggi", dopo la scomparsa di colui che per primo ne ha promosso l'indagine sistematica, «un fulcro di continue ricerche e di rinnovato interesse per l'intera area elima» (De Cesare, 2001).



Fig. 1- La Rocca di Entella vista da Sud (foto di Rossana Netti, 2011)

Gli estremi cronologici entro cui si inquadra la lunga vita dell'insediamento sulla Rocca sono dalla fine del Neolitico alla sconfitta definitiva della resistenza araba da parte di Federico II nel 1246, cui seguì il definitivo abbandono della città. All'interno di questa cornice, gli edifici e i frammenti riportati alla luce nel corso delle indagini archeologiche testimoniano alcune delle fasi più significative della vita della città (Michelini, 2003: p. 933).

2. Caratteristiche tecniche e materiche delle strutture

Le fasi che - allo stato attuale - risultano aver lasciato maggiori tracce nell'area intramuranea sono quella tardoarcaica e della prima età classica, quella protoellenistica e quella medievale-sveva. A quest'ultima fase appartiene il palazzo fortificato (SAS 1/2), macroscopica testimonianza dell'ultimo periodo di vita della città (Fig. 2).

Le indagini archeologiche condotte dalla Scuola Normale Superiore di Pisa hanno dunque messo in luce un insieme di strutture murarie e di edifici appartenenti a diverse fasi insediative, dai quali è stato possibile reperire numerose informazioni relative ai materiali e alle tecniche costruttive utilizzati nel corso dei secoli.

Secondo quanto riportato dal geologo Ignazio Gennusa, che si è occupato di redigere un attento e puntuale rilievo geologico della Rocca e una

campionatura dei materiali lapidei utilizzati nelle strutture, lo studio dell'attività umana non può prescindere dalla conoscenza dell'ambiente naturale in cui essa si svolge, in quanto intimamente legata all'utilizzo delle risorse del

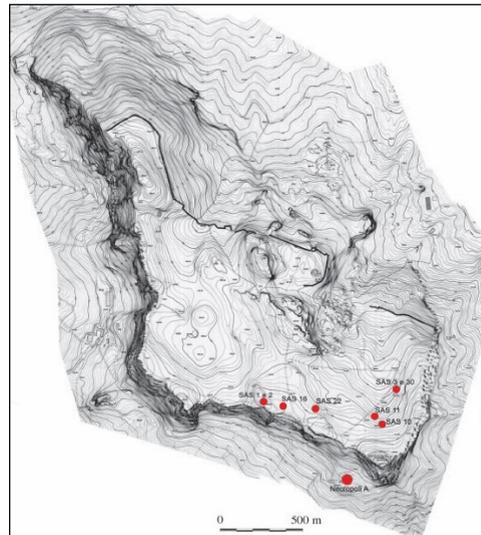


Fig. 2- Carta della Rocca di Entella con indicazione dei saggi che hanno restituito evidenze archeologiche più consistenti. La linea continua sui versanti N/NO e N/NE evidenzia il percorso della cinta muraria. Immagine tratta da: *Quarte Giornate Internazionali di Studi sull'area elima*. (2003) 1-4 dicembre 2000 (Erice). Pisa, Tav. CLXIV

