

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento dei Beni Culturali:

archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica

Corso di laurea Magistrale in Scienze Archeologiche

***Rilievo fotogrammetrico e restituzione 3D del sito
urbano antico di Nora***

Relatore: Prof. Jacopo Bonetto

Laureando: Giulio Alberto Da Villa.

Matricola: 2014737

Anno Accademico

2021/2022

Sommario

PREMESSA	3
1 INTRODUZIONE	5
1.1 IL QUADRO GEOGRAFICO	5
1.2 INQUADRAMENTO STORICO DEL SITO	7
1.3 STORIA DEGLI SCAVI	15
2. OBIETTIVI E METODOLOGIE DELL'ELABORATO	17
2.1 TECNICA FOTOGRAMMETRICA	18
2.2 DTM E DSM	19
2.3 UNA SUPERFICE MULTI-TEMPORALE	20
3. ACQUISIZIONE DEI DATI SUL CAMPO	25
3.1 RILIEVO DELLA PENISOLA	25
3.2 RILIEVO DEL FONDALE	28
4 ELABORAZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI	31
4.1 PREMESSA	31
4.2 HARDWARE	32
4.3 CLOUDCOMPARE	33
4.4 AGISOFT METASHAPE	39
4.5 PROBLEMATICITÀ RISCONTRATE	42
4.6 QGIS	44
5 RISULTATI	47
5.1 ELABORAZIONI GRAFICHE DEL DTM	47
5.2 ANALISI GEOMORFOLOGICHE DEL DTM	49
5.3 NORA E IL MARE	54
6 CONCLUSIONI	59
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	61
TAVOLE	65

Premessa

La penisola di Nora oggi rientra nei limiti amministrativi del Comune di Pula, in provincia di Cagliari, ed è situata a 38° 59' di latitudine nord e 9° 01' di longitudine est; la storia dell'insediamento spazia dal IX sec. a.C. fino al VIII sec. d.C. coprendo più di un millennio e mezzo di storia; oggi è un importante sito archeologico con decine di migliaia di visitatori ogni anno.

Il presente lavoro è l'ultimo (ad oggi) di una serie di lavori multidisciplinari che si sono interessati del rilievo e dello studio della penisola di Nora e, attraverso di essa, della storia dei suoi abitanti.

Questo studio nasce dalla volontà di ottenere un rilievo geomorfologico e altimetrico della penisola, preciso e aggiornato, che possa fare sia da base affidabile per la cartografia del sito archeologico e per le future ricerche sia costituire un modello per l'elaborazione di un rilievo digitale del terreno di un sito archeologico pluristratificato mediante strumenti di *remote sensing*.

L'occasione che ha dato avvio a questo lavoro è stato il rilievo aerofotogrammetrico della penisola da parte delle ditte *Archetipo s.r.l.* che ha così fornito i dati di partenza allo sviluppo del modello tridimensionale della penisola.

Fondamentali per questo elaborato sono state anche le precedenti campagne di rilievo che hanno interessato la penisola a partire dal 2010 concentrandosi principalmente sui fondali circostanti.

Per cominciare si è proceduto ottenendo il DTM della penisola tramite il software specifico per la fotogrammetria *Agisoft Metashape* e il software per la manipolazione delle nuvole di punti *CloudCompare*; il dato prodotto con questi software è stato poi elaborato in ambiente GIS ottenendo le elaborazioni grafiche utili a rappresentare la morfologia della penisola e la sua elevazione oltre a produrre alcune riflessioni sul rapporto tra la morfologia del promontorio e l'attività antropica. La realizzazione del modello 3D è stata anche l'occasione per produrre un modello in gesso della penisola con la moderna tecnica della stampa 3D.

1 Introduzione

1.1 Il quadro geografico

La città antica di Nora si trova sulla costa meridionale della Sardegna e costituisce il limite sud-occidentale del Golfo di Cagliari.

Il promontorio occupato dalla città antica è caratterizzato da una forma sub-triangolare con le due estremità rivolte verso il mare, Punta del Coltellazzo a Est e Punta ‘e su Coloru a Sud, che vanno a formare tre cale rivolte rispettivamente a Nord-Est, Sud-Est e Sud-Ovest. Il promontorio è infatti una penisola, circondata dal mare su tre lati, il quarto, invece, è costituito da uno stretto istmo che collega il promontorio alla terraferma e nel suo punto più stretto è largo 80 m.

Il profilo della penisola, così proteso verso il mare, è fortemente soggetto all’erosione costiera, causata da costante innalzamento del livello del mare, che dà origine alle varie falesie, insenature e ripe presenti lungo la sua costa.

La penisola presenta quattro alti morfologici: il più alto è il promontorio di Sant’Efisio, che costituisce l’estremità orientale della penisola (34 m s.l.m.), mentre al centro della penisola si eleva il Colle di Tanit, al centro di quella che era la città romana e punica (11m s.l.m.); poco a Nord di questo vi è una seconda altura nelle vicinanze della così detta Casa della Guardiania (c.a. 7 m s.l.m.); infine, all’estremità meridionale, vi è la “Punta ‘e su Coloru”, più pianeggiante con una quota che non supera i 10 m s.l.m.¹.

La penisola di Nora è l’esito di due diversi eventi geologici, il primo è la formazione di alcune isole vulcaniche poco lontano dalla costa (resti di queste sono i tre rilievi della penisola) che porta successivamente alla formazione di più tomboli, un istmo di sabbia poi cementificatasi, che va a collegare le isole alla terraferma portando alla formazione della penisola. Questi due eventi hanno dato origine ai due diversi litotipi presenti sul promontorio, da una parte rocce vulcaniche di tipo andesitico: rocce laviche generalmente compatte altre volte si presentano come conglomerati vulcanici, esito di effusioni laviche che hanno inglobato materiale di eruzioni precedenti, queste rocce costituiscono il materiale di cui sono fatti i tre alti morfologici (Promontorio di Sant’Efisio, Punta ‘e su coloru e Colle di Tanit), dall’altra le areniti, formatesi dal consolidamento delle sabbie del tombolo nella zona più settentrionale. In città queste

¹ CESPA, 2018;

pietre hanno ampia diffusione come materiale edilizio: le arenarie in quanto materiale di facile approvvigionamento essendo cavata in città presso la Cava della cala nord-orientale, presso l'area della necropoli Nord-Occidentale e fuori dalla città nella vicina penisola Is di Fradis Minoris dove le tracce di cavatura sono molto ben conservate; altro materiale molto utilizzato è l'andesite che in città doveva esser cavata direttamente sul promontorio di Sant'Efisio già dall'età punica mentre una cava fuori città doveva essere quella posta sulla collina di Su Casteddu a 6 km da Nora².

La principale differenza tra come appare oggi la penisola e come doveva apparire in antico è la costa tra Punta 'e su coloru e la Laguna di Nora, in questo tratto la costa è arretrata di varie decine di metri, come indicato dalle tracce di strutture che si trovano sul fondale antistante la cala occidentale che forniscono il limite di quella che doveva essere l'estensione della città antica in quella zona³.

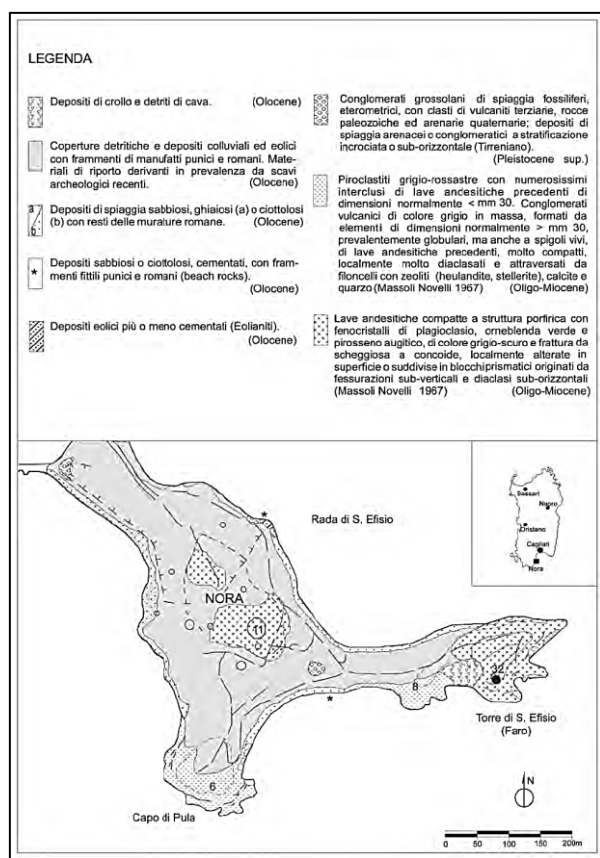


Fig. 1 - Carta geologica dell'area archeologica di Nora. (da BONETTO GHIOTTO NOVELLO 2009)

² PREVIATO 2016.

³ DI GREGORIO ET ALII 2000; PREVIATO 2016, PP 13-17; BONETTO, BEJOR, BONDÌ, GIANNATTASIO, GIUMAN, TRONCHETTI, 2018, PP 5-11; DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P., ROPPA A., 2000 PP 11-30

1.2 Inquadramento storico del sito

Periodo Nuragico

Durante questo periodo la penisola era sicuramente frequentata, come testimoniato dal rinvenimento di resti ceramici nuragici, con carattere di residualità in riempimenti successivi, presso Punta Coltellazzo, presso il cd. Colle di Tanit e anche in altre parti dell'abitato. Questa frequentazione è legata alla presenza di un nuraghe a poca distanza, nell'entroterra, tra Nora e l'abitato moderno di Pula, collocato su un piccolo rilievo ed oggi obliterato da un'installazione militare. I resti ceramici sono rinvenuti sempre in deposizione secondaria ed è difficile dare una cronologia alla presenza nuragica sul sito basandosi solamente sui materiali rinvenuti e dunque non è possibile affermare se vi fosse ancora una frequentazione nuragica nel momento in cui si attiva quella fenicia⁴.

Periodo Fenicio

L'origine leggendaria della città è ricordata da Pausania che ci racconta del fondatore eponimo della città: Norace, capo degli Iberi, che fondò Nora, la prima città della Sardegna⁵. Dal racconto dello storico traspare una realtà commerciale e itineraria che vede la Sardegna e le sue parti meridionali strettamente legate alla penisola spagnola, da cui la tradizione ricorda essere appunto venuto il fondatore della città.⁶ Dal racconto emergono i sicuri rapporti di navigazione tra Nora, le Baleari e alla Spagna, lungo quella che era la "rotta settentrionale", utilizzata dai mercanti fenici per spostarsi nel Mediterraneo occidentale; questa rotta era però parte di un percorso più lungo che iniziava dalla costa levantina del Mediterraneo e portava i Fenici fino in Spagna, passando per la Sardegna, principalmente alla ricerca di risorse metallurgiche.



Fig. 2 - Rappresentazione schematica della rotta settentrionale e quella meridionale impiegate dai fenici per attraversare il mediterraneo.

⁴ TRONCHETTI, 2001. BONETTO, FURLAN, MARINELLO, 2020, PP. 121-130.

⁵ PAUSANIA, X 17,7.

⁶ SOLINO, IV, 2 RIPORTA CHE NORACE FOSSE ORIGINARIO DI TARTESSO.

Il primato di Nora nelle fonti storiche antiche ben testimonia l'importanza di questo insediamento. In un convento posto nelle vicinanze della penisola fu rinvenuta la famosa "stele di Nora" (in deposizione secondaria reimpiegata come materiale edilizio), una stele iscritta in alfabeto fenicio con la prima attestazione del nome Sardegna (indicata con le consonanti *SRDN*), databile tra IX e VIII secolo a.C.⁷

Presso l'area dove in seguito sorgerà il foro della città romana (prima occupata da un quartiere della città punica) e intorno ad esso sono state individuate le evidenze della prima frequentazione fenicia, costituita da ripari sostenuti da pali lignei, ad indicare una frequentazione stagionale o forse relativi alla primissima stabilizzazione della presenza fenicia, che sarà fisicamente più costante solo in un secondo momento, con la costruzione di edifici in materiale lapideo.

I primi abitanti della penisola di Nora sembrano essere dunque mercanti e navigatori levantini che, stagionalmente, risiedevano in un villaggio di capanne per commerciare con gli indigeni nuragici dell'entroterra⁸.

Le evidenze necropolari risultano meglio conservate rispetto a quelle abitative: nella zona settentrionale del promontorio, in prossimità dell'istmo, sono state individuate varie sepolture ad incinerazione, secondo l'uso fenicio, alcune ricavate incidendo piccole fosse quadrangolari nel banco roccioso, altre invece realizzate secondo la tecnica della cista litica con scaglie di pietra arenaria ottenute dal banco di roccia⁹. La scelta di occupare proprio un promontorio proteso verso il mare coincide con le scelte insediative tipiche dei Fenici in Sicilia, come riportato dallo storico greco Tucidide che ci informa di come i mercanti fenici avessero occupato in primo luogo "*i promontori sul mare, e le isolette dinanzi alla Sicilia*"¹⁰ proprio come le fonti archeologiche mostrano per la Sardegna nei promontori di Nora e Tharros e sull'isola di S. Antioco¹¹.

