

# Nora (Pula, CA) - Ex base della Marina Militare

## La struttura a esedra dell'area Omega.

### Un esempio di documentazione digitale di un monumento in fase di scavo

Emiliano Cruccas, Luca Lanteri

**Riassunto:** Dal 2013 l'Università di Cagliari opera nel settore della città punico-romana di Nora occupata in passato da una base della Marina Militare. Le indagini hanno permesso di portare alla luce un settore caratterizzato dalla presenza di un ampio spazio pavimentato con basoli di andesite e segnato dalla presenza di strutture monumentali e decorative connesse con l'acqua. Tra queste, ne viene qui analizzata una conformata a esedra, il cui studio e rilievo è corredato da una elaborazione di un modello digitale eseguito attraverso l'uso di software fotogrammetrico.

**Parole chiave:** Nora, Sardegna, età romana, fotogrammetria.

**Abstract:** Since 2013, the University of Cagliari has been operating in the sector of the Punic-Roman city of Nora, formerly occupied by a Navy base. The investigations allowed to bring to light a sector characterized by the presence of a large space paved with andesite blocks and marked by the presence of monumental and decorative structures connected with the use of water. Among these, here is analyzed an exedra structure, whose study and relief is accompanied by a processing of a digital model performed through the use of photogrammetric software.

**Keywords:** Nora, Sardinia, Roman age, Fotogrammetry.

#### INTRODUZIONE

Le attività di scavo dell'Università di Cagliari nella città punico-romana di Nora<sup>1</sup>, cominciate nel 2013, sono concentrate in un'area di circa 15000 mq (Fig. 1), collocata nel settore nord-orientale del promontorio e parte di uno spazio per lungo tempo occupato da una base della marina militare<sup>2</sup>. L'area (Fig. 2) si sviluppa in un settore che, partendo dalle pendici nordoccidentali del cosiddetto colle di Tanit, si estende fino ai limiti dell'area archeologica,

---

<sup>1</sup> Isthmos Project: prof. Marco Giuman (direzione), dr.ssa Romina Carboni (coordinamento scientifico), dr. Emiliano Cruccas (coordinamento attività di scavo e ricerca), dr. Luca Lanteri (coordinamento rilievo topografico), dr.ssa Miriam Napolitano (coordinamento laboratorio e magazzino reperti).

<sup>2</sup> Sulle attività di questi primi sette anni di ricerca si vedano: ANGIOLILLO *et alii* 2016; CARBONI 2017; CARBONI, CRUCCAS 2017; CARBONI *et alii* 2014; CRUCCAS 2017; CARBONI, GIUMAN 2018.



in direzione della strada moderna di accesso al sito. Il settore più settentrionale della particella indagata ha restituito un contesto di notevole importanza<sup>3</sup> per la definizione degli spazi urbani della città di Nora e della loro distribuzione in età imperiale. In particolare, una parte di pavimentazione in basoli di andesite<sup>4</sup>, realizzata con la stessa tecnica delle arterie stradali che percorrono tutto l'abitato, si è rivelata essere una porzione di un'ampia area aperta, verosimilmente uno spazio pubblico di una città che sembra denotare la sua natura policentrica. Le interpretazioni relative a questo spazio sono, per evidenti motivi, ancora in fase embrionale. Tuttavia, questo ampio spazio aperto, segnato da elementi legati all'adduzione dell'acqua in città in età imperiale, sembra essere ascrivibile ad un unico progetto connesso con la realizzazione di una porzione della rete stradale principale di Nora. Le prossime campagne di scavo saranno finalizzate al recupero di ulteriori dati relativi alla conformazione e alla stratigrafia di questo settore, al fine di collocarlo in maniera più puntuale all'interno del tessuto urbano cittadino.

(E. C.; L. L.)

#### LA STRUTTURA A ESEDRA DELL'AREA OMEGA: IL CONTESTO

L'area denominata Omega (Fig. 3) si presenta come uno spazio aperto, realizzato in grossi basoli di andesite viola locale, del tutto simili per caratteristiche e tecnica di lavorazione a quelli delle arterie stradali che percorrono l'area urbana di Nora. La presenza di edifici sul lato est, con murature realizzate attraverso la posa in opera di grossi blocchi irregolari e elementi di reimpiego, ma soprattutto di una vasca circolare di circa 6 metri di diametro<sup>5</sup> (Fig. 4) e di una struttura a esedra<sup>6</sup> (Fig. 5) realizzata con chiaro intento decorativo, sembrano fotografare una situazione relativa ad una piazza monumentalizzata sicuramente connessa con importanti funzioni civili e religiose. Di questo spazio, ancora in fase di scavo e di cui verrà dato conto in maniera dettagliata in altra sede, si presenta qui un aspetto che, per differenti motivi, evidenzia peculiarità e unicità all'interno del contesto isolano di riferimento.

---

<sup>3</sup> Il lotto di materiali provenienti da questa area si presenta sostanzialmente uniforme, con un orizzonte cronologico collocabile grossomodo nei secoli V-VI d.C. I reperti ceramici sono infatti riconducibili ad alcune produzioni da cucina di importazione (*Pantellerian ware*), con alcune imitazioni locali, e da mensa (sigillate africane, produzioni C e D).