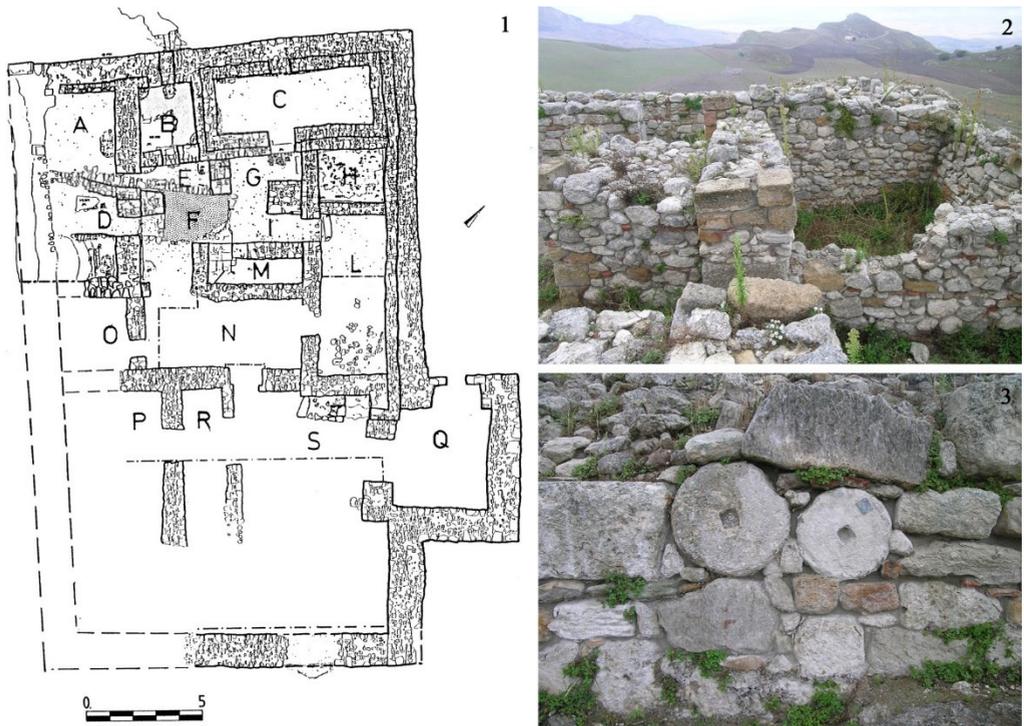


Fig. 3- **1**: Rocca di Entella, palazzo fortificato, planimetria. Immagine tratta da *Giornate Internazionali di Studi sull'area elima* (1992) 19-22 settembre 1991, Gibellina. Pisa-Gibellina. **2-3**: Composizione materica dei muri appartenenti all'edificio medievale (foto di Rossana Netti, 2011)



Fig. 4 - Rocca di Entella, **1**: blocco costituito da gessi selenitici stratificati, formati da cristalli di gesso geminati a coda di rondine, separati da sottili lamine gessarenitiche e carbonatiche; **2**: affioramento di gessi aciculati, costituiti da aggregati di piccoli cristalli di gesso aghiformi, disposti in posizione orizzontale o leggermente inclinata rispetto ai piani di strato e intercalati a lamine ondulate carbonatico-gessose (foto di Marco Roggero, 2011)

territorio, come la potenzialità di sfruttamento dei terreni per uso agricolo, le risorse idriche o la possibilità di reperimento delle risorse litiche. I dati presentati dal geologo Gennusa in merito all'edificio medievale, chiariscono la composizione materica e la distribuzione metrica dei blocchi litici all'interno dei muri (Fig. 3).

L'edificio presenta una struttura articolata in un insieme di ambienti, i cui resti dell'alzato murario raggiungono in alcuni punti un'altezza di circa un metro e mezzo; i muri hanno uno spessore compreso tra i 60 centimetri e 1 metro e sono costituiti da un doppio paramento di blocchi, in genere appena sbazzati, talvolta ben squadri,

regolarizzati e livellati da elementi di piccola pezzatura e da frammenti di tegole, mattoni e coppi. Negli angoli sono utilizzati grossi blocchi squadrati, quasi certamente di reimpiego. I paramenti all'interno sono riempiti con elementi litici in genere non lavorati e di piccola taglia, i quali risultano annegati nel legante. Le percentuali dei materiali da costruzione rilevati risultano essere: gessi 38% (Fig. 4); calcari 26%; arenarie 11%; laterizi 3%; legante 22%. Questa puntuale e attenta analisi dei materiali lapidei impiegati nelle strutture rinvenute sulla Rocca ha evidenziato che il loro utilizzo non è continuo nel tempo, ma è distinto per fasi cronologiche: in età classica ed ellenistica è stato utilizzato esclusivamente il gesso, estratto negli affioramenti *in situ*, nel periodo medievale, invece, si è fatto largo uso di materiali polilitici (calcari e arenarie), reperiti in aree limitrofe alla Rocca. Nelle costruzioni di questa fase, il gesso utilizzato proviene in prevalenza dal riutilizzo di strutture antiche.

3. Il sistema del costruito: ipotesi restituitiva

Il palazzo fortificato (SAS 2) (Figg. 5-6) presenta una struttura rettangolare, orientata NO-SE, il cui lato prospiciente il precipizio perimetrale della Rocca si conserva solo in minima parte. Sul lato NE sporge dal perimetro dell'edificio una torre quadrangolare (ambiente Q), con l'unico accesso individuato.