Periodo Punico

Con il VI secolo a.C., quando il dominio cartaginese controlla la città e tutta la Sardegna, vi sono attestazioni di evoluzioni significative che interessano l'insediamento¹²: con l'arrivo di nuovi apporti demografici da Cartagine, il centro diviene

⁷ BONETTO, MARINELLO, ZARA., 2021, pp. 193-222

⁸ BONETTO 2009, p. 47.

⁹ BONETTO, BALCON, BERTO, BRIDI, CARRARO, DILARIA, MAZZARIOL, RUBERTI, 2022, pp.241-271

¹⁰ TUCIDIDE, VI 2.

¹¹ TRONCHETTI 2001 p 12.

¹² BONETTO, 2021, pp 91-106

una vera e propria colonia di popolamento sul modello greco, in grado cioè di accogliere una quantità di persone via via sempre più significativa. Per quanto riguarda le strutture urbane si assiste a un mutamento architettonico e, dall'inoltrato V sec. a.C., viene occupato il territorio circostante con fattorie e altre forme di sfruttamento agrario. Come per l'insediamento fenicio anche la realtà insediativa punica è sfuggente per quanto riguarda le evidenze edilizie, queste si limitano infatti alle fondazioni del "Tempio di Tanit" e ad alcuni muri a telaio nei livelli inferiori della zona a mare.



Fig. 3 - Settore I, saggio PD. Vista da est delle strutture del quartiere punico dell'area del Foro (da Bonetto 2009)

Ben più significative, anche per questo orizzonte cronologico-culturale, sono le informazioni restituite dalla necropoli; quella occidentale è collocata sul medesimo luogo di quella fenicia, benché le tombe puniche non sempre rispettino quelle precedenti e il rito -tipico del mondo punico- è a inumazione, con deposizioni multiple in tombe a camera e ricchi corredi che testimoniano le connessioni commerciali mediterranee che interessano Nora e la Sardegna. Non risulta più visibile il *thopet*, area santuariale e sepolcrale dedicata alla deposizione di infanti nel mondo punico, scavato alla fine del XIX secolo. Riassumendo, vediamo nascere necropoli sempre più stabilizzate e dotate di apparati monumentali e di aree santuariali.

Tra l'ultimo quarto del VI sec. a.C. e la metà del V sec. a.C., l'insediamento è ormai diventato una città¹³ che durante la dominazione punica doveva essere tra le più grandi dell'isola, con un prestigio maggiore della stessa Cagliari, tanto da indurre i Romani, negli anni immediatamente successivi alla conquista dell'isola, a collocare la sede del Governatore prima a Nora e solo successivamente a Cagliari¹⁴.

Nora in età romana: l'età repubblicana

Nora, come il resto della Sardegna, entra in contatto con il mondo italico e con le sue produzioni già dalla fine del IV sec. a.C., ben prima della conquista romana del 238 a.C., come testimoniano le ceramiche presenti nei corredi delle necropoli a camera e quelle presenti negli strati dell'area C e del Tempio Romano.

La conseguenza della forte pressione commerciale esercitata dalle produzioni della penisola è il trattato del 348 a.C. tra Roma e Cartagine (ribadito nel 279 a.C.) che vietava ai Romani di commerciare e di stabilirsi in Sardegna¹⁵, ma gli accordi non vengono rispettati in modo rigoroso a causa dell'elevato tenore qualitativo delle produzioni italiche, troppo rilevanti e desiderate per non essere importate, presenti in numero sempre crescente nell'isola.

La conquista romana dell'isola avviene con la fine della prima guerra punica e porta alla conquista dell'isola nel 238 a.C. e alla creazione della provincia di *Sardinia et Corsica* nel 227 a.C.; pur con alcune rivolte nell'entroterra, velocemente sedate, il processo di romanizzazione dell'isola avviene in maniera sostanzialmente pacifica tramite la mediazione delle realtà cittadine.

Dal punto di vista archeologico, si nota una sostanziale continuità tra periodo punico e romano nell'ambito insediativo: a Nora il tessuto urbano non subisce sostanziali variazioni dal V sec a.C. fino alla metà del I sec a.C. Pur in questo ambito di continuità vi sono indizi di scambi con le realtà italiche e di importanti cambiamenti politici: testimoniati dall'importante rinvenimento, avvenuto nel 2008 presso il Tempio Romano di Nora, di un tesoretto di 18 monete d'argento associate ad una maschera fittile votiva, probabilmente donati da un ricco personaggio italico ad un importante santuario cittadino; questo gesto dimostra come, parallelamente alla conquista militare, i Romani cercassero

¹³ BONETTO ET ALII, 2018 PP 12-13

¹⁴ TRONCHETTI, 2001 P13

¹⁵ La notizia è riferita da POL. III, 24, 3-11. E DA LIV. VII, 27, 2.

di partecipare alla vita cittadina in forme condivise e devote, con gesti di alto valore simbolico verso le divinità locali e di conseguenza verso tutta la cittadinanza¹⁶¹⁷.

Nora in età romana: l'età tardo repubblicana

Oltre ad una generale conservazione e ripristino degli edifici preesistenti, si assiste anche all'ampliamento del tessuto urbano nell'area compresa tra il colle di Tanit e il porto, con nuovi edifici nell'Area C e con lo spostamento delle aree produttive verso il mare per lasciare spazio all'edilizia abitativa. Questi interventi sono conseguenza della favorevole situazione economica che vive la Sardegna nel periodo tardo repubblicano, quando l'isola-granaio di Roma- viene inserita in un circuito commerciale internazionale; promotrici di questo rinnovamento urbano sono le élite locali, che imitano i modelli delle élite italiche a cui sono talvolta legate da un rapporto clientelare. Un'altra prova della progressiva romanizzazione di Nora è la concessione, nel 77 a.C., della cittadinanza romana ad alcuni dei cittadini più eminenti¹⁸. Gli scavi hanno permesso di datare la realizzazione del foro cittadino tra il 40 e il 20 a.C., intervento che andò ad obliterare un precedente quartiere punico.

Nora in età romana: l'età imperiale

Durante la prima età imperiale si ha una prima fase di grande attività edilizia che dota la città, già diventata *municipium* -tale status si può dedurre dall'iscrizione di statua dedicata a *Quintus Minucius pius* quattroviro *iure dicundo* carica propria di tele ordinamento giuridico - del teatro, posto in prossimità del foro alle pendici meridionali del colle di Tanit completando la trasformazione in città romana dopo la costruzione del foro. Questi edifici, assieme al Tempio Romano, vanno a formare il cuore politico e civile della città.¹⁹.

¹⁶ BONETTO, FALEZZA, 2020, pp.19-36

¹⁷ BONETTO 2018, p.13

¹⁸ Si veda il passo (CIC. SCAUR., XIII, 29) in cui Cicerone ci riferisce di cittadini Norensi possessori del titolo di cittadino romano, appartenenti alla generazione precedente la sua; questo passo è da leggersi come immagine di una società punica in cui singoli elementi della cittadinanza vanno acquisendo diritti civici grazie a rapporti di ospitalità con le élite più eminenti di Roma.

¹⁹ BONETTO, 2002, pp.1199-1217



Fig. 4 - Veduta del braccio orientale della penisola con in primo piano il teatro e il foro, in fondo il promontorio del Coltellazzo

Nora in età romana: l'età medio imperiale

Il periodo di massimo splendore di Nora fu la fase tra la metà del II sec. d.C. e la metà del III sec. d.C., quando si riscontra la crescita delle importazioni, con materiali da ogni angolo dell'Impero e un inedito sviluppo monumentale, sia privato che pubblico, a cui si accompagna il massimo sviluppo a livello artistico delle decorazioni musive conservatesi in varie parti della città. Tra gli interventi pubblici più importanti spiccano l'allargamento della piazza del foro, l'ultima fase edilizia del Tempio Romano, la realizzazione di ben tre edifici termali -resi possibili grazie alla costruzione dell'acquedotto- e la lastricatura delle strade (mantenendo l'assetto urbanistico e viario risalente al periodo punico-repubblicano) al di sotto delle quali correvano le canalizzazioni per lo scolo delle acque²⁰.

²⁰ ZARA 2008, p. 21.



Fig. 5 - Vista del complesso religioso del cd. Tempio Romano successivamente al suo restauro e valorizzazione.

Il periodo tardoantico

La città continua a dimostrare una considerevole vitalità fino al periodo tardoantico, come dimostra l'ultima ristrutturazione della piazza forense databile tra il 400 e il 450 d.C.²¹, la costruzione della Basilica cristiana datata al V sec d.C.²² (oggi in gran parte erosa dal mare) e il restauro dell'acquedotto²³. Con la conquista vandala avviene una contrazione delle attività commerciali e, con il periodo bizantino le infrastrutture cittadine vengono definitivamente abbandonate. Nora si spopola in favore di siti più interni e protetti dalle incursioni arabe, la città antica è soggetta ad attività di spoglio sistematiche per ricavarne materiale edilizio fino all'età moderna, ad oggi sono infatti visibili molte pietre riutilizzate nelle case del vicino paese di Pula²⁴. A Nora rimane attivo un unico sito, posto in quello che doveva essere il suburbio della città antica, si tratta della Chiesa di Sant'Efisio nel luogo in cui, secondo la tradizione, sarebbe avvenuto il martirio del soldato romano Efisio. L'area era già sede di una necropoli romana di età imperiale ed è probabile che con la morte del Santo si sia formato un nucleo cimiteriale cristiano (testimoniato da alcune iscrizioni del IV-VI d.C.). presso cui sarebbe poi sorta

²¹ BONETTO, GHIOTTO, NOVELLO, 2009, p. 354.

²² BONETTO ET ALII, 2018, p. 93.

²³ TRONCHETTI, 2001, p.15

²⁴ BONETTO, GHIOTTO. 2013, pp 271-290

un'aula di culto seminterrata a pianta cruciforme successivamente inglobata nella cripta della chiesa romanica ancora visibile.

Il territorio

L'entroterra a settentrione del promontorio è costituito da una fertile pianura, attraversata dal *Rio Pula*, un fiume a carattere torrentizio che si origina dalle alte montagne granitiche poste ad una decina di chilometri dalla costa. Questa fertile piana costituiva una risorsa fondamentale per la città. Lo sfruttamento di questa pianura inizia solamente con l'inizio dell'età punica (V sec. a.C.), in questo momento si ha il passaggio da un emporio commerciale ad una vera e propria colonia di popolamento. Il numero crescente dei cittadini fa sì che vi sia un maggiore bisogno di risorse agricole, all'inizio lo sfruttamento si concentra sulle aree più prossime alla penisola per poi ampliarsi riuscendo a soddisfare le esigenze di Nora e alimentare il commercio di cereali gestito da Cartagine.

Lo sfruttamento della pianura conosce il suo apice a cavallo tra il IV e il III secolo a.C., con insediamenti secondari disposti lungo i corsi d'acqua che fungevano da vie di comunicazione con la città; con il III secolo a.C. si arriva a contare tra i 25 e i 30 centri di produzione agricola, posti ad intervalli regolari ad indicare una razionale e organizzata divisione del territorio.

Con la conquista romana si assiste nell'entroterra alla medesima continuità che si registra anche presso la città, si ritiene che i latifondisti di origine punica, che gestivano il territorio precedentemente all'anno 227 a.C., mantengano le loro proprietà; i nuovi dominatori dovevano aver intuito i vantaggi di mantenere un rodato sistema di sfruttamento razionale del territorio.

Fino al VII secolo d.C. l'entroterra segue le alternate vicende della città, ma a partire da questo periodo, a causa della minaccia delle incursioni arabe, si assiste all'abbandono definitivo della città e alla scomparsa di tutti gli insediamenti dell'entroterra in favore dell'emergere di quello posto sulla collinetta di Su 'Casteddu, meglio difensibile, che darà poi origine all'odierno abitato di Pula.²⁵

²⁵ BONETTO, BEJOR, BONDÌ, GIANNATTASIO, GIUMAN, TRONCHETTI, 2018, PP 124-131

1.3 Storia degli scavi

Gli scavi archeologici sono tra i fattori che, nell'ultimo secolo, hanno maggiormente modificato la morfologia della penisola.

Prima del 1952 il terreno oggi occupato dall'area archeologica era dedicato ad un uso agricolo, precedentemente erano stati riconosciuti unicamente i resti dell'acquedotto, nella porzione settentrionale della penisola e, a Nord, dei ruderi identificati come parte di un edificio termale e della porzione sommitale della cavea del teatro; resti che permisero all'erudito cinquecentesco Giovanni Fara di identificare correttamente il sito come l'antica Nora.

Il primo scavo su larga scala venne effettuato a partire dal 1889 sotto la direzione dell'architetto Filippo Vivonet - dirigente del Museo di Cagliari e Soprintendente ai beni archeologici della Sardegna - quando, a seguito di una mareggiata, venne scoperta parte del *tophet* punico, va evidenziato tuttavia come questo primo scavo non abbia lasciato tracce evidenti sul terreno. Tra 1891 e



Fig. 6 - Fotografia degli scavatori e dei reperti del *tophet* di Nora

1892 venne inoltre rimessa in evidenza la ricca necropoli a camera orientale, oggi pesantemente erosa dal mare²⁶.