<sup>4</sup> Sulle cave presenti nel territorio di Nora relative a questo materiale, largamente utilizzato nell'area urbana di Nora, si veda PREVIATO 2016: 60-83.

<sup>5</sup> Al centro di questo settore è venuta alla luce una porzione di un'apertura circolare sul livello della pavimentazione, dalla quale si sviluppa il negativo di una canalizzazione che si dirige con una leggera pendenza verso la struttura semicircolare. La canaletta ricavata sotto il livello del basolato, riempita di terra compattata e la cui traiettoria congiunge l'esedra e il settore meridionale dell'area di scavo, termina, appunto, in uno spazio aperto di forma circolare (diametro ipotizzabile tra i 5,50 e i 6 m.), caratterizzato dalla presenza di elementi in malta idraulica e tracce in negativo di strutture in metallo pertinenti alla canalizzazione delle acque. Queste ultime viaggiavano verso la struttura semicircolare dal grande vaso circolare, ora riempito di terra compatta e materiale di crollo. Il profilo interno della vasca, dove si evidenzia la presenza di malta idraulica, è segnato da un filare di grossi blocchi rettangolari con dimensioni della faccia a vista di 40x40 cm.

<sup>6</sup> Sul termine "esedra" e sulle sue accezioni e interpretazioni si rimanda all'esaustiva analisi in SETTIS 1973.

La struttura a pianta semicircolare, infatti, rappresenta un *unicum* nel panorama delle città di età romana in Sardegna. L'esedra<sup>7</sup> (dimensioni, circa 2,8 x 1,9m, conservata in altezza dal piano pavimentale 1,7 m) è impostata su uno spazio in parte risparmiato del piano basolato e collocata a est di una muratura pertinente ad un edificio a pianta quadrangolare. Quest'ultimo è caratterizzato dall'utilizzo di grossi blocchi squadri alternati a parti realizzate con pietrame di media pezzatura con la tessitura tipica della muratura "a orditura di ritti"<sup>8</sup>. Tra le due strutture il limite del piano basolato è segnato da un cordolo in blocchi monolitici quadrangolari di forma allungata, della stessa pietra locale e del tutto simili a quelli individuati negli altri settori nei quali sono presenti tratti della strada denominata E-F, che percorre sul lato orientale il blocco edilizio noto come *Insula A*.

La struttura a esedra è costituita da un nucleo di pietrame e malta, rifasciato da laterizi *bessales* tagliati a metà in diagonale e inseriti in modo da lasciare il lato più lungo a vista, con diversi strati di malta che vanno a ricoprire anche lembi del basolato circostante. I residui di malta sono maggiormente concentrati in prossimità del livello pavimentale, con chiaro intento impermeabilizzante, così da costituire un cordolo che percorreva tutto il lato inferiore esterno della struttura, aderendo ai basoli in andesite sui quali la struttura si imposta, al fine di creare degli inviti per il deflusso delle acque verso i lati della strada.

Sul lato orientale dell'esedra è presente una vaschetta monolitica di forma quadrangolare, fortemente danneggiata nella parte centrale e caratterizzata da angoli vivi all'esterno e arrotondati nella parte interna. La vasca poggia su un basamento costituito da 3 blocchi in biocalcare locale che insistono direttamente sul piano stradale basolato, fatto che porterebbe ad ipotizzare la costruzione di questo avancorpo in una seconda fase.

(E. C.)

#### IL RILIEVO TOPOGRAFICO FINALIZZATO ALL'ANALISI ARCHEOLOGICA. UNA QUESTIONE DI METODO

Lo studio di un contesto archeologico articolato e complesso come quello dell'area Omega di Nora non può prescindere da un'attenta analisi tecnica dei dettagli costruttivi delle strutture messe in luce. In un contesto con queste caratteristiche anche la più labile traccia concorre a ricostruire il quadro archeologico generale. Il dato scientifico, pertanto, va ricercato attraverso l'analisi minuziosa del singolo particolare per risalire ad una corretta ricostruzione archeologica. Al conseguimento di questo risultato concorre in maniera determinante il rilievo delle strutture eseguito alla massima scala di dettaglio.

---

<sup>7</sup> La struttura è attualmente oggetto di un progetto di consolidamento e restauro, concordato con la Soprintendenza ABAP competente, ad opera dell'équipe diretta da C. Giannattasio (Dipartimento di Ingegneria civile, ambientale e Architettura) e S.M. Grillo (Dipartimento Scienze Chimiche e Geologiche) dell'Università degli Studi di Cagliari.

<sup>8</sup> GHIOTTO 2004: 13-14. La muratura con andamento SE/NO presenta, alla quota più alta, una parte in pietrame misto legato da malta, simile alla struttura ad esedra.

In anni recenti il rapido sviluppo delle tecniche di rilievo e modellazione tridimensionale ha contribuito al diffuso utilizzo nel campo della documentazione archeologica di sistemi di acquisizione digitali.

Questi sistemi hanno l'innegabile vantaggio di una più rapida e precisa restituzione del dettaglio geometrico dei contesti indagati in confronto ai tradizionali metodi topografici di rilievo indiretto strumentale e di rilievo diretto, con i quali si operava quasi esclusivamente sino a qualche decennio addietro<sup>9</sup>.