Per quanto riguarda la distribuzione degli spazi interni (Fig. 5), gli ambienti si dispongono intorno ad un cortile (ambiente F), con acciottolato e canaletta per convogliare le acque piovane. Sempre dal cortile F si accede alle scale (ambiente M) in gradini di tufo accuratamente sagomati. All'interno di questo primo gruppo di ambienti è stato individuato un bagno riscaldato a vapore o *hammam* (ambiente B): presenta un pavimento in coccio pesto poggiante su pietre rozzamente appiattite, a loro volta poste su pietre squadrate rette da *suspensurae* in blocchi di tufo.

Ben poco si conosce dell'alzato: le scale nell'ambiente M individuano almeno un piano superiore, reso possibile anche dallo spessore dei muri; si suppone che la copertura fosse a volta in pietra e il pavimento dei piani superiori in coccio pesto (ritrovato in frammenti negli strati di crollo). Sulla base di alcuni ritrovamenti archeologici si

può affermare che l'edificio sia stato abbandonato con la fine di Entella, mentre per quanto riguarda le fasi precedenti si può ipotizzare che tra la fine dell'XI e la prima metà del XII secolo siano sorte piccole abitazioni ad un solo piano con un muro di cinta (Fig. 7a); alla seconda metà del XII secolo risalirebbe la costruzione di una possente struttura fortificata che ingloba il precedente muro di cinta, con torre di accesso (fig. 7b); tra la fine del XII e il primo quarto del XIII secolo il fortilizio subirebbe una trasformazione, diventando un palazzo signorile (Fig. 7c).

Gli studi effettuati da Alessandro Corretti, archeologo della SNS di Pisa, per ricondurre alcuni aspetti architettonici e funzionali del palazzo a tipologie già note, hanno evidenziato possibili comparazioni cronologiche, ma soprattutto confronti plausibili per vicinanza territoriale. Edifici fortificati a pianta rettangolare, i cosiddetti "dongioni", non mancano nella Sicilia normanna: i riferimenti più evidenti testimonierebbero un diretto contatto con la Francia centro-settentrionale e con l'Inghilterra. Un altro richiamo ai dongioni è possibile anche tenendo conto della posizione dominante rispetto all'abitato e della collocazione del palazzo su di un lieve rialzo. Esistono tuttavia varie differenze importanti, tra cui la presenza, nel palazzo, di almeno un cortile interno (ambiente F), assente in tutti i più noti dongioni normanni della Sicilia o della Francia.

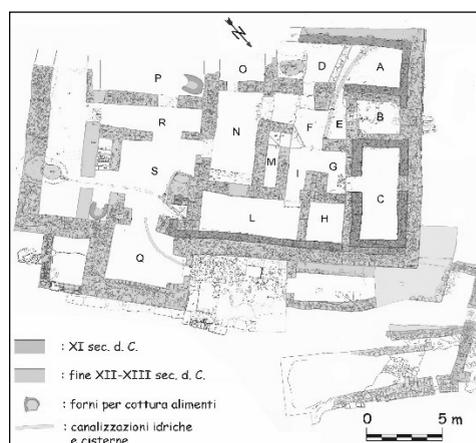


Fig. 5 - Rocca di Entella, il palazzo fortificato. Pianta di fine scavo con periodizzazione (elaborazione grafica di C. Cassanelli, 1995)



Fig. 6- Rocca di Entella, area del palazzo fortificato medievale (SAS 1/2). Viste da pallone, 2001. Immagini tratte dal sito <http://lsa.sns.it>