Pochi anni dopo, viene riportata la presenza dell'anfiteatro alla base del rilievo della così detta Casa della Guardiania, oggi non più visibile.

Nel 1952 alcuni lavori per la messa in opera di un palcoscenico tra il foro e il teatro romano mettono in luce alcune porzioni delle rovine; da qui prende avvio la grande campagna di scavo portata avanti dall'allora Soprintendente alle Antichità della Sardegna Gennaro Pesce, che coordinò l'attività di una cinquantina sterratori²⁷: lo scavo, in tendenza con la prassi dell'epoca, non fu eseguito secondo il metodo stratigrafico e fu a tutti gli effetti uno sterro in cui andarono spesso perse le stratigrafie più recenti per mettere

²⁶ BONETTO, MAZZARIOL, 2017 pp. 1-16

²⁷ BONETTO, MAZZARIOL, ZARA, 2021 pp. 125-146

in luce piani di vita di età imperiale; a questo si aggiunge il fatto che non venne mai pubblicata un'edizione scientifica degli scavi, facendo perdere la connessione tra reperti e contesti di riferimento. Lo scavo proseguì fino al 1960 mettendo in luce più di tre ettari di città antica e modificando anche pesantemente la morfologia moderna della penisola, con un abbondante asporto di terreno da tutte le aree oggetto di scavo.

Fino agli inizi degli anni '90 non si registrano scavi di grande portata ma, con la fine del secolo, vi è una rinnovata attività di scavo che coinvolge tutte le aree della penisola, compresa l'area precedentemente interdetta in quanto posta sotto il controllo della Marina Militare. Questi nuovi interventi hanno causato un significativo asporto di materiale nel caso dello scavo dell'edificio ad Est del Foro (cd. Casa di Favonia) e per la piazza lastricata posta a settentrione del rilievo della cd. Casa della Guardiania, minore per volume è stato invece lo scavo della necropoli punica occidentale essendoci poco terreno al di sopra del banco roccioso in cui sono ricavate le sepolture.



Fig. 7 - Porzione della penisola con evidenziata l'area della marina militare (blu) e gli scavi (rosso)

2. Obiettivi e metodologie dell'elaborato

Questo elaborato nasce dalla volontà di generare un modello digitale dell'elevazione per la penisola e del fondale marino circostante che fosse preciso dal punto di vista geografico per essere usato come base cartografica per i rilievi degli scavi prodotti dall'Università di Padova e dagli altri atenei che a Nora operano; Inoltre la possibilità di disporre di un quadro altimetrico integrale e meticoloso mira a possedere uno strumento di analisi delle relazioni tra l'uomo e il contesto naturale nelle diverse fasi storiche dell'insediamento. Tale relazione dovette infatti giocare un ruolo fondamentale fin dalle prime fasi di vita di Nora e continuò ad operare come fattore determinante per scelte e soluzioni adottate nell'assetto urbanistico e architettonico.

Per queste ragioni le elaborazioni prodotte con questa tesi sono georeferenziate secondo il sistema di riferimento EPSG 3003²⁸ in modo da essere coerenti con il sistema di riferimento utilizzato dagli atenei e dalla Regione Sardegna per la sua cartografia.

A questo si aggiunge il desiderio di avere un modello quanto più preciso e ad alta risoluzione (nel Geoportale della regione Sardegna è disponibile un rilievo Lidar²⁹ della penisola con risoluzione di 1m) che si è potuto ottenere unicamente con due appositi interventi di rilievo, uno dedicato alla terra con l'ausilio di aeromobile a pilotaggio remoto con restituzione del dato mediante tecnica fotogrammetrica, la seconda, dedicata alla costa e al fondale si è avvalsa di rilievo manuale mediante stazione totale per le coste sabbiose fino a c.a. -1,5 m s.d.m.; per profondità maggiori si è impiegata un'imbarcazione dotata di scandaglio idrografico multifrequenza/multitrasduttore OceanData e gps integrato³⁰.

²⁸ La proiezione di Gauss-Boaga è la proiezione cartografica proposta nel 1940 dal prof. Giovanni Boaga che è stata adottata in gran parte della cartografia ufficiale italiana (come la Carta d'Italia dell'Istituto Geografico Militare) anche se oggi è in via di sostituzione con la proiezione universale trasversa di Marcatore (UTM). Il caposaldo geodetico di questo sistema di riferimento è il Monte Mario nei pressi di Roma che definisce i due fusi, quello Est: EPSG 3002 e quello Ovest: EPSG 3003

²⁹ Il LIDAR può essere definito un radar ottico che utilizza al posto delle onde radio un fascio laser. Permette, conoscendo la quota a cui vola l'apparecchio che lo trasporta, di misurare con precisione la quota del terreno misurando il tempo che impiega il raggio emesso a ritornare all'apparecchio dopo esser stato riflesso dal terreno; questo metodo registra un modello digitale della superficie e non può penetrare sotto la superficie dell'acqua.

³⁰ BONETTO, CARRARO, METELLI, VACCHI, VENTUROLI, ROSSI, 2022, pp 27-62

2.1 Tecnica fotogrammetrica

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo che permette di acquisire forma e posizione di un soggetto tramite l'analisi di almeno una coppia di foto stereoscopiche, cioè due foto che tra loro hanno un'ampia sovrapposizione (*overlap*), prese da due differenti punti di vista. Nel caso di Nora, la superficie da rilevare e restituire era così estesa da impedire la realizzazione di un rilievo mediante fotografie scattate da terra; per questo è stato usato un drone che ha permesso una rapida acquisizione aerea delle fotografie necessarie per l'elaborazione del modello 3D, in questo caso possiamo quindi parlare di *aerofotogrammetria*.

Il rilievo fotogrammetrico si sviluppa in più fasi:

- Acquisizione delle immagini con ampia sovrapposizione, detta *overlap*
- Orientamento delle immagini, necessario al software per elaborare il modello; questo processo ormai avviene in parallelo con l'acquisizione delle immagini essendo la maggior parte degli RPV (*Remotely Piloted Vehicle*: veicolo controllato a distanza) dotati di GPS e piattaforma inerziale, detta IMU (Inertial Measurement Unit) che permettono di georiferire la posizione del drone e conoscere l'inclinazione della fotocamera (rollio, beccheggio e imbardata) al momento dello scatto della foto.
- La restituzione del modello tramite software di *structure from motion* che generano una nuvola di punti 3D mediante il riconoscimento di punti e geometrie che si ripropongono in due o più immagini (per questo motivo è necessaria la sovrapposizione); su questa nuvola di punti il software crea una *mesh*, una superficie 3D di triangoli i cui vertici sono 3 punti della nuvola di punti generata in precedenza; successivamente la *mesh* viene texturizzata con i colori che il software individua appartenenti a quella parte del modello ricavandoli dalle fotografie.
- Una volta ottenuta la mesh texturizzata si possono ricavare l'ortofoto, un'immagine geometricamente corretta, e il DSM.

2.2 DTM E DSM

Prima di introdurre gli obiettivi di questo elaborato è bene chiarire la terminologia che si andrà ad utilizzare, in particolare due termini:

- DTM: *Digital Terrain Model*, Modello digitale del terreno
- DSM: *Digital Surface Model*, Modello digitale della superficie

Si tratta di due superfici statistiche, in quanto rappresentano la distribuzione dei valori del fenomeno dell'elevazione, per ogni coppia di coordinate (X,Y), a partire da un valore Z misurato³¹. Nel nostro caso si intende che tutte e due sono superfici continue che danno informazioni sull'elevazione, anche dove non vi è stata una misurazione diretta, estrapolando questa informazione da una media dei valori effettivamente misurati nelle immediate vicinanze.

In questo elaborato con DSM si intende il modello della superficie cioè del terreno e tutti gli oggetti vegetazionali e antropici che poggiano su di esso (alberi, piante, edifici, auto ecc.); per DTM si intende invece l'andamento del terreno "spoglio", ovvero in un DSM pulito da tutti gli elementi che si elevano dalla superficie del terreno.

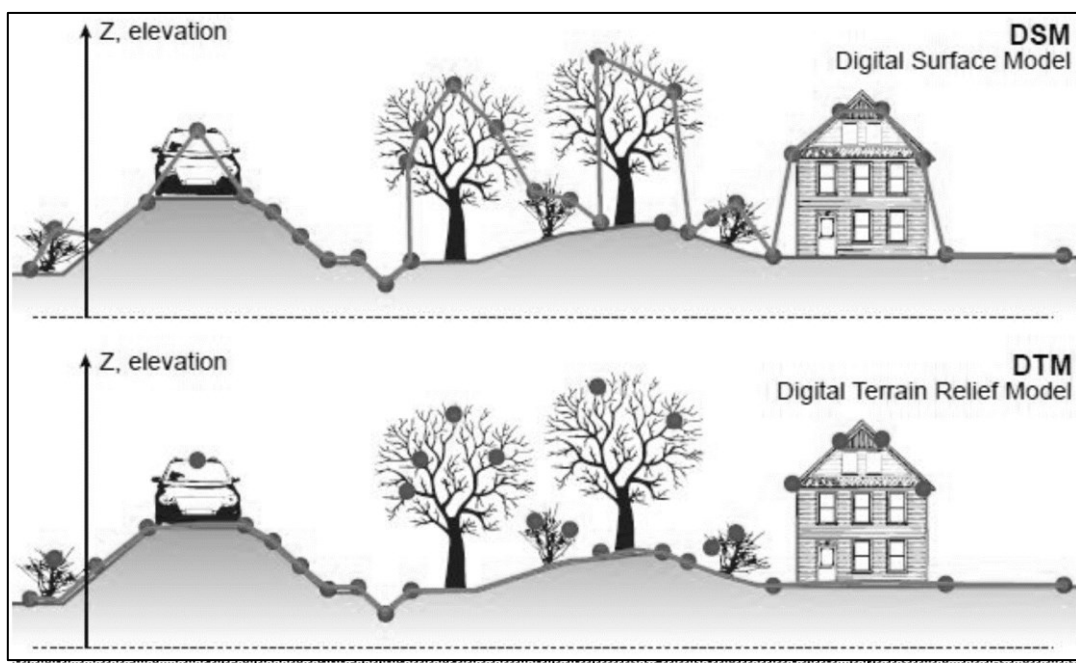


Fig. 8 - Rappresentazione schematica delle differenze tra DSM e DTM dove in blu sono indicati i punti acquisiti che formano la nuvola di punti alla base del modello 3D (da <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>)

³¹ DE MERS 1997; <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>

2.3 Una superficie multi-temporale

Il problema di rappresentare con una sola superficie una realtà cronologicamente pluristratificata

La penisola di Nora presenta una situazione molto particolare con zone occupate dalle antiche rovine, esito degli scavi che si sono susseguiti negli anni, e ampie zone indisturbate, come quella del promontorio e dell'area della ex Marina Militare; questa situazione incide nelle

considerazioni che si devono fare al momento della realizzazione del DTM.

Per tutta la penisola si è preceduto a rimuovere gli edifici moderni e la vegetazione: la biglietteria, le caserme dell'ex base della Marina



Fig. 9 - Cattura dalla nuvola di punti in cui si può ben vedere il palinsesto di piani pavimentali e strutture murarie che caratterizzano l'isolato delle terme centrali

Militare, la c.d. Casa Sarda e il faro del promontorio del Coltellazzo, come anche la vegetazione, in quanto tutti questi elementi coprono la reale quota del terreno; per le aree non interessate dallo scavo il lavoro di preparazione per la successiva elaborazione della mesh si esaurisce con la rimozione di questi elementi, poiché si ottiene una superficie omogenea che restituisce in maniera immediata il dato di elevazione del terreno (sarà poi necessario un lavoro di interpolazione nelle zone prive di punti poiché soggette alla rimozione degli elementi superficiali). Per le aree di scavo il processo di elaborazione è stato più complesso: qui si è proceduto anche all'eliminazione della cavea del teatro e di tutte le strutture murarie antiche. La procedura appena descritta ha restituito un complesso mosaico di piani pavimentali appartenenti a fasi storiche differenti che presentano sensibili differenze di quota a seconda di quanto in profondità si è spinto lo scavo archeologico. Proprio lo scavo archeologico fa assumere a questi piani una doppia valenza informativa: da una parte i pavimenti restituiscono il dato archeologico della quota d'uso (e talvolta del terreno) al momento della loro realizzazione, dall'altra forniscono anche il

livello del terreno contemporaneo, derivato dagli interventi di apporto e asporto di origine naturale e antropica che si sono susseguiti nei secoli, l'ultimo di questi interventi è stato proprio l'asporto generato dallo scavo archeologico che li ha messi in luce.