L'impiego di queste tecnologie appare pertanto oggi imprescindibile e risolutivo; a ben guardare questa pratica ha nel tempo limitato un aspetto importante nell'approccio metodologico allo studio dei contesti archeologici, e cioè l'analisi preliminare dei particolari costruttivi, funzionali e decorativi delle strutture, che tradizionalmente veniva condotta in maniera meticolosa durante le operazioni di rilievo archeologico diretto. Questo approccio "costringeva" l'archeologo ad un costante lavoro di analisi oggettiva del manufatto per poter restituire sia il dato dimensionale, sia il "senso" attraverso la resa grafica di planimetrie, prospetti e sezioni. Forse, risiede proprio in quest'ultimo aspetto l'unico limite delle moderne tecnologie, e cioè "allontanare" lo studioso dal contesto archeologico nel momento della restituzione grafica.

L'uso integrato dei sistemi tradizionali di rilievo e delle più recenti tecniche appare oggi un compromesso ragionevole. A patto che si stabilisca di volta in volta con quali modalità e con quali strumenti debba essere realizzata la documentazione, sempre nel rispetto degli imprescindibili criteri scientifici propri della disciplina archeologica.

I sistemi di acquisizione tridimensionale più utilizzati in ambito archeologico possono, in estrema sintesi, distinguersi in strumenti che utilizzano "sensori attivi" o "sensori passivi"<sup>10</sup>. A quest'ultima categoria appartengono tutti i sistemi *image based*, ispirati ai principi della fotogrammetria, che consentono di ottenere misure accurate a partire da set di immagini fotografiche acquisite da sensori satellitari, aerei e terrestri<sup>11</sup>.

La diffusione dei software di fotogrammetria digitale *close range*, che garantiscono una elevata automazione delle operazioni di orientamento, ha reso l'utilizzo di quest'ultimi accessibile

---

<sup>9</sup> Per rilievo indiretto strumentale si intende l'uso di strumentazione topografica tradizionale (teodoliti, Total Station, sistemi GNSS) impiegati per la misura dei punti topografici di appoggio funzionali alla restituzione cartografica finalizzata alla ricerca archeologica, alle diverse scale di dettaglio.

<sup>10</sup> Questi sensori consentono acquisire le informazioni necessarie per generare un modello tridimensionale della scena inquadrata; i metodi di misura si dicono passivi se sfruttano la luce naturale (*image based*: tecnica fotogrammetrica, oppure teodoliti, etc.); se invece le onde elettromagnetiche sono codificate in maniera da svolgere un ruolo attivo nel processo di misura, si rientra nel campo dei sensori attivi (*range based*: laser scanner, LIDAR, strumenti a proiezione di luce strutturata, Total station, etc.). Per una panoramica sull'argomento si veda REMONDINO, CAMPANA 2014.

<sup>11</sup> Le applicazioni fotogrammetriche digitali si basano sulla possibilità di stabilire una relazione geometrica fra le immagini e la scena reale al momento della ripresa fotografica. Un punto della scena è restituito tridimensionalmente solo se è visibile nell'area di sovrapposizione di due fotogrammi (punto omologo), ripresi da punti di presa differenti. (MIKHAIL *et alii* 2001, LUHMANN *et alii* 2014).

anche ad operatori non specializzazione in campo fotogrammetrico favorendo l'impiego diffuso di questi sistemi direttamente demandato ad operatori archeologi<sup>12</sup>.

I sistemi descritti consentono la realizzazione di modelli digitali del terreno molto accurati da cui è possibile estrarre prodotti cartografici finalizzati alla ricerca archeologica e restituiti alla massima scala di dettaglio con un grado di precisione più che accettabile.

Alla luce di quanto premesso la documentazione grafica delle evidenze archeologiche messe in luce nel Saggio Omega è stata condotta seguendo un approccio metodologico che prevede l'integrazione delle moderne tecniche con il rilievo diretto. Questa scelta ha tenuto in considerazione tutta una serie di fattori, non ultimo quello delle esigenze di uno scavo didattico a cui è demandato l'insegnamento di un metodo scientifico che non può prescindere dalle basilari nozioni di documentazione. Pertanto, lo scavo stratigrafico è stato documentato mediante la redazione di documentazione grafica eseguita con i sistemi tradizionali ed in parte integrata con rilievi fotogrammetrici nel caso di situazioni stratigrafiche particolarmente articolate il cui rilievo diretto avrebbe richiesto tempi troppo lunghi quindi, incompatibili con le esigenze di scavo<sup>13</sup>.

Per la redazione della documentazione archeologica delle strutture messe in luce, vista la loro natura, si è optato per un rilievo fotogrammetrico in parte integrato con elementi di dettaglio ottenuti con le tecniche tradizionali. In effetti durante le prime campagne di scavo, quando furono messi in luce l'edifizio ed un piccolo lacerto pavimentale si decise di documentare quest'ultimo mediante "raddrizzamento fotografico" (più correttamente rilievo fotogrammetrico monoscopico), basato sulla rettificazione di una o più immagini ed eventuale loro mosaicatura. La restituzione monoscopica assolve alle operazioni necessarie per ottenere un'immagine priva delle deformazioni prospettiche che affliggevano il fotogramma originario.