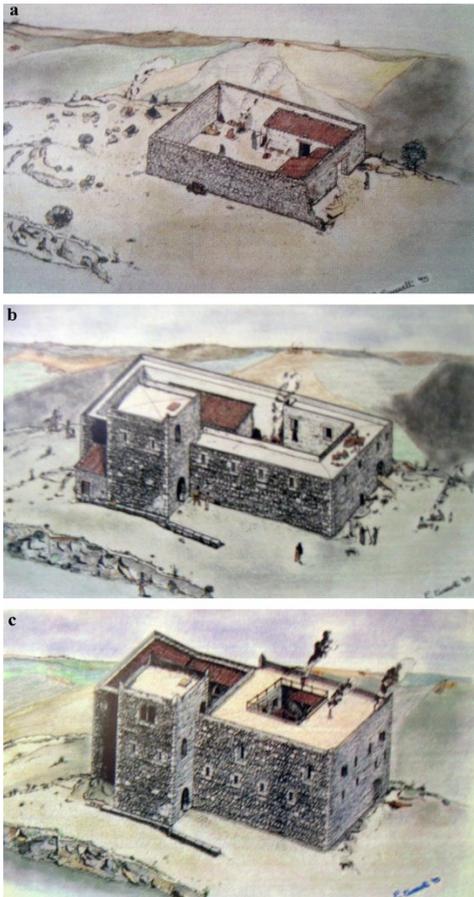


Fig. 7- Ricostruzione di alcune fasi edilizie del palazzo fortificato. Le immagini sono riprodotte su uno dei pannelli esplicativi presenti nell'Antiquarium Comunale "Giuseppe Nenci" di Contessa Entellina (disegni di C. Cassanelli, 1995)

La presenza di un cortile aperto implica anche una ripartizione degli spazi interni centripeta e non lineare, quindi totalmente diversa rispetto ai modelli sopra citati: il vero dongione normanno infatti presenta una suddivisione in due o tre grandi spazi paralleli, separati da muri mediani che servono di appoggio per le volte o i tavolati dei piani superiori (Corretti, 1989, 2011).

In sintesi si può, dunque, affermare che il palazzo fortificato di Entella, sorto nel XII secolo, richiami nell'aspetto esterno i dongioni rettangolari della Francia, dell'Inghilterra e della Sicilia normanna, differenziandosene decisamente per la ripartizione degli spazi interni e per la concezione della parte abitativa (ispirata invece a modelli del mondo islamico). Dal punto di vista difensivo, invece, i costruttori si saranno avvalsi degli accorgimenti maturati in Terrasanta dal contatto con le esperienze militari islamiche e bizantine.

4. Rilievo tridimensionale con laser scanner georeferito con GPS

La complessità tipologica e l'articolazione architettonica e volumetrica di questo sito, definibile dal confronto a scala territoriale, urbana, architettonica e di dettaglio, ha indirizzato la ricerca verso un'integrazione sinergica di diversi metodi di rilievo: con laser scanner 3D, per ottenere un modello tridimensionale metrico; topografico e GPS, per la registrazione delle diverse scansioni e per la definizione di una rete di inquadramento complessiva; fotografico e diretto, applicato nelle zone non accessibili e per le verifiche di parti e componenti. Il fine del processo conoscitivo del sito

lega necessariamente le due fasi che lo compongono, quella del rilievo e quella della rappresentazione. Il singolo dato di un rilievo, visto come semplice elemento quantitativo all'interno della maglia dei punti acquisiti con lo strumento, va interpretato qualitativamente per permettere una comprensibile descrizione del reale. Questo processo - che in ambito archeologico è ancor più complesso e faticoso a causa della non facile lettura delle superfici - dopo varie fasi di analisi necessita di una preventiva determinazione dei piani di riferimento utili al rilievo per poter raggiungere, in fase di rappresentazione, una corretta descrizione qualitativa. La fase rappresentativa è dotata di una valenza sintetica, estrattiva, che rende il rilievo-disegno un'operazione progettuale vera e propria, con implicazioni di tipo critico-conoscitivo, per ottenere un'accettabile grado di precisione geometrica, ma anche e soprattutto di rappresentazione concettuale. L'iter di elaborazione dei dati si sviluppa dunque in due fasi: quella di estrazione di coordinate, linee o superfici dalla banca dati 3D, per ottenere una sintesi descrittiva di ciò che si vuole rilevare, e quella successiva di simulazione delle visualizzazioni canoniche quali piante, sezioni e prospetti.

Prima di iniziare il processo di scansione del palazzo fortificato di Entella è stata effettuata una ricognizione del sito, per definire esattamente i punti di stazione (fig. 8), evitando così lo spreco di tempo nell'acquisizione di un numero troppo elevato e ridondante di dati, o al contrario per non procedere in maniera troppo speditiva, causando la perdita di informazioni importanti. Tenendo conto della tipologia di laser scanner in dotazione (FARO CAM2 Laser Scanner Focus^{3D}) (fig. 9) e delle sue fondamentali caratteristiche, è stato utile considerare alcuni fattori importanti ai fini del rilievo: innanzitutto le dimensioni delle aree da misurare (per stabilire le parti in sovrapposizione di ciascuna scansione); la geometria delle strutture (per valutare le zone di discontinuità e quelle piane); le zone d'ombra (quelle aree in cui il raggio laser non può giungere a causa di un'ostruzione); per concludere, l'ambiente nel quale si trova l'oggetto delle scansioni.