Il DTM prodotto in questo lavoro è quello del suolo contemporaneo - tiene quindi conto di tutti i processi che hanno interessato la penisola fino al momento in cui sono state scattate le fotografie del rilievo fotogrammetrico - e ha dunque dentro di sé i dati della quota di tutti i piani messi in luce dagli scavi assieme ai dati della quota di tutte le aree dove lo scavo non ha asportato i depositi che coprono le rovine; se si considera che la maggior parte dei piani risale al periodo romano – i pavimenti decorati di età imperiale sono stati spesso il limite inferiore dello sterro operato da Gennaro Pesce che ha messo in luce quasi tre ettari di città antica – mentre solo una minima parte risale ai periodi punico, arcaico e tardoantico è ragionevole affermare che, nell'area compresa tra le pendici Sud-Occidentali del colle di Tanit, il foro romano e il promontorio occupato dal santuario di Esculapio, il DTM contemporaneo coincide con quello di età romana

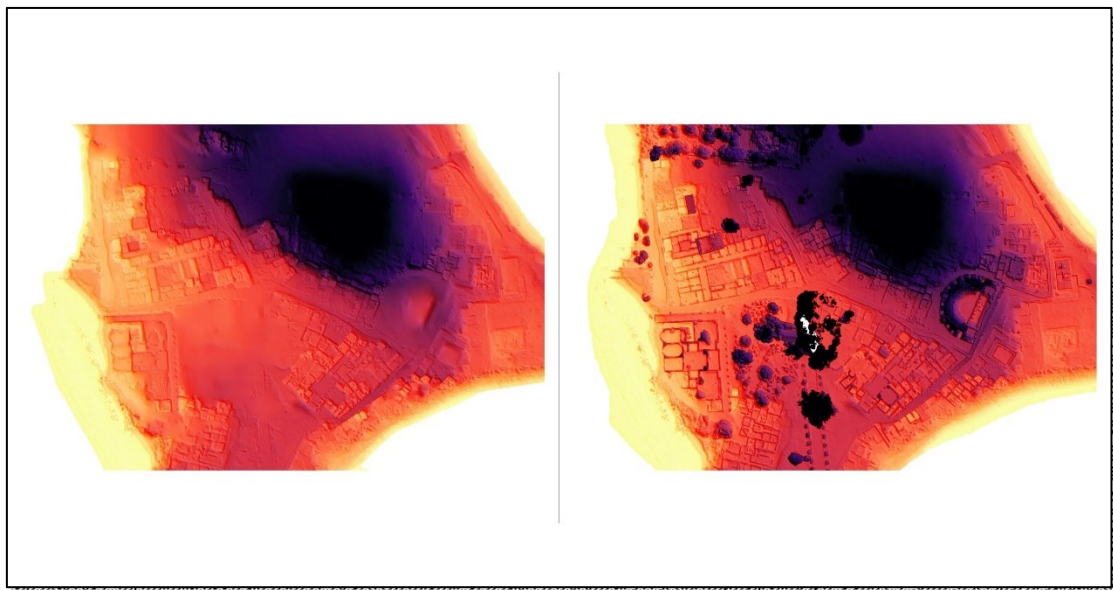


Fig. 10 - Confronto tra DTM (a sinistra) e DSM (a destra) è evidente come nel DTM i colori siano più uniformi, questo è dovuto al fatto che una volta rimossi gli elementi che coprono il terreno (spot di colore più scuro) questo appaia come una superficie omogenea

Emblematico è il caso dell'isolato delle Terme Centrali in cui l'attività di scavo, iniziata negli anni '50, si è assestata su differenti piani di vita creando aree con una quota differente anche di qualche metro; per questa porzione della penisola si è proceduto eliminando le strutture murarie e intervenendo a rimuovere unicamente i piani che si discostavano in maniera eccessiva dalla media dei piani circostanti.



Fig. 11 - Cattura dalla nuvola di punti in cui si può ben vedere il palinsesto di piani pavimentali e strutture murarie che caratterizzano l'isolato delle terme centrali

Questi piani consistono in pozzi, cisterne e piccoli saggi di scavo di ridottissima estensione che vanno a creare dei punti particolarmente evidenti - per via della grande differenza di quota rispetto ai pavimenti sovrastanti – quando si va ad elaborare una carte dell'elevazione per via del colore diverso che assumono rispetto al terreno circostante; inoltre va considerato che i fondi dei pozzi e delle cisterne non restituiscono la quota del terreno nel momento in cui essi furono realizzati mentre i saggi archeologici che si attestano su piani più antichi non restituiscono un dato di quota utilizzabile ai fini interpretativi; la decisione di eliminarli è quindi stata presa per migliorare la visualizzazione dei piani pavimentali messi in luce in estensione sapendo che questo non avrebbe intaccato la validità del modello.



Fig. 12 - In alto una cattura dall'ortofoto del quartiere delle terme centrali, sotto una cattura della medesima area dalla nuvola di punti del DTM

Non è al momento possibile realizzare i DTM delle fasi punica e arcaica a causa dei pochi dati disponibili: solo gli scavi più recenti sono arrivati ad intercettare in estensione piani di vita afferenti a queste fasi, ma al momento sono ancora troppo poco estesi e lontani tra loro per generare un modello utile.

Un altro caso particolare è quello dell'itismo, nella porzione settentrionale dell'ex area militare, dove lo scavo della Necropoli Occidentale ha messo in luce il banco di arenaria, coperto solamente da una decina di centimetri di deposito, formatosi nei secoli successivi all'abbandono della penisola; qui lo scavo dell'Università di Padova, ha portato in luce un piano che, per la sua natura di superficie rocciosa difficilmente asportabile, ci trasmette il dato della quota del terreno, immutata dal periodo arcaico a quello romano

A pochi metri di distanza e con una differenza di quota di pochi centimetri si trovano infatti costruzioni e cisterne romane, ipogei punici e pozzetti funerari fenici (cave, tombe ipogee e pozzetti funerari sono tutti interventi che intaccano in negativo la quota del terreno che va quindi ricostruita dalla quota del loro punto più alto, al contrario degli edifici dove la quota reale del terreno è alla base del perimetro dell'edificio); lo scavo però anche in questa zona non è sufficientemente esteso da permettere di realizzare un DTM con un qualche valore informativo.

3. *Acquisizione dei dati sul campo*

3.1 Rilievo della penisola

Per la terra emersa il punto di partenza dell' elaborato è stato il rilievo aerofotogrammetrico della penisola, ottenuto tramite l'utilizzo di un drone di *Archetipo S.r.l.*

Apparecchiatura

Il drone impiegato è stato il *Matrice RTK* della DJI (3,6 kg di peso senza batterie), APR professionale dotato di *Real Time Kinematic* che aumenta notevolmente l'accuratezza del posizionamento del drone secondo il medesimo principio del GPS differenziale³² (l'errore di accuratezza del volo stazionario è pari a $\pm 0,1$ m sui tre assi³³).

La camera utilizzata è del medesimo produttore ed è altamente integrabile con la piattaforma APR oltre ad essere sviluppata appositamente per l'impiego fotogrammetrico, si tratta di una camera *Zenmuse P1* con un sensore da 45 MP che scatta foto in formato 3:2 (8192x5460)³⁴.

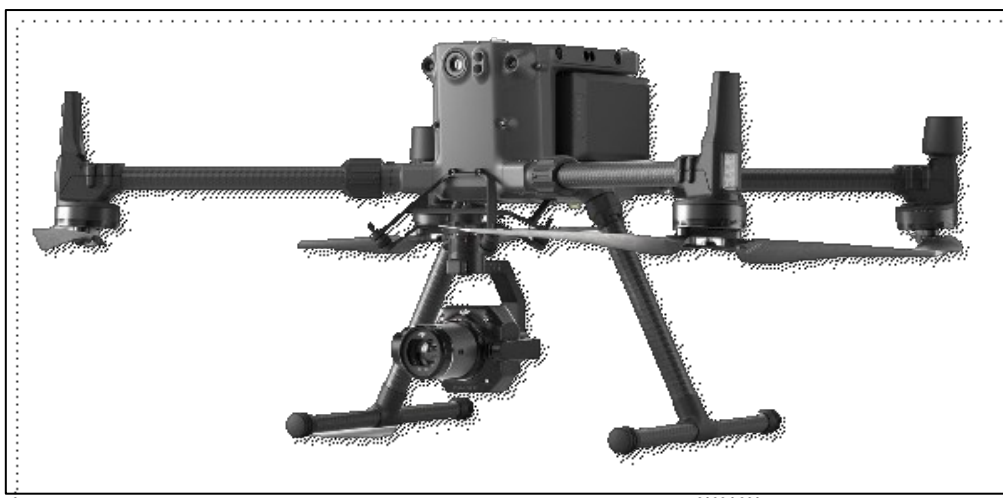


Fig. 13 - Drone Matrice RTK equipaggiato con una camera Zenmuse P1.

³² La tecnica di posizionamento differenziale permette ai ricevitori GPS di migliorare la precisione finale della geo-localizzazione, attraverso il confronto dei propri dati con quelli registrati nello stesso intervallo temporale da uno (o più) ricevitori GPS posizionati su punti di coordinate note.

³³ <https://www.dji.com/it/matrice-300/specs>

³⁴ <https://www.dji.com/it/zenmuse-p1/specs>

Il volo

Nella giornata precedente al volo si è proceduto con il posizionamento dei *markers* sul terreno. I *markers* sono necessari per ortorettificare e georiferire il modello 3D, in quanto generano una “griglia” su cui ancorare il modello; i 61 *markers* utilizzati consistevano in coni arancioni con una croce di nastro argentato altamente visibili per renderli meglio individuabili nelle fotografie. Una volta posizionati le coordinate dei *markers* vengono acquisite mediante l’utilizzo di un GPS di tipo differenziale per avere la massima precisione possibile.

Sull’alto morfologico del colle di Tanit è stata posizionata la stazione RTK, necessaria al funzionamento del GPS differenziale usato per prendere i *markers* e impiegato dal drone in volo per migliorare la propria posizione, la posizione della stazione è stata scelta perché visibile da ogni punto della penisola permettendo il dialogo tra gli apparecchi.

Nella mattina del 29 settembre 2021 si è proceduto con il volo. L’apparecchio ha seguito dei parametri di volo preimpostati con altezza di volo 100 m, velocità di volo 10 m/s, con spazzate orientate secondo l’asse Sudovest-Nordest con una separazione di 25 m in modo da avere per le foto un *overlap* frontale dell’80% e laterale del 70%.

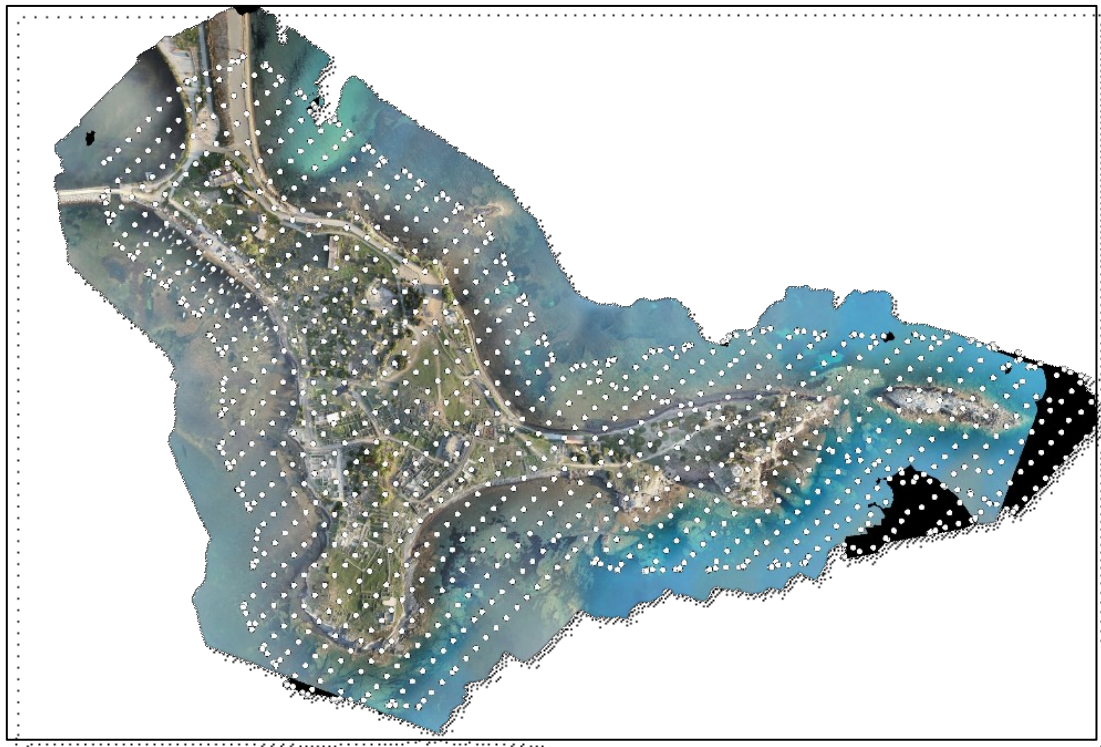


Fig. 14 - Cattura dell'ortofoto in corso di elaborazione in cui è indicata la posizione di tutte le foto acquisite.