Questo sistema fotogrammetrico consente con semplici operazioni di realizzare ortofotopiani da cui acquisire misure lineari e ricavare rilievi planimetrici in scala (immagine metrica) in modo speditivo. Questa "semplificazione" del processo fotogrammetrico che si basa sulla ripresa di un singolo fotogramma, non consente la restituzione di un modello

---

<sup>12</sup> I sistemi fotogrammetrici fondano il loro attuale successo commerciale sulla versatilità e la molteplicità dei campi di utilizzo, che variano dall'impiego a scala topografica sino alla restituzione in scala 1:1 di singoli elementi decorativi. A ciò si aggiunge il non trascurabile vantaggio di un costo contenuto di attrezzature e software che costituiscono il sistema. Nonostante il diffuso impiego, ancora oggi i sistemi *range based* (scanner 3D e LIDAR), richiedono mediamente un investimento economico maggiore non sempre giustificabile, a seconda dei casi, dal livello di precisione che questi sistemi raggiungono.

<sup>13</sup> Tutta la documentazione grafica redatta viene vettorializzata e distinta tra documentazione grafica dello scavo stratigrafico e planimetrie aggiornate di fine scavo che confluiscono nella cartografia archeologica generale degli scavi. Tutti i prodotti cartografici sono riferiti ad almeno tre capisaldi della maglia topografica di riferimento espressa nell'ellissoide di riferimento WGS-84 (World Geodetic System 1984), sotto forma di coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z), e coordinate geografiche ellissoidiche (Latitudine, Longitudine, Quota ellissoidica). Per maggiori dettagli sulle modalità di redazione della cartografia di base si veda: CARBONI *et alii* 2014.

tridimensionale dell'oggetto ripreso, ma permette di eliminare quasi del tutto le deformazioni prospettiche che affliggono le riprese fotografiche<sup>14</sup>.

Questa metodologia presuppone quindi che l'oggetto ripreso sia piano (o possa essere assimilato ad una superficie piana), come nel nostro caso, con la presenza di un lacerto pavimentale molto pianeggiante<sup>15</sup>. Sarà possibile determinare una trasformazione matematica omografica che elimina gli effetti della prospettiva e produce una nuova proiezione centrale coincidente con una proiezione ortogonale del piano ripreso nel fotogramma<sup>16</sup>.

Si è proceduto con le riprese da terra condizionate dalla necessità di attingere la quota utile per le riprese zenitali, e al contempo limitare un'eccessiva inclinazione dell'asse ottico della fotocamera. Si è deciso di adottare un monopiede telescopico in alluminio, che permettesse di sollevare la fotocamera negli intervalli di quota compresi tra 2,5 e 4 m d'altezza<sup>17</sup>.

Il sistema permetteva di realizzare foto prossime alla verticale ad una buona risoluzione grazie all'impiego di una fotocamera digitale reflex controllata in remoto con un tablet<sup>18</sup>. Gli scatti venivano realizzati in sequenza prevedendo un grosso margine di sovrapposizione sino a ricoprire tutta l'area da rilevare per evitare "buchi" nella documentazione, avendo cura che su ogni immagine fossero visibili almeno 5 mire<sup>19</sup>.

Le misure topografiche per determinare le coordinate spaziali delle mire sono state effettuate con una Total Station, avendo cura di collimare anche tre capisaldi della poligonale di riferimento del sito. Questo consente di orientare a priori il prodotto grafico finale secondo

---

<sup>14</sup> In ogni ripresa fotografica l'immagine risulta essere una prospettiva dell'oggetto ripreso generata da una proiezione conica centrale, e per sua natura costituisce una "immagine distorta" dell'oggetto inquadrato. L'immagine fotografica è quindi una proiezione centrale da cui non è possibile ottenere delle misure rapportabili alle reali dimensioni dell'oggetto perché l'immagine non ha un fattore di una scala univoco. Altre distorsioni sono legate sia alla geometria di ripresa (asse ottico non perpendicolare alla superficie inquadrata), sia alle aberrazioni residue prodotte dalle ottiche della fotocamera.

<sup>15</sup> Questo requisito fondamentale analiticamente si traduce nel dover assumere come costanti tutti i valori Z (quote) delle coordinate di tutti i punti dell'oggetto ripreso

<sup>16</sup> Questa semplificazione consente di ridurre da tre a due ( $X, Y$ ), le incognite che possono essere risolte da due equazioni di collinearità. La risoluzione delle equazioni di collinearità (relazione diretta tra punto oggetto e punto immagine) consente le trasformazioni omografiche (o proiettive) che stanno alla base del raddrizzamento di un fotogramma. Le trasformazioni omografiche hanno 8 gradi di libertà (a meno del fattore di scala) che dipendono dall'orientazione del piano dell'immagine rispetto al piano dell'oggetto, oltre che dai parametri di orientamento interno. L'equazione proiettiva può essere risolta se si conoscono le coordinate di almeno 4 punti oggetto, espresse nel sistema di riferimento oggetto, e individuabili nel sistema di riferimento immagine (5 per determinare il fattore di scala).