Data la rilevante estensione dell'area (al palazzo è infatti annesso un edificio inferiore – SAS1 – che è stato considerato nel progetto di rilevamento) e la

particolare geometria delle strutture, non è stato possibile evitare la presenza di alcune zone d'ombra. Sarebbe stato necessario, a tal fine, eseguire molte più scansioni e questo avrebbe determinato non solo un maggior dispendio di tempo nell'acquisizione dei dati, ma soprattutto un numero di sovrapposizioni troppo elevato, con il conseguente aumento della percentuale di errore nelle successive fasi di unione.



Fig. 8- Rocca di Entella, area del palazzo fortificato e dell'edificio inferiore. In rosso la localizzazione dei 18 punti di scansione



Fig. 9- Rocca di Entella, area del palazzo fortificato vista da S/E. Campagna di rilevamento con laser scanner (foto di Rossana Netti, 2011)

È stato inoltre effettuato un dettagliato rilievo fotografico delle aree interessate ed è stata eseguita la verifica dei rilievi manuali e la rielaborazione della catalogazione riguardante i frammenti architettonici appartenenti al monumento, alcuni rimasti *in situ*, altri conservati nell'Antiquarium Comunale "Giuseppe Nenci" di Contessa Entellina, altri ancora depositati nel magazzino gestito dalla SNS di Pisa, dove sono conservati i numerosissimi reperti recuperati durante le campagne di scavo iniziate nel 1985.



Fig. 10- Rocca di Entella, Pizzo della Regina. Rilievo con GPS cartografico (foto di Rossana Netti, 2011).

Per georeferenziare le aree indagate è stato eseguito un rilievo con GPS cartografico (modello GMS-2/PRO) dei limiti delle maglie di acquisizione della prospezione superficiale, senza trascurare i vari livelli che definiscono l'andamento delle strutture. Il rilievo delle quote ha interessato anche il punto più alto della Rocca (556,75 metri s.l.m.), che si trova sul Pizzo della Regina (fig. 10). Questo ha consentito di georeferenziare in un unico sistema di riferimento tutti i dati raccolti con la possibilità di mettere in mappa i risultati.

4.1 Le fasi di modellazione tridimensionale

Per elaborare i dati rilevati sul campo, si è deciso di utilizzare il *software 3DReshaper Application* (Fig. 11), che permette la gestione di nuvole di punti molto grandi, con la possibilità di ridurle attraverso algoritmi determinabili attraverso scelte non automatiche, ma definite volta per volta dall'operatore. Non avendo utilizzato *target* durante le fasi di scansione, l'allineamento è stato effettuato mediante il riconoscimento di punti omologhi (Figg. 12-13). L'operazione di modellazione vera e propria è stata il passaggio successivo, con la trasformazione della nuvola di punti in una superficie continua, tramite la generazione delle *mesh* (nel caso di oggetti complessi caratterizzati da molte discontinuità, come nel caso del palazzo fortificato di Entella, ottenere un modello corretto richiede tempi di elaborazione molto lunghi e un notevole intervento da parte dell'operatore). Le *mesh* ottenute sono state successivamente unite, per poi procedere con la fase finale di estrapolazione di piante, sezioni e prospetti, esportabili in formati compatibili con ambiente CAD (figg. 14-15).



Fig. 11- Interfaccia grafica del *software 3DReshaper Application*

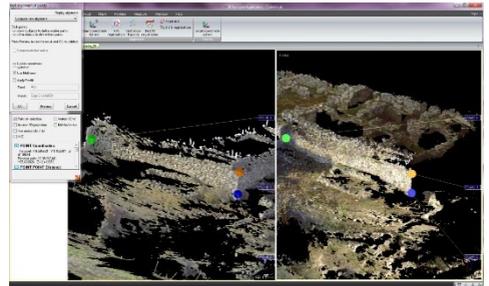


Fig. 12- Registrazione mediante punti omologhi

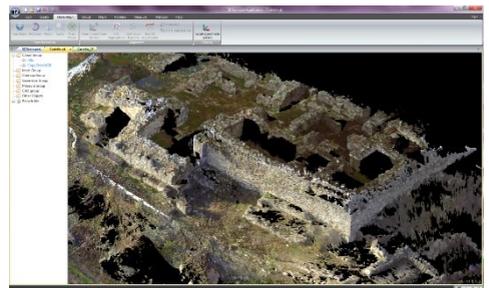


Fig. 13- Risultato dell'allineamento mediante punti omologhi



Fig. 14- Planimetria generale del palazzo fortificato di Entella ottenuta dopo l'unione di tutte le scansioni.