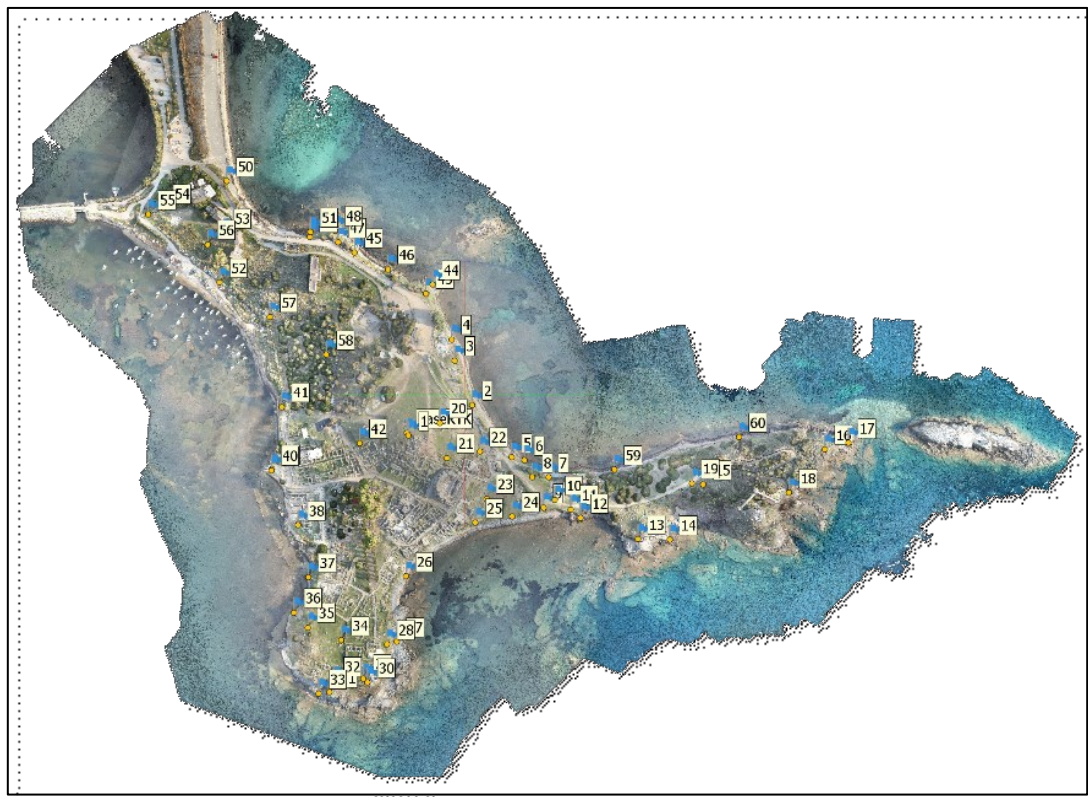


Fig. 15 -cattura della nuvola di punti densa in corso di elaborazione in cui è indicata la posizione di tutti i markers.

3.2 Rilievo del fondale

I dati della profondità del fondale circostante la penisola derivano da un rilievo ottenuto mediante scandaglio idrografico realizzato dalla ditta *Idrogeotop* e un secondo rilievo della battigia acquisito mediante stazione totale, il rilievo della missione archeologica di Padova è stato elaborato in più fasi tra il 2011 e il 2013³⁵.

Per questo elaborato si è deciso di adottare questo rilievo come base per il DTM di tutto il terreno con una quota inferiore alla quota di 0 m s.l.m., l'unica integrazione effettuata ha interessato le aree occupate dalle piattaforme di erosione, essendo questi pianori subacquei impossibili da rilevare direttamente sia dal mare che da terra, si sono quindi estratti dal modello fotogrammetrico i punti relativi a queste aree in modo da ottenere un modello privo di lacune. Nel precedente rilievo del 2016 è possibile notare come l'interpolazione dei dati tra il rilievo della batimetria e quello lidar ha creato delle false geometrie nell'area delle piattaforme d'erosione a causa della mancanza di dati per quell'area.

Non sono stati utilizzati punti del modello fotogrammetrico afferenti ad altre aree circostanti alla penisola per il pericolo che questi fossero sbagliati a causa di possibili distorsioni ottiche causate dall'acqua, ma anche per una precisa scelta di utilizzare un unico rilievo la cui correttezza era già stata provata in precedenti studi.

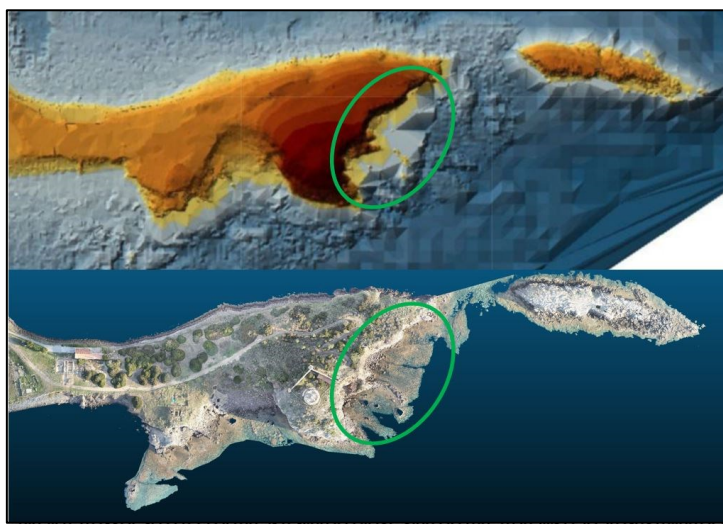


Fig. 16 – Sopra il rilievo del 2016 con evidenziate le geometrie create dal software, sotto la nuova nuvola di punti con le integrazioni necessarie a colmare le lacune tra i due rilievi.

³⁵ BONETTO ET ALII, 2015.

Apparecchiatura

La stazione totale è uno strumento topografico utilizzato per il rilievo indiretto ed è in grado di fornire informazioni come distanza e angolo di un oggetto rispetto alla posizione in cui è collocata la stazione stessa (è di fatto il centro di un piano cartesiano e localizza i soggetti del rilievo mediante coordinate x, y e z). Se la posizione della stazione è nota ed inserita in un sistema di riferimento geografico è possibile, di conseguenza, georiferire gli oggetti rilevati secondo il medesimo sistema geografico.

L'ecoscandaglio ha un funzionamento simile a quello del radar ma utilizza onde sonore al posto di quelle radio. Lo strumento è costituito da un hardware, in cui avviene la ricetrasmisione del segnale acustico e la sua trasformazione in segnale elettromagnetico, e un software analitico, in cui i segnali ricevuti vengono ricombinati e analizzati sulla base di algoritmi; l'ecoscandaglio è quindi composto da un emettitore (proiettore) dell'onda sonora e da un ricevitore che acquisisce il segnale di ritorno.

Il proiettore, orientato con l'asse maggiore per chiglia (asse che va da poppa a prua), invia il segnale. Il lobo acustico di trasmissione ha un'ampiezza prora-poppa di pochi gradi mentre quella sinistra-dritta che spazia dai 120 ai 180 gradi a seconda dei modelli di *multibeam*.

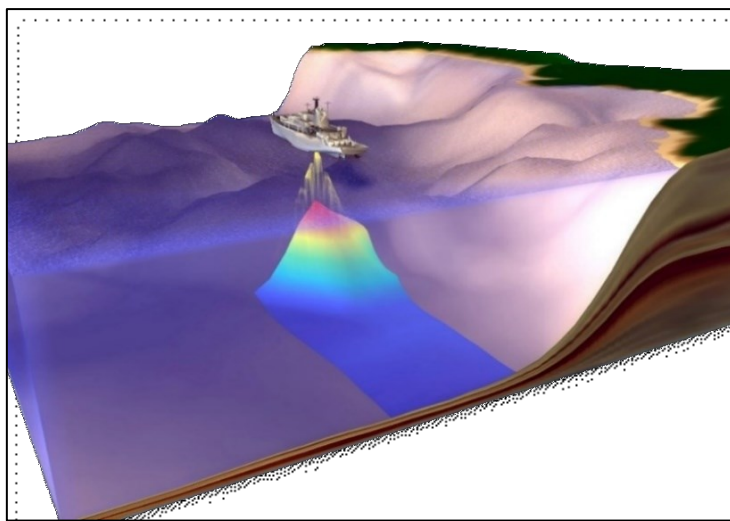


Fig. 17 - Rappresentazione grafica di un ecoscandaglio. (U.S. Navy Graphic Illustration)

Il rilievo batimetrico ha previsto tre fasi:

- i fondali < -0.8 m
- i fondali compresi tra i -0.8 e -4.0 m
- i fondali tra -4.0 e -10.0 m

Il rilevamento dei fondali da 4 a 10 m con maglia 10 x 10 m è stato effettuato con uno scandaglio *SingleBeam Bathy 500MF* della Syqwest (frequenze utilizzate 208 khz, lobo di emissione 3° e risoluzione di 1 cm). Il rilevamento dei fondali da 0.8 a 4 m è stato effettuato con ecoscandagli Syqwest (frequenze utilizzate 208 Khz, lobo di emissione 10°/18° e risoluzione di 1 cm) in configurazione *Sweep System (Multi transducer arrays)*.

Il rilevamento dei fondali < 0.8 m: per le caratteristiche del *Sweep System* si è potuto estendere lo scandagliamento in maglia mediamente fino a fondali di m 0.5, la restante parte del rilievo da -0,5 fino alla battigia è stata effettuata con battute topografiche tramite sistema di posizionamento GPS+Glonass differenziale TRK Leica System serie 1200 e Stazione Totale.

Per i fondali < 0.8 m la batimetria è stata acquisita in due diverse occasioni, la prima, effettuata dalla ditta *Idrogeotop s.r.l.*, ha coperto l'area tra 0 m s.l.m. e i -0.8 m s.l.m. arrivando con l'ecoscandaglio fino alla quota -0,5 m s.l.m., sopra questa quota sono stati acquisiti alcuni punti manualmente; per integrare questi punti e aumentare la risoluzione del rilievo la missione archeologica dell'Università di Padova ha proceduto ad acquisire tutto il profilo della battigia, (da pochi centimetri sopra il livello del mare fino a mezzo metro di profondità) in una fitta serie di transetti, con l'ausilio della stazione totale (si veda Fig. 29), i punti così ottenuti sono stati integrati con il precedente rilievo ed in parallelo si è effettuato il rilievo delle evidenze archeologiche sommerse note individuandone anche di inedite.

Per i fondali > 0.8 m e < di 4 m l'interasse tra le curve di livello è stato di 2,5 m permettendo di ottenere una maglia di 2,5 x 2,5 m nel rilievo generato. Per i fondali > 4 m l'interasse tra i profili di elevazione è stato di 10 m; in fase di restituzione, i fondali sono stati elaborati al fine di ottenere una maglia di 10 X 10 m.

I rilievi sono stati elaborati nel sistema di coordinate Gauss-Boaga. I fondali, corretti di marea (con curva di marea misurata sul posto) sono stati riferiti al livello medio mare rete IGM³⁶.

³⁶ CARRARO, METELLI, 2018

4 Elaborazione della nuvola di punti

4.1 Premessa

Elaborazione del modello 3D e dell'ortofoto della penisola

Oltre all'acquisizione delle immagini, *Archetipo S.r.l.* si è occupata anche dell'elaborazione del modello 3D mediante il software *Agisoft Metashape*. Le foto di partenza sono 1276, di queste il software ha riconosciuto 1208 scatti come utilizzabili per la realizzazione del modello; un numero così elevato preclude l'utilizzo di un normale PC in quanto richiederebbe tempi di elaborazione troppo lunghi.

Da queste 1208 immagini il software ha generato una prima nuvola di punti composta da quei pixel che il software riconosce come comuni a due o più immagini e che vengono chiamati *tie points*; la nuvola così ottenuta è composta da 1.302.979 punti.

A questo punto è seguita la generazione della *dense point cloud* (nuvola di punti densa) che ha portato il modello ad essere composto da 250.709.397 punti; ed è questa nuvola a permettere la realizzazione di un modello ad alta risoluzione³⁷.

Su questi punti il software ha creato la *mesh* cioè una superficie composta da triangoli che hanno come vertice i punti della nuvola densa, in questo caso il modello 3D è composto da 17.412.567 facce.

Dalla *mesh Archetipo S.l.r.* ha realizzato l'ortofoto ad altissima risoluzione (ogni pixel corrisponde ad un quadrato di 1,5 cm di lato).

Immagini	1208 di 1276 allineate	
Markers	61	
Tie Points	1.302.979 punti	
Depth Maps	1152	<i>Medium quality, mild Filtering</i>
Dense Cloud	250.709.397 punti	<i>Medium quality</i>
3D Model	17.412.567 facce	<i>Medium quality</i>
Orthomosaic	78.599 x 57.406 pixel	Risoluzione 1,5 cm/pixel

Tabella 1 - Riassunto dei dati e dei parametri dei processi del progetto Agisoft Metashape realizzato da Archetipo S.r.l.

³⁷ Grazie all'elevato numero di punti della nuvola.



Fig. 18 - Cattura dell'ortofoto ad alta risoluzione elaborata in Agisoft Metashape

4.2 Hardware

Per l'elaborazione del rilievo fotogrammetrico *Archetipo s.r.l.* ha impiegato un computer assemblato con processore *Intel CORE i7-9700K* (3,60 GHz) con 128 GB di ram.

Per l'elaborazione del DTM a partire dalla nuvola di punti del rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato un PC *Asus VivoBook Pro* con 16 GB di ram, dotato di processore *Intel CORE i7* di settima generazione (3,8 GHz di frequenza massima), con scheda grafica *Nvidia Geforce GTX 1050* da 4 GB.