<sup>17</sup> Il monopiede telescopico fu concepito in modo che la fotocamera fosse fissata ad una testa snodabile graduata che, abbinata ad una livella sferica solidale con l'asta telescopica, permettesse di controllare l'inclinazione dell'asse ottico al momento dello scatto. Infatti, di norma per ridurre l'effetto delle deformazioni prospettiche si ritiene indispensabile che l'inclinazione dell'asse ottico non ecceda i 10° d'inclinazione rispetto la verticale.

<sup>18</sup> Il tablet consente di controllare l'inquadratura e la qualità della ripresa fotografica, in modo da evitare di dover ripetere le operazioni nel caso di immagini non rispondenti ai requisiti richiesti dal software di elaborazione fotogrammetrica.

<sup>19</sup> Questa condizione è resa necessaria per poter procedere al raddrizzamento di un singolo fotogramma per via analitica (o per punti noti).

il sistema geografico di riferimento e confluire direttamente sulla carta archeologica numerica del sito.

Sono stati prodotti fotomosaici georeferenziati<sup>20</sup>, dai quali si sono ricavate planimetrie in scala 1:50, poi riversati nella cartografia generale alla scala 1:1000<sup>21</sup> (Fig.1).

Nelle campagne successive lo scavo di elementi nuovi sempre più complessi uniti ad un areale di dimensioni sempre più estese consigliava un cambio di strategia nel rilievo delle evidenze. Si è ritenuto opportuno passare ad una documentazione redatta con tecnica fotogrammetrica Close Range, al fine di produrre un modello digitale tridimensionale dell'intera area. L'uso della fotogrammetria ha consentito di implementare il repertorio documentario con informazioni altimetriche dettagliate, fornendo un'ulteriore chiave interpretativa del contesto.

Infatti, determinare con precisione inclinazioni, pendenze e dislivelli tra le strutture che caratterizzano il saggio si è rivelata una chiave interpretativa certo non trascurabile; soprattutto in uno spazio aperto monumentalizzato, che come appare delinarsi, era caratterizzato da elementi coinvolti con l'adduzione dell'acqua in città in età imperiale.

Il rilievo fotogrammetrico è stato ottenuto realizzando set di immagini "aeree" riprese con la fotocamera sollevata con un monopiede telescopico, altre immagini riprese da terra sono servite ad integrare i particolari non visibili dall'alto. Questa scelta è stata dettata dalla volontà di operare su immagini fotografiche ad alta risoluzione caratterizzate da distorsioni e aberrazioni ottiche contenute. Naturalmente è stato possibile operare questa scelta perché l'area da coprire (circa 200 m<sup>2</sup>) non è così vasta, altrimenti si sarebbe reso necessario l'uso di un UAV (Unmanned Aerial Vehicle) equipaggiato con un sensore fotografico<sup>22</sup>

Il software fotogrammetrico adottato sfrutta un sistema sviluppato con la tecnica *Structure from Motion* (SfM), che vede l'integrazione della fotogrammetria digitale con la *computer vision*<sup>23</sup>. La generazione della struttura 3D viene definita e risolta attraverso l'utilizzo di un set di immagini riprese con modalità simili a quelle della fotogrammetria tradizionale; con il non trascurabile vantaggio che le fasi di orientamento interno e relativo dei fotogrammi avvengono in maniera del tutto automatica. Si tratta di un processo *image-matching*, che si serve di algoritmi per rintracciare le coordinate spaziali tramite i pixel campionati sulle immagini fotografiche digitali. Come nella fotogrammetria tradizionale, SfM impiega immagini sovrapposte e acquisite da più punti di vista, la differenza sta nella capacità di determinare simultaneamente e automaticamente la geometria interna della fotocamera, la sua posizione e il suo orientamento. Il *workflow* del sistema prevede l'impiego dell'algoritmo SIFT (*Scale*

---

<sup>20</sup> I fotomosaici presentavano uno scarto quadratico medio contenuto nell'ordine centimetrico, pertanto ritenuto accettabile per le finalità di documentazione archeologica.

<sup>21</sup> I fotomosaici sono stati vettorializzati in ambiente CAD con la medesima codifica utilizzata nella cartografia generale.

<sup>22</sup> Questa possibilità avrebbe fornito una copertura fotografica dell'area più rapida ed efficace, a scapito però della qualità fotografica, e di conseguenza del modello digitale.

<sup>23</sup> REMONDINO, MENNA 2008: 199-206.

*invariant feature transform*), capace, mediante l'utilizzo di descrittori di immagine, di calcolare e rilevare le posizioni dei punti (pixel) omologhi in tutto il set di immagini, sufficienti a stabilire le relazioni spaziali all'interno di un sistema di coordinate relative XYZ, e quindi di disporre le foto a seconda dei parametri calcolati. L'algoritmo SIFT permette inoltre di collegare le caratteristiche comuni alle immagini anche con variazioni di scala, oclusioni parziali ed esposizione dell'oggetto. Successivamente, l'algoritmo di *bundle adjustment* controlla e limita gli errori durante la trasformazione delle coordinate dei punti 3D dell'oggetto ripreso in una nuvola di punti più o meno densa a secondo della quantità di *keypoints* rilevati.