Fig. 15 - Prospetto N/O del palazzo fortificato (elaborazione grafica di Rossana Netti, 2013)

5. Conclusioni

Le tecniche di acquisizione laser scanner, unite a quelle di modellazione CAD, forniscono un modello matematico della realtà, da cui si possono ricavare informazioni utili all'analisi dell'oggetto studiato e su cui è possibile effettuare simulazioni senza intaccare il manufatto reale. Nel caso specifico del palazzo fortificato di Entella, il principale obiettivo legato all'utilizzo di queste tecnologie è stato quello di compiere un primo passo nella composizione di un utile archivio della memoria geometrica del sito archeologico, a supporto delle indagini e della ricerca da parte degli studiosi coinvolti, ma anche

per successivi scopi di tutela, di conservazione e di fruizione da parte di un pubblico più vasto.

Notes

Il rilievo tridimensionale del palazzo fortificato di Entella è stato effettuato nel 2011, con la consulenza scientifica dell'arch. Mauro Luca de Bernardi e dell'ing. Marco Roggero del Politecnico di Torino, dietro autorizzazione del Laboratorio di Storia, Archeologia e Topografia del Mondo Antico, della SNS di Pisa. La ricerca è stata svolta nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Beni Culturali del Politecnico di Torino (tutor prof. Anna Marotta).

References

- Balzani, M. (2007) Rilievo morfometrico tridimensionale a Pompei. In Curuni, S.A. & Santopuoli, N. (eds) *Pompei. Via dell'Abbondanza*. Milano, Skira.
- Balzani, M., Montani, C., Prearo, G., Scopigno, R. & Uccelli, F. (2006) Il rilievo laser scanner terrestre come integrazione dei sistemi informativi di documentazione storica e di restauro. In: *Atti della X Conferenza Nazionale ASITA, 14 - 17 Novembre 2006, Bolzano*.
- Callieri, M., Cignoni, P., Ganovelli, F. et al. (2004) Visualization and 3D data processing in David's restoration. *IEEE Computer Graphics & Applications, IEEE Comp. Soc.*, 24 (2), 16-21.
- Corretti, A. (2011) Entella. Area del palazzo fortificato medievale. Scavo nell'edificio inferiore. *Notizie degli Scavi di Antichità comunicate dalla Scuola Normale Superiore di Pisa. Rassegna Archeologica del LSATMA, «ASNP»*, 5 (3/2), Supplemento, 53-70.
- Corretti, A. (1989) Il palazzo fortificato di Entella nel panorama siciliano. In: *Giornate Internazionali di Studi sull'area elima, 19-22 settembre 1991, Gibellina, Pisa-Gibellina 1992*.
- Crosilla, F. & Dequal, S. (eds.) (2006) *Laser Scanning Terrestre*. Udine, CISM (International Centre for Mechanical Sciences).
- De Cesare, M. (2001) Entella: storia della ricerca da Fazello ai nostri giorni. In: Ampolo C. et al. *Da un'antica città di Sicilia. I decreti di Entella e Nakone*. Catalogo della mostra. Pisa.
- Gennusa, I. (1997) I materiali lapidei nelle strutture archeologiche di Rocca d'Entella. In: *Seconde Giornate Internazionali di Studi sull'area elima. 22-26 ottobre 1994, Gibellina. Pisa-Gibellina*, pp. 845-864.
- Francovich, R. & Campana, S. (2006) *Laser scanner e GPS: paesaggi archeologici e tecnologie digitali 1*. All'Insegna del Giglio, Firenze.
- Michelini, C. (2003) Entella fra III sec. a.C. e I sec. d.C.: note preliminari. In: *Quarte Giornate Internazionali di Studi sull'area elima, 1-4 dicembre 2000, Erice. Pisa*