4.3 CloudCompare

Il software utilizzato per l'elaborazione della nuvola di punti è CloudCompare nella sua versione 2.12.1. la necessità di utilizzare questo software per la pulizia della nuvola deriva dalla maggior specializzazione che questo software ha nella segmentazione e nella pulizia delle nuvole di punti rispetto a Metashape dove le nuvole sono generate.

In primo luogo si è proceduto a rimuovere dalla nuvola di punti densa tutti i tratti di mare compresi in essa in quanto non utili per realizzare il DTM; per questa operazione ci si avvale del comando *Segment*, che isola dalla nuvola i punti compresi all'interno della polilinea spezzata chiusa che l'operatore traccia; a questo punto si ottengono due nuvole, nel nostro caso una è la nuvola iniziale e la seconda è quella che comprende i punti del mare, sottratta alla precedente; questa seconda nuvola può quindi essere eliminata.

Si ottiene così una nuova nuvola che comprende unicamente la terra emersa della penisola.

La seconda operazione non è strettamente collegata alla realizzazione del DTM, ma è funzionale ad una più agevole elaborazione dei dati. Essendo la nuvola, dopo la prima segmentazione, ancora composta da 79.533.508 punti risulta piuttosto pesante, rallentando le ulteriori operazioni di pulizia; per ovviare a questo problema si è proceduto dividendo la nuvola in *tiles* di 400x400m tramite lo strumento *cross section*. Le *tiles* così ottenute sono composte da un numero sufficiente ridotto di punti da non rallentare il processo di elaborazione quando prese singolarmente.



Fig. 19 - Tiles rappresentante 400 mq di penisola composta da 3.157.000 punti pronta per l'elaborazione

I passaggi di seguito riportati vengono poi applicati per ogni *tile* su cui si è lavorato in modo indipendente.

In primo luogo, si è proceduto ad eliminare gli elementi maggiormente evidenti, come gli edifici, mediante il comando *segment*. Per tutti gli elementi più piccoli per cui il processo di segmentazione sarebbe stato lungo si è proceduto con un

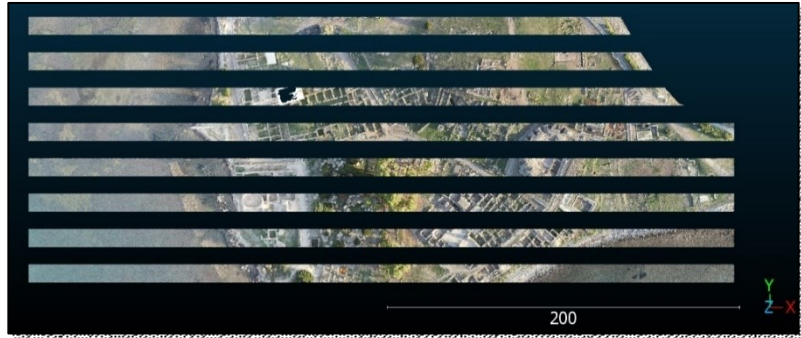


Fig. 20 - Esempio di segmentazione della tile mediante fasce di 10m che si ripetono lungo l'asse Y (qui sono attive a intermittenza)

differente metodo: mediante il comando *cross section* si è divisa ogni *tile* in strette strisce generalmente larghe 10 m in modo che ogni striscia presentasse lo stesso profilo in ogni punto della sua larghezza; questo ha permesso di visualizzare la linea del terreno, che consiste nella singola linea, con la più alta densità di punti, che corre lungo tutta la lunghezza della striscia, i punti che stanno sopra (muri, edifici e piante) e quelli che stanno sotto (cisterne e pozzi) vanno eliminati; a questo punto il processo risulta piuttosto semplice in quanto basterà racchiudere nelle polilinea dello strumento *segment* tutti i punti che si alzano dal profilo del terreno stando quanto più attenti a tenersi il più possibile aderenti allo stesso.

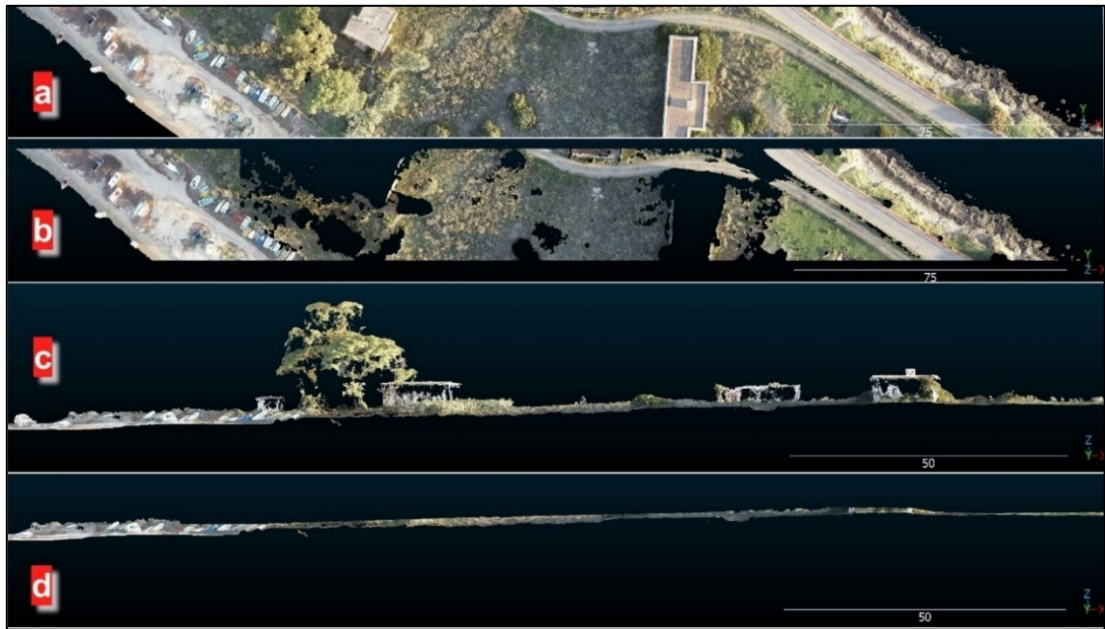


Fig. 21 - Esempio di elaborazione: (a) vista azimutale dell'area di intervento, (c) vista laterale dell'area prima dell'intervento; (b) e (d) le medesime viste di (nell'ordine di a e c) dopo l'intervento.

Come già detto nel capitolo 2.3 la penisola si divide in due tipi di elaborazioni, nelle aree non scavate l'eliminazione dei punti non appartenenti al DTM è intuitiva ed immediata e non richiede particolare attenzione trattandosi unicamente di piante ed edifici moderni che si stagliano in maniera evidente dal profilo del terreno; diversa è la situazione nelle aree di scavo, qui infatti il terreno ha repentini cambi di quota e bisogna prestare attenzione a non eliminare piani pavimentali mentre si procede all'eliminazione delle strutture murarie che si alzano dal terreno, operazione tutt'altro che immediata visto il complesso palinsesto di strutture che si concentrano nei vari isolati della città antica.

Si è anche badato alla rimozione dei montarozzi, cumuli provvisori di terra di riporto generati dagli ultimi anni di scavo, i quali generano delle *feature* che, se non rimosse, potrebbero portare ad una cattiva interpretazione del profilo del terreno o addirittura all'individuazione di evidenze archeologiche in realtà inesistenti.

Il risultato di questa operazione è una nuvola con numerose lacune, nella porzione settentrionale e orientale della penisola la responsabilità è da attribuire alla vegetazione e agli edifici moderni, nella porzione meridionale le lacune sono generate dalla rimozione delle strutture murarie antiche.

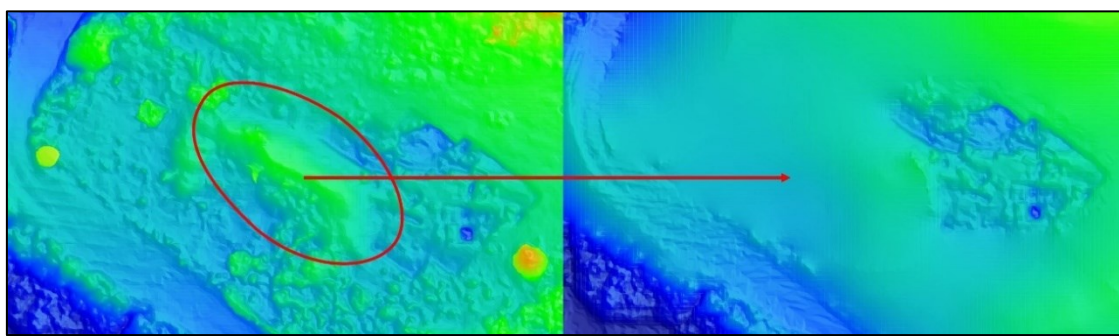


Fig. 22 - A sinistra il DSM in cui è visibile un' area più elevata che corrisponde ad un cumulo di terra di risulta delle attività di scavo, a destra il DTM in cui il montarozzo e la vegetazione sono stati eliminati.

A questo punto si ottiene una *tile* in cui gli oggetti che si elevavano maggiormente dal terreno sono stati rimossi, la natura manuale del passaggio precedente implica però una certa quantità di errore che si manifesta spesso nella presenza, poco sopra il livello del terreno, di parti di nuvola appartenenti ad oggetti da rimuovere. Per questo bisogna, una volta riunite in un'unica nuvola le varie strisce, tornare ad una segmentazione "dall'alto", eliminando i punti rimasti dal passaggio precedente. Per questa operazione risulta utile modificare il colore della nuvola da RGB (ogni punto oltre alle coordinate ha anche un suo colore specifico) ad una scala in falso colore basata sulla quota di ogni punto

grazie al comando *Haight ramp*, in questo modo tutto il terreno alla stessa quota avrà il medesimo colore, tranne i punti non rimossi nel precedente passaggio che, essendo più alti del terreno circostante appariranno con un colore differente a seconda della loro differenza di quota ed è proprio questa differenza ad aiutare ad individuare e a rimuovere questi punti.

Una volta ripetuto questo procedimento per ogni *tile* e una volta riunite nuovamente in un'unica nuvola tramite il comando *union*, risulterà una nuvola i cui punti sono unicamente quelli che compongono la superficie del terreno.

Sulla nuvola così ottenuta si è proceduto poi a due passaggi di filtraggio con due differenti metodi: il *Noise filter* per eliminare il rumore della nuvola cioè tutti quei punti con posizione non coerente con la media dei punti della nuvola (es. punti singoli isolati nello spazio lontani dal resto della nuvola e dunque non corretti) e l'*SOR filter* che serve invece a decimare la nuvola e a renderla più leggera per le elaborazioni successive; questo filtro lavora calcolando la distanza media tra i punti della nuvola e successivamente elimina tutti i punti con una distanza dai vicini maggiore di quella media.



Fig. 23 - La nuvola risultato dell'attività di rimozione dei punti non appartenenti al terreno, come si può vedere una porzione non indifferente del modello è stata rimossa

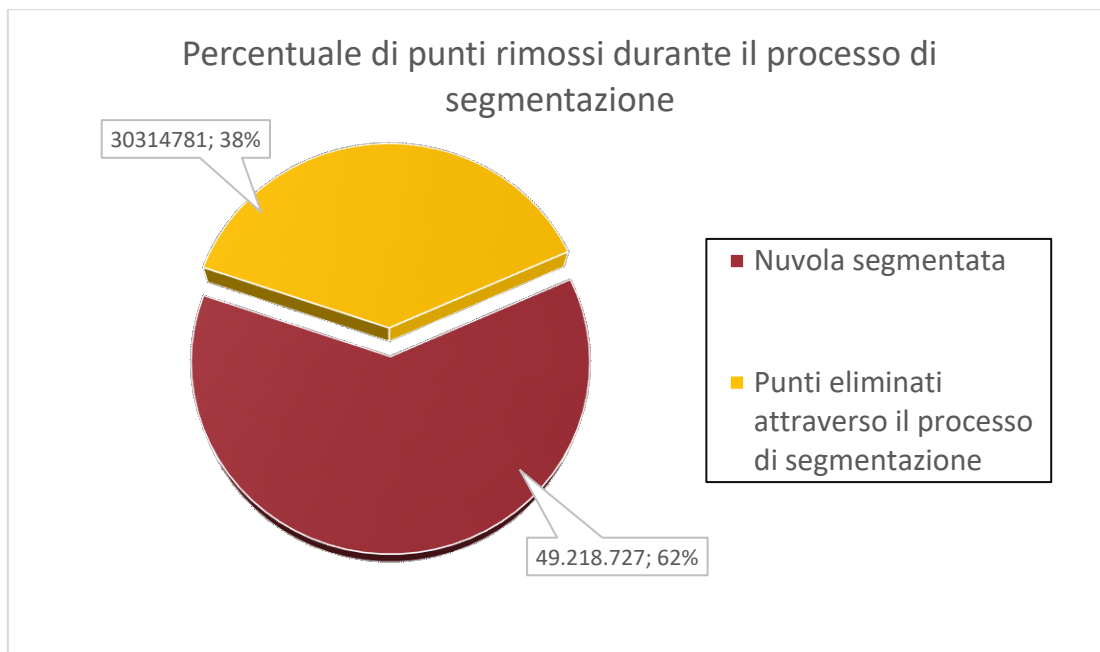


Grafico 1 - Grafico a torta che mostra la quantità di punti rimossi (vegetazione, edifici ed altri edifici ed altri oggetti antropici) per la realizzazione del DTM a partire dalla dense cloud iniziale privata dei punti appartenenti al mare.