La fase successiva prevede la generazione di una *dense cloud points* tramite gli algoritmi di *dense image matching*. La *dense cloud points* così ottenuta può essere impiegata per generare un modello poligonale (*mesh*) che può essere *texturizzato* per restituire un modello digitale 3D fotorealistico. L'ultima fase di "orientamento assoluto", (dimensionamento e orientamento spaziale del modello), è stata ottenuta fornendo al software le coordinate spaziali dei GCP (Ground Control Point) misurati a terra e visibili sul modello<sup>24</sup>.

Dal modello *texturizzato* è possibile estrarre ortofotocarte, sezioni, linee di pendenza, curve di livello, punti quotati. In questo modo sono state restituite le planimetrie del saggio alla massima scala di dettaglio, le ortofotocarte corredate da curve di livello, un DEM (Digital Elevation Model) del saggio. Le planimetrie sono state collaudate e integrate con dei dettagli, non visibile nelle foto, rilevati con i sistemi di rilievo topografico tradizionale. Particolare attenzione è stata posta nella realizzazione del modello digitale 3D della struttura ad esedra al fine di documentarne anche lo stato di conservazione in previsione di operazioni di consolidamento<sup>25</sup>.

(L. L.)

## CONCLUSIONI

Gli aspetti illustrati in questo contributo e inerenti l'analisi delle strutture e dei contesti stratigrafici, condotta dall'Università di Cagliari nell'area Omega dell'ex base della Marina Militare a Nora, permettono di evidenziare come l'utilizzo di tecniche avanzate di rilievo digitale possano migliorare il lavoro di sintesi scientifica, a patto che l'elemento interpretativo derivato dall'analisi autoptica e dal costante contatto con il contesto archeologico venga posto al centro del processo di ricerca. L'attuale stato delle indagini non consente di trarre interpretazioni complessive e definitive sull'area, solo parzialmente riportata alla luce. Tuttavia, molti degli elementi fisici messi in luce contestualmente dalle attività sul campo e dall'elaborazione digitale dei rilievi permettono di avanzare ipotesi supportate da un apparato grafico che non riveste un ruolo centrale e invasivo nel processo espositivo, ma piuttosto di

---

<sup>24</sup> I GCP sono stati misurati con una Total Station rispettando il consueto procedimento descritto in precedenza.

<sup>25</sup> È stato realizzato anche un modello digitale 3D della fontana, visualizzabile al seguente indirizzo: <https://skfb.ly/6OEQz>. Last access: 04/12/2019



utile strumento sia in fase di studio che nel fondamentale momento di divulgazione dei dati. L'attuale estensione dell'area aperta emersa dagli scavi, quantificabile in circa 200 mq di piano basolato, non può non far pensare ad uno spazio pubblico di rilevante importanza. La presenza di una grande vasca circolare, che nella struttura originale doveva possedere un alzato di notevole impatto scenografico, con la probabile presenza di un obelisco/saliente centrale e di una balaustra che percorreva la circonferenza esterna, è un argomento che rafforza l'idea di un complesso monumentalizzato realizzato per volontà di un eminente cittadino o di un imperatore. Che si tratti di un punto nevralgico del tessuto urbanistico della Nora di età imperiale pare fuor di dubbio. Gli elementi raccolti finora, tuttavia, non consentono di definire quale funzione dovesse assolvere questo spazio. La presenza di strutture riconducibili all'uso scenografico dell'acqua<sup>26</sup> potrebbe far pensare ad una piazza che monumentalizzasse e abbellisse l'arrivo del tratto principale dell'acquedotto in città, magari in prossimità di un *castellum aquae*.

Tutte queste ipotesi, tuttavia, rimangono nel mero campo delle suggestioni. L'unica cosa che ci sembra di poter affermare senza timore di smentite è l'evidente importanza di questo settore, in particolare in relazione con l'impegno economico che la costruzione di questo complesso ha evidentemente comportato. La struttura ad esedra, analizzata nel presente contributo e collocata a pochi metri di distanza dalla vasca, in direzione nord/ovest, costituisce un altro elemento dalla forte monumentalità e, evidentemente, un altro tassello connesso con l'uso scenografico dell'acqua.

(E. C.; L. L.)