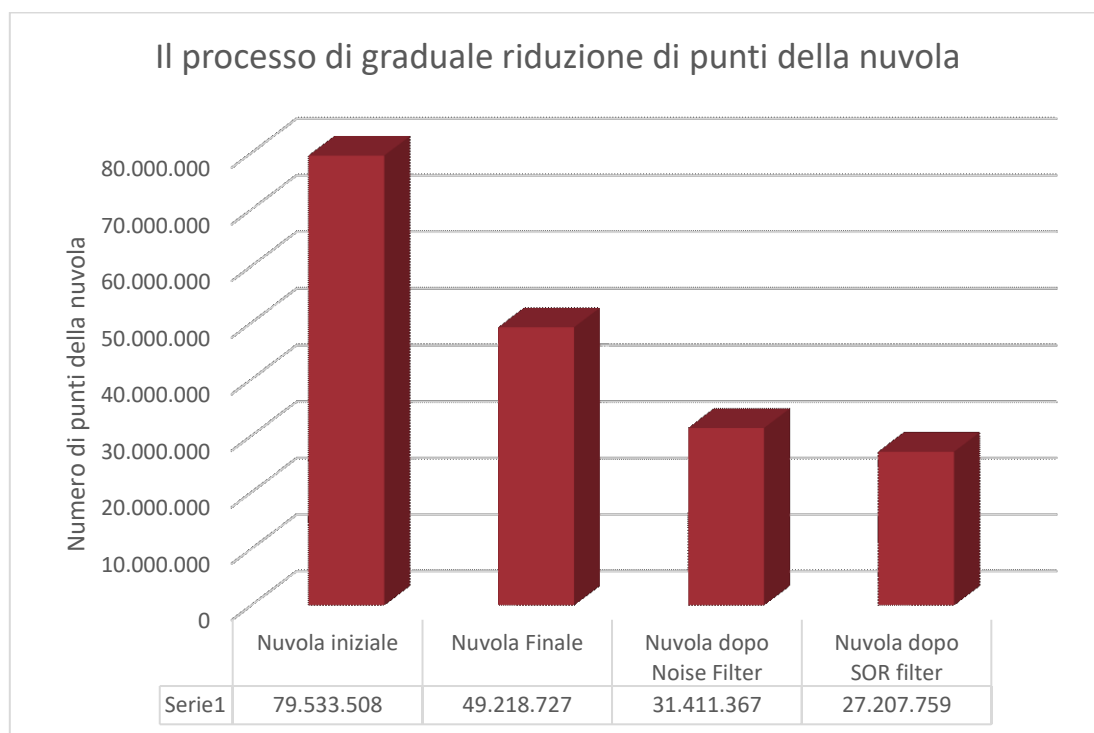


Grafico 2 - Grafico che mostra la graduale riduzione del numero dei punti della nuvola con ogni passaggio dell'elaborazione

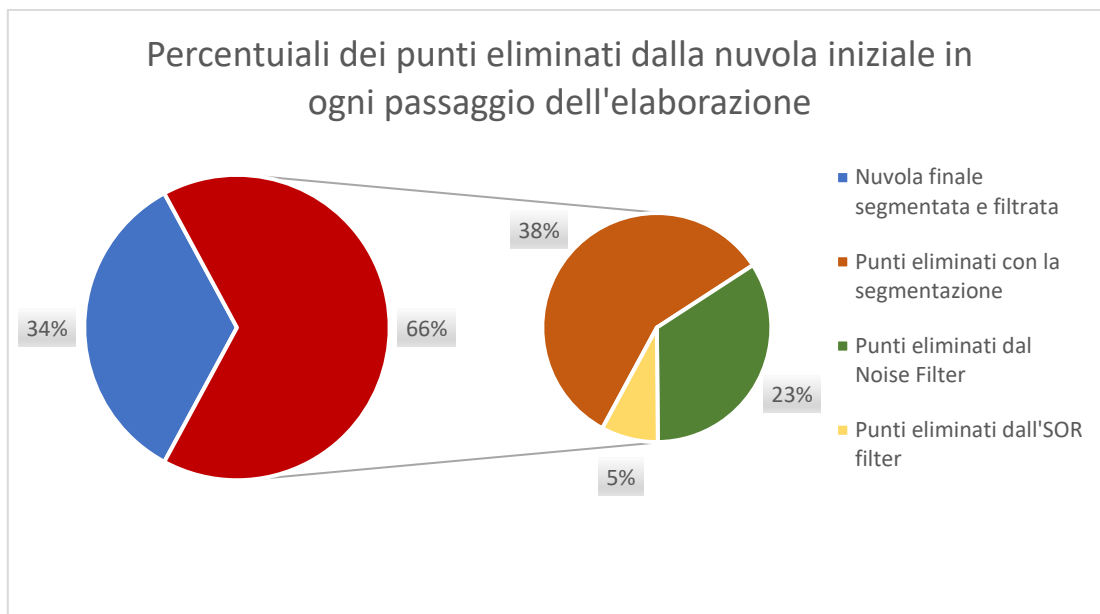


Grafico 3 – La torta di sinistra rappresenta i punti della nuvola iniziale, composta dai punti mantenuti nella nuvola finale (in blu) e quelli eliminati durante l'elaborazione (in rosso), la torta di destra mostra quanti punti sono stati eliminati nel processo di segmentazione e nei due filtraggi (la loro somma equivale al numero di punti eliminati dalla nuvola iniziale).

4.4 Agisoft Metashape

Il software impiegato per generare il DTM è stato *Agisoft Metashape* nella sua versione *1.7.1 build 11797*. Anche in *Cloud Compare* è possibile ottenere un DTM della nuvola ma in *Metashape* in processo di elaborazione dalla nuvola al DTM è più semplice essendo il software appositamente realizzato per queste operazioni, da qui la scelta di fare il passaggio da *Cloud Compare* a *Metashape*.

Il primo processo è stato quello di importare la nuvola di punti densa elaborata in precedenza in *Cloud Compare*. Da questa nuvola è stata generata la *mesh* composta da 1.813.850 facce, il modello risulta però privo della *mesh* nei punti in cui si era proceduto ad eliminare edifici e vegetazione, per ovviare a questo problema è stato utilizzato il *tool close holes* integrato nel programma, che permette di ricostruire la superficie mancante a partire dalla *Z* dei punti limitrofi; questo processo genera nella maggior parte dei casi delle superfici che chiudono il buco, ma talvolta generano una superficie composta da un numero eccessivo di poligoni, che portano ad un cattivo risultato finale oltre ad appesantire inutilmente il modello; per risolvere questo problema è stato utilizzato un altro *tool: decimate mesh*, che riduce il numero di poligoni dell'area selezionata (nel nostro caso la porzione di *mesh* ricostruita) secondo un numero stabilito dall'utente, il numero varia a seconda della porzione di superficie su cui si sta lavorando ed è un processo graduale che lavora per tentativi, ma solitamente si arriva ad un numero di triangoli che si aggira tra le cinquemila e le mille unità (per esempio un'area di *mesh* pari a 520 m² era stata ricostruita con 1.622.369. triangoli poi ridotti a meno di 10.000).

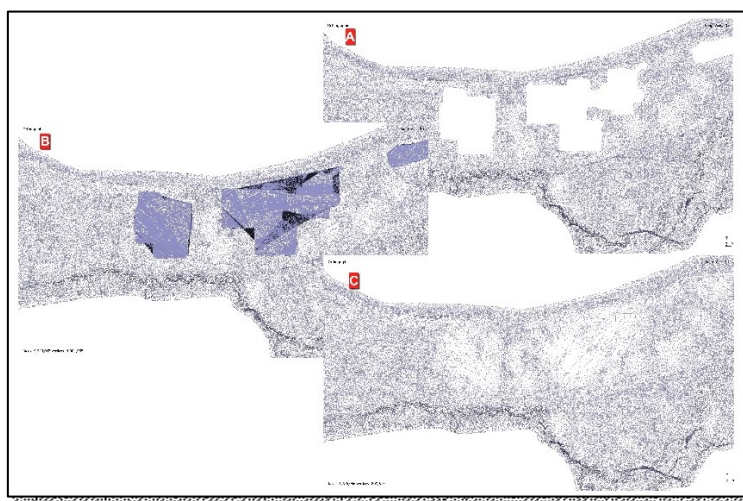


Fig. 24 -Questa immagine illustra i tre passaggi di integrazione della mesh: (A) la mesh da integrare, (B) la mesh con le superfici generate dal software da correggere e (C) la mesh integrata correttamente nelle sue parti mancanti

All'operazione di decimazione della *mesh* è seguita un'operazione di lisciatura della superficie mediante il *tool: smooth mesh*, come l'operazione precedente anche questa ha una procedura prevalentemente empirica fatta di gradualità tentativi, per cui si procede solitamente con un valore di 5 o 10 per le aree in cui si voleva preservare maggiormente la micromorfologia, 50 per le zone più compromesse dal disturbo della vegetazione.

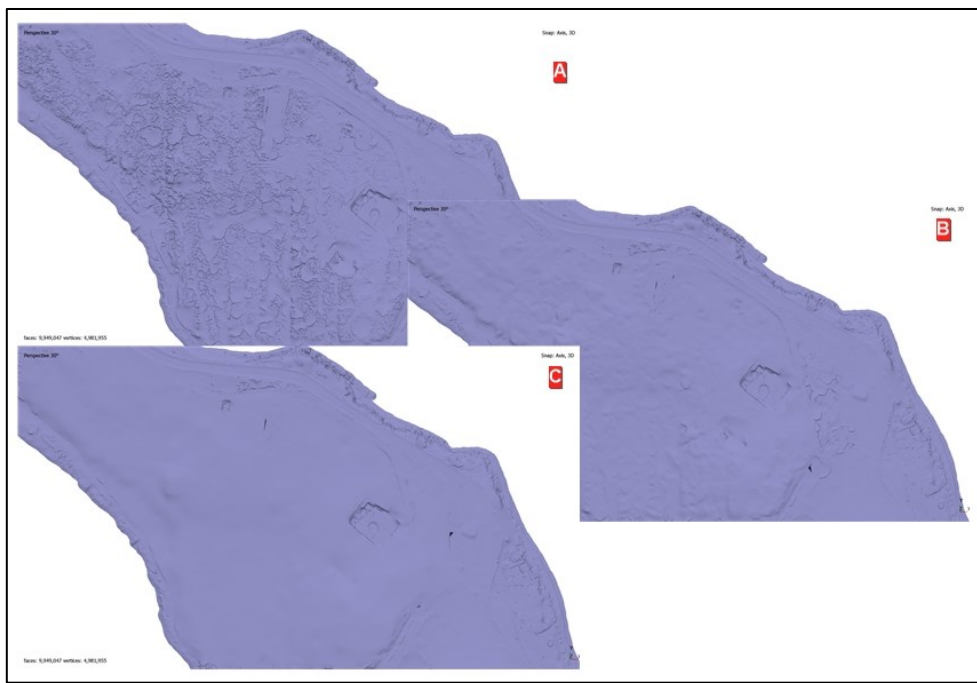


Fig. 25 - Esempio del processo: (A) la *mesh* con un'evidente rugosità dovuta alla vegetazione che ricopre l'area della Marina Militare, (B) l'area dopo un primo tentativo con valore 10 e (C) l'area dopo un secondo tentativo con valore 50

A questo punto si è ottenuta una superficie che è quella della nuvola di punti integrata nelle sue parti mancanti ma, come accennato alla fine del capitolo precedente, il modello 3D presenta ancora un'ampia area occupata da piante erbacee che non è stato possibile rimuovere in precedenza; per mitigare l'effetto di questa problematica si è fatto nuovamente ricorso al *tool smooth mesh* andando a selezionare unicamente le porzioni di nuvola in cui il problema era particolarmente acuto come l'area della Marina Militare e il promontorio del Coltellazzo la prima a causa della presenza diffusa di erba alta e canneti, la seconda per la presenza di bassi arbusti (non eliminati in precedenza per evitare di intaccare troppo la morfologia del terreno) che, anche se meno estesi, creano *features* globuliformi particolarmente dannose in quanto molto diverse dal reale andamento del terreno (per questo si è cercato innanzitutto ad eliminarli e successivamente spianarli i residui con lo strumento *smussa*). Si è prestata molta attenzione a cercare di non applicare

lo strumento *smooth* sulle aree di scavo o in altre zone dove questa non risulti necessaria in quanto questo strumento, smussando la superficie, elimina quelle che è la micromorfologia del terreno, pur rimanendo affidabile in quanto rispetta l'andamento del terreno circostante.