EMILIANO CRUCCAS

Università degli Studi di Cagliari  
emilianocruccas@libero.it

LUCA LANTERI

Università degli Studi della Tuscia  
llanteri@unitus.it

---

<sup>26</sup> Sulle fontane di età romana attestate nei centri urbani della Sardegna, si veda GHIOTTO 2004: 137-140. L'uso dell'acqua per la trasmissione di messaggi culturali e politici in età romana è un argomento fortemente dibattuto nella storia degli studi. A titolo meramente esemplificativo, si segnala qui la buona sintesi relativa ai diversi argomenti e ai principali contributi nel recente ROGERS 2018. Sul tema prettamente connesso all'ideologia imperiale e ai meccanismi di veicolazione dei suoi messaggi attraverso l'acqua, si segnala anche LONGFELLOW 2011.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANGIOLILLO *et alii* 2016: S. Angiolillo, M. Giuman, R. Carboni, E. Cruccas (eds.), *Nora Antiqua. Atti del Convegno di Studi (Cagliari, 3-4 ottobre 2014)*, Morlacchi University Press, Perugia 2016.
- CARBONI 2017: R. Carboni, *Nora, Ex area militare. Settore sud-orientale*, «Quaderni Norensi» 6, 2017, pp. 155-161.
- CARBONI *et alii* 2014: R. Carboni, E. Cruccas, L. Lanteri, *Indagini archeologiche dell'Università degli Studi di Cagliari a Nora (CA). Progetto Isthmos - Ricognizione e campagna di scavo 2013*, «Fasti on Line Documents&Research» 306, 2014. <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2014-307.pdf>
- CARBONI, CRUCCAS 2017: R. Carboni, E. Cruccas, *Indagini archeologiche dell'Università degli Studi di Cagliari a Nora (CA). Progetto Isthmos – Campagne di scavo 2015-2016*, «Fasti on Line Documents&Research» 373, 2017. <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2017-373.pdf>
- CARBONI, GIUMAN 2018: R. Carboni, M. Giuman, *Fasi di frequentazione e utilizzo degli spazi urbani a Nora: il quartiere meridionale nell'ex area militare tra l'età tardo-repubblicana e quella imperiale*, «Fasti on Line Documents&Research» 418, 2018. <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2018-418.pdf>
- CRUCCAS 2017: E. Cruccas, *Nora, Ex area militare. Settore nord-orientale*, «Quaderni Norensi» 6, 2017, pp. 163-168.
- GHIOTTO 2004: A. R. Ghiotto, *L'architettura romana nelle città della Sardegna*, Quasar, Roma 2004.
- LONGFELLOW 2011: B. Longfellow, *Roman Imperialism and Civic Patronage: Form, Meaning, and Ideology in Monumental Fountain Complexes*, Cambridge University Press, Cambridge 2011.
- LUHMANN *et alii* 2014: T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, J. Boehm, *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*, De Gruyter, New York/Berlin 2014.
- MIKHAIL *et alii* 2001: E.M. Mikhail, J.S. Bethel, J.C. McGlone, *Introduction to Modern Photogrammetry*, Wiley India Pvt Ltd, New York 2001.
- PREVIATO 2016: C. Previato, *Nora. Le cave di pietra della città antica*, Quasar, Roma 2016.
- REMONDINO, CAMPANA 2014: F. Remondino, S. Campana (eds.), *3D Modeling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*, BAR International Series 2598, Oxford 2014.
- REMONDINO, MENNA 2008: F. Remondino, F. Menna, *Image-based surface measurement for close-range heritage documentation*, in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives 37)*, Reed Business - Geo (former GITC), Lemmer 2008, pp. 199-206.
- ROGERS 2018: D. K. Rogers, *Water Culture in Roman Society*, Brill, Leiden 2018.
- SETTIS 1973: S. Settis, *Esedra e ninfeo nella terminologia architettonica del mondo romano. Dall'età repubblicana alla tarda antichità*, in H. Temporini (ed.), *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt, 1, 4. Von den Anfängen Roms bis zum Ausgang der Republik*, De Gruyter, New York/Berlin 1973, pp. 661-754.

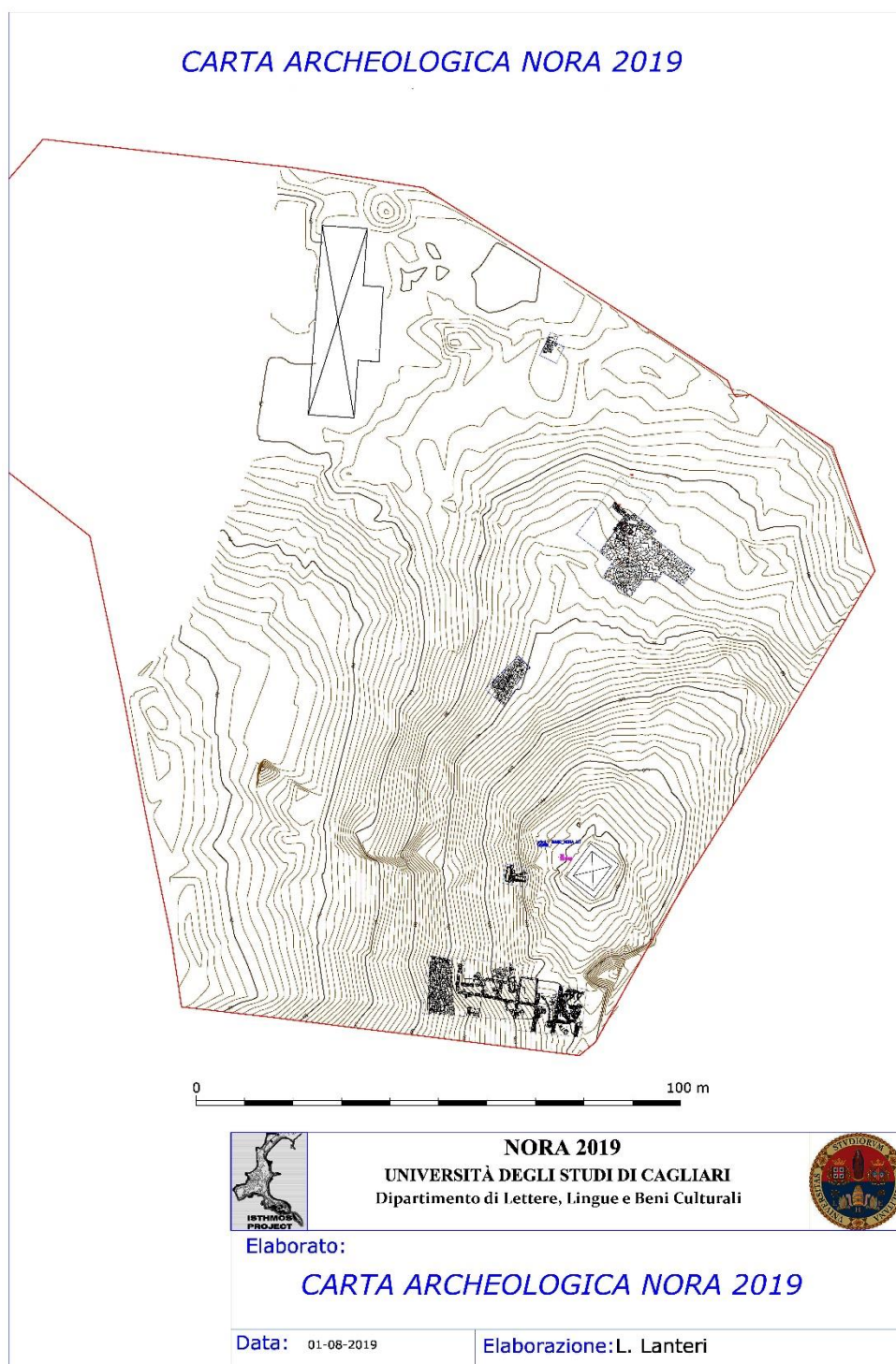


Fig. 1: PULA (CA) - Nora. Il settore dell'ex area militare in concessione all'Università di Cagliari (Isthmos Project. Rilievo ed elaborazione: Luca Lanteri).



Fig. 2: PULA (CA) - Nora. Il settore dell'ex area militare in concessione all'Università di Cagliari (Isthmos Project).

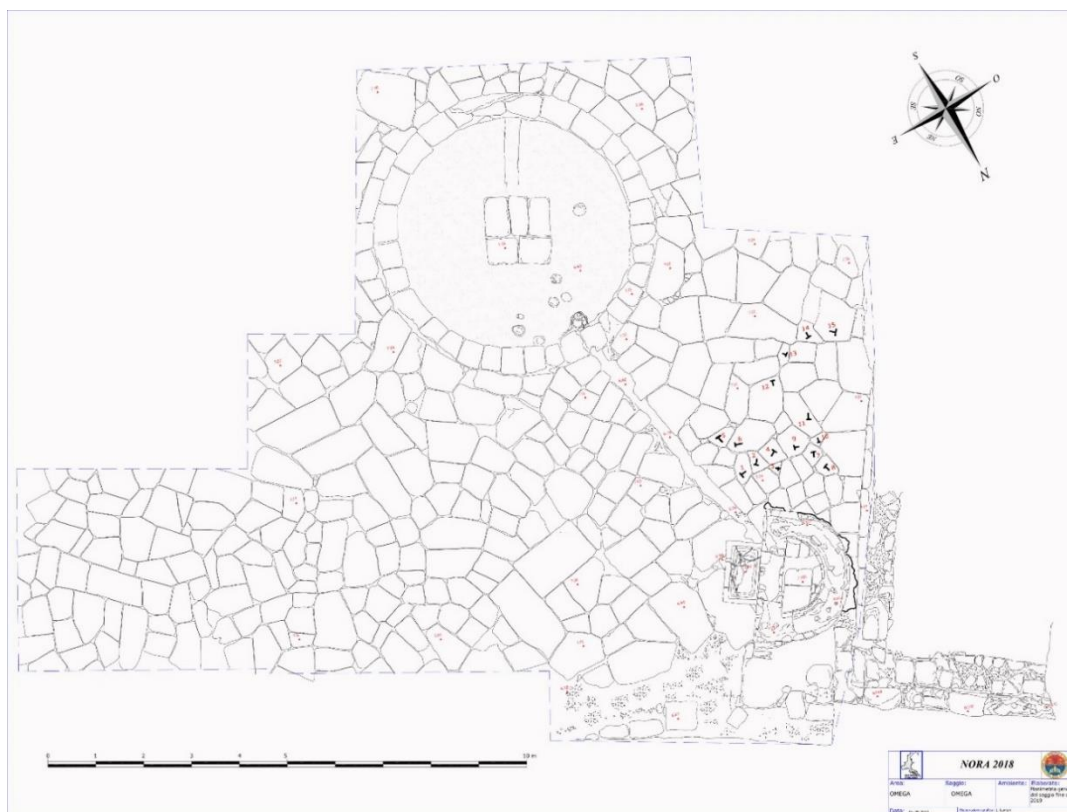


Fig. 3: PULA (CA) - Nora. Area Omega. Pianta finale 2019. (elaborazione grafica L. Lanteri).





Fig. 4: PULA (CA) - Nora. La vasca circolare dell'area Omega (foto L. Lanteri).



Fig. 5: PULA (CA) - Nora. La struttura a esedra dell'area Omega (foto L. Lanteri).