	Numero di facce	Numero di vertici
Mesh iniziale	1.799.368	910.371
Mesh con interpolazione delle lacune senza correzione	9.949.047	4.981.955
Mesh finale con correzione da parte dell'operatore	1.785.956	899.613

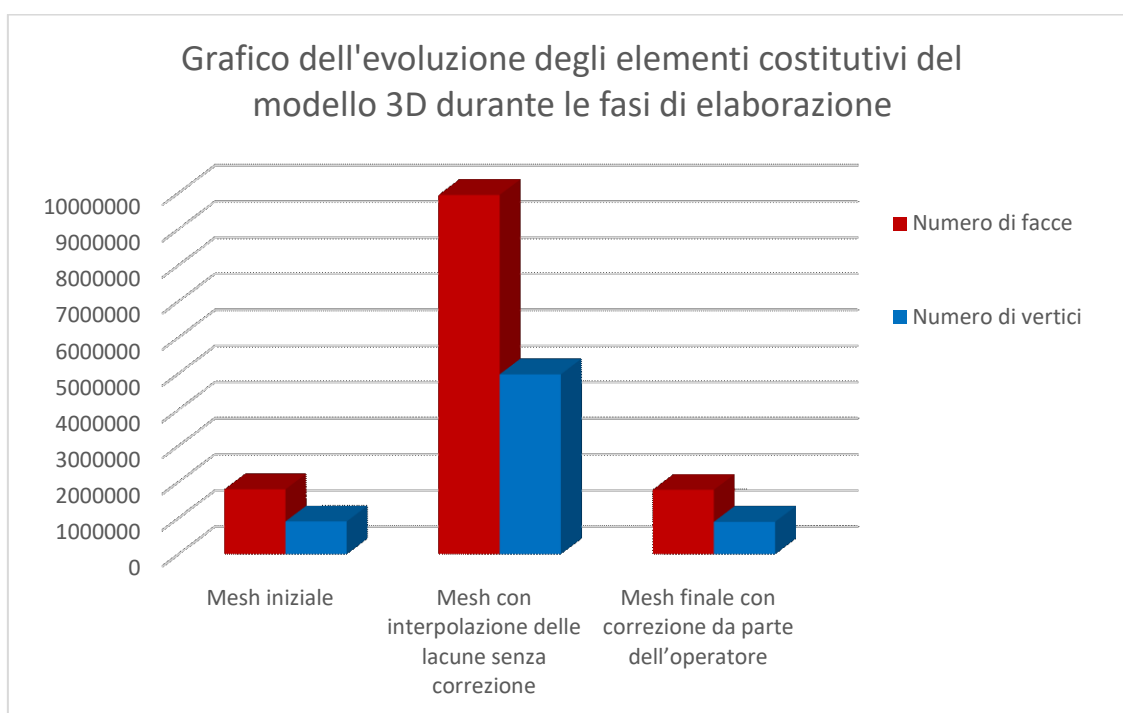


Grafico 4 - Grafico del numero di facce e vertici della mesh durante i tre passaggi dell'elaborazione del modello 3D

Una volta ottenuta una *mesh* pulita e uniforme si può procedere alla creazione del DTM direttamente all'interno del programma *Metashape*. Per questo elaborato si è creato un DTM con una risoluzione di 6 cm/pixel (26.507 x 21.170 pixels).

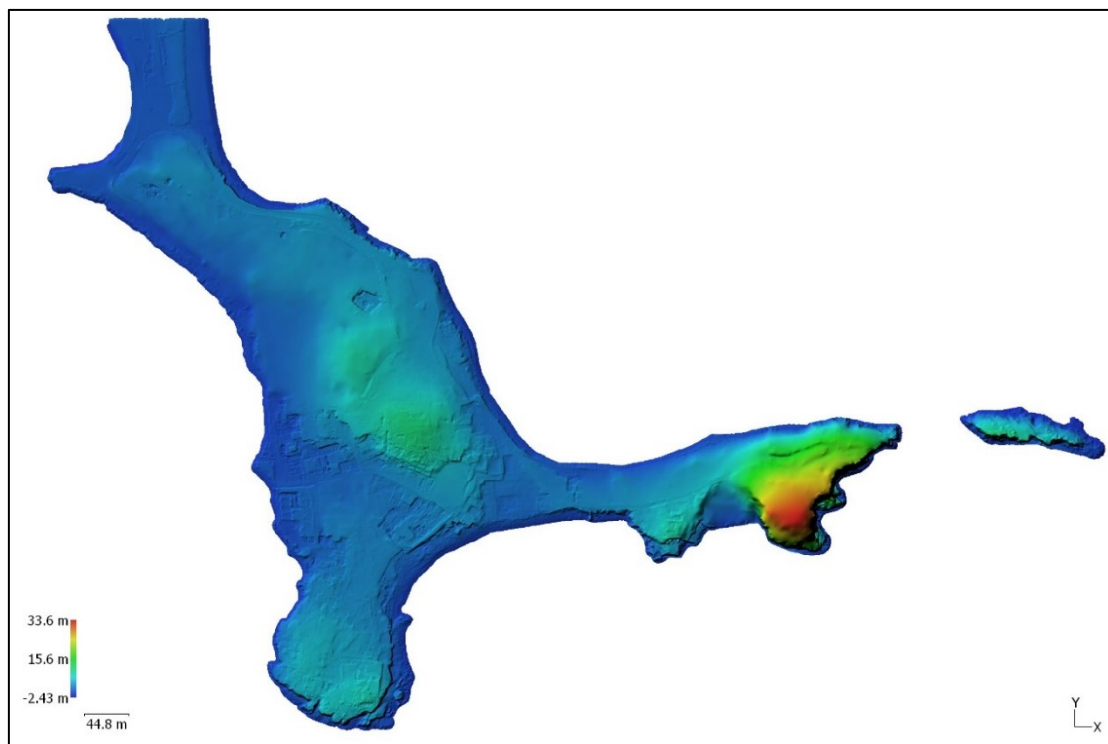


Fig. 26 -Cattura del DTM come viene rappresentato nella schermata di visualizzazione all'interno del software Metashape

4.5 Problematicità riscontrate

La difficoltà maggiore riscontrata nell'elaborazione del DTM è stata quella della vegetazione, che ha portato alla ricerca di una soluzione quanto più aderente al dato reale che si intendeva ottenere. Il fattore di maggior disturbo sono i lentischi, arbusti sempreverdi con una chioma particolarmente fitta, di forma globosa, che può arrivare a superare i due metri di altezza; è proprio la chioma densa della pianta che impedisce di acquisire dati sul terreno anche con altri metodi remoti più penetranti³⁸; questo fa sì che la nuvola, una volta pulita, risulti particolarmente lacunosa, essendo l'area coperta da numerose piante.

Altra difficoltà è stata quella di restituire il modesto rilievo che si incontra subito a sud dell'istmo, su questa altura, di appena 4m s.l.m., sorge infatti un edificio, costruito con la realizzazione del presidio militare, che ne occupa quasi tutta la superficie, si è dovuto quindi procedere con un lavoro minuzioso di segmentazione per eliminare

³⁸ Il LIDAR ha una maggior capacità di acquisire punti del terreno sotto alla chioma degli alberi rispetto al fotogrammetrico ma in questo caso dopo un tentativo si è appurato che la vegetazione è troppo fitta anche per questa tecnica.

l'edificio, la vegetazioni e i gazebi per risparmiare tutti i, pochi, punti appratenti al terreno per poterne ricavare il DTM.

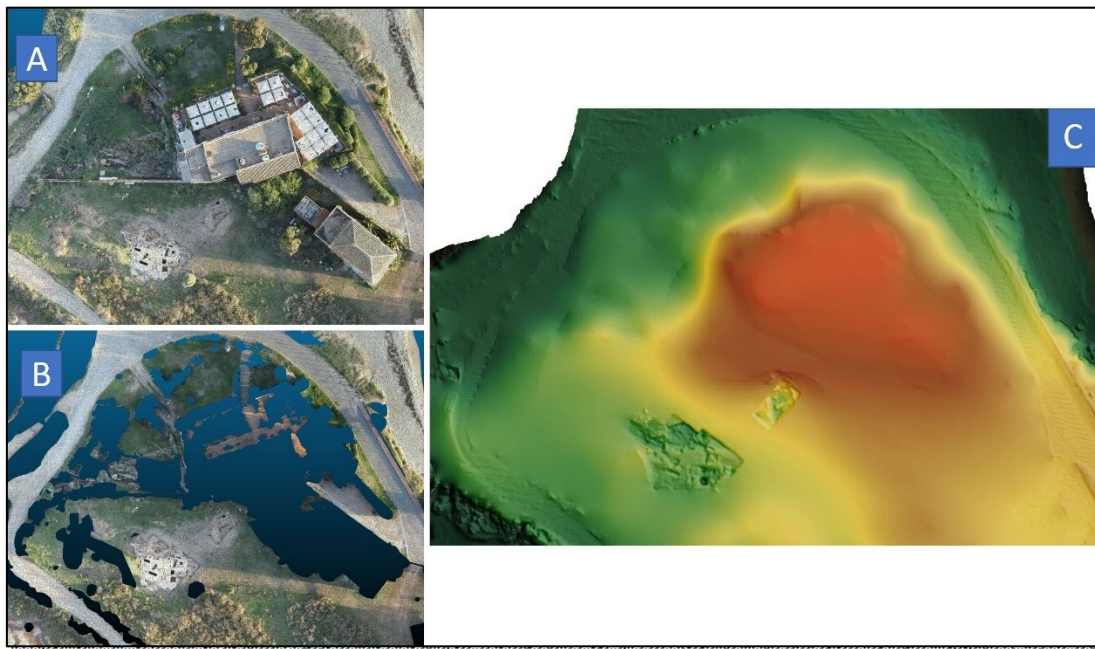


Fig. 27 - (A) la nuvola del DSM prima della segmentazione, (B) la nuvola dopo la segmentazione e (C) il DTM prodotto dalla nuvola segmentata

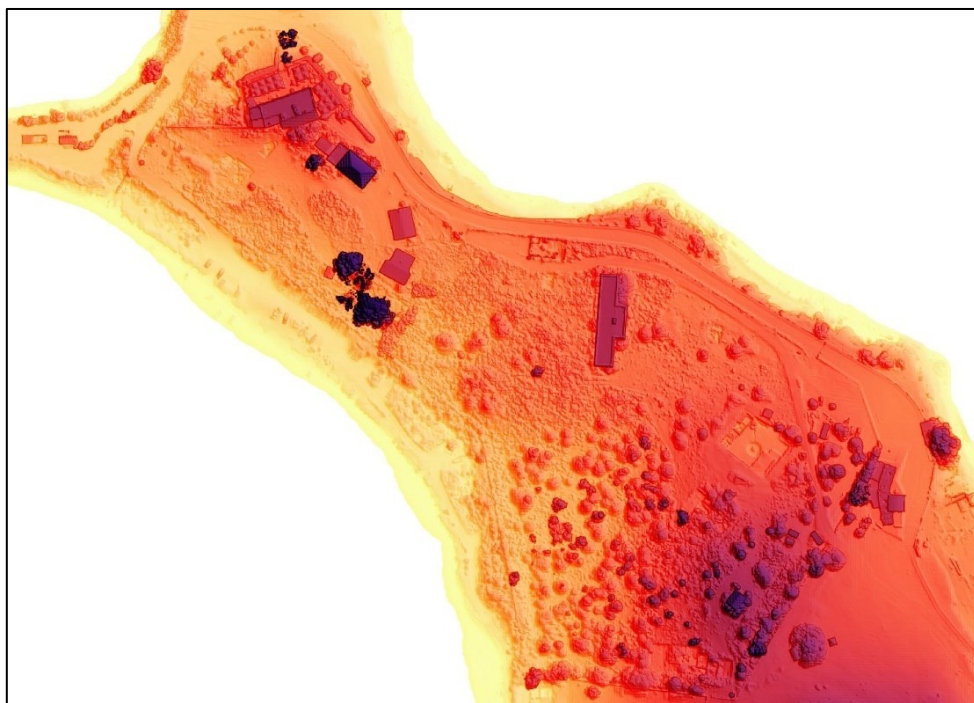


Fig. 28 - Rilievo DSM dell'area della ex base della Marina Militare, la copertura erbosa e arbustiva è evidente e genera una superficie irregolare che, a sud segue i limiti della recinzione che circonda l'area

4.6 QGis

L'elaborazione finale dei dati è stata eseguita mediante il software di *Geographic Information System QGis*, software *open source*, nella sua versione 3.26.3.

Questo software, come tutti i software di Gis, è appositamente sviluppato per l'analisi geografica della cartografia digitale; quindi, risulta un passaggio obbligato per l'analisi e l'interpretazione del DTM generato in questo elaborato.

In questo software si è anche proceduto all'integrazione tra i dati della batimetria del fondale con l'altimetria della penisola generando quindi un modello digitale dell'elevazione che si estende dai -16 m del fondale a Sud – Est dell'isolotto del Coltellazzo (limite dell'indagine con l'ecoscandaglio) fino ai 32 m del rilievo di Punta Coltellazzo.

Per quanto riguarda i dati dell'indagine delle aree sommerse, un DTM era già stato realizzato unendo i dati dell'ecoscandaglio con quelli ottenuti mediante stazione totale³⁹ per le aree sommerse mentre per le aree emerse era stato utilizzato il DTM generato da rilievo LIDAR effettuato dalla Regione Sardegna con una risoluzione di 1m/pixel⁴⁰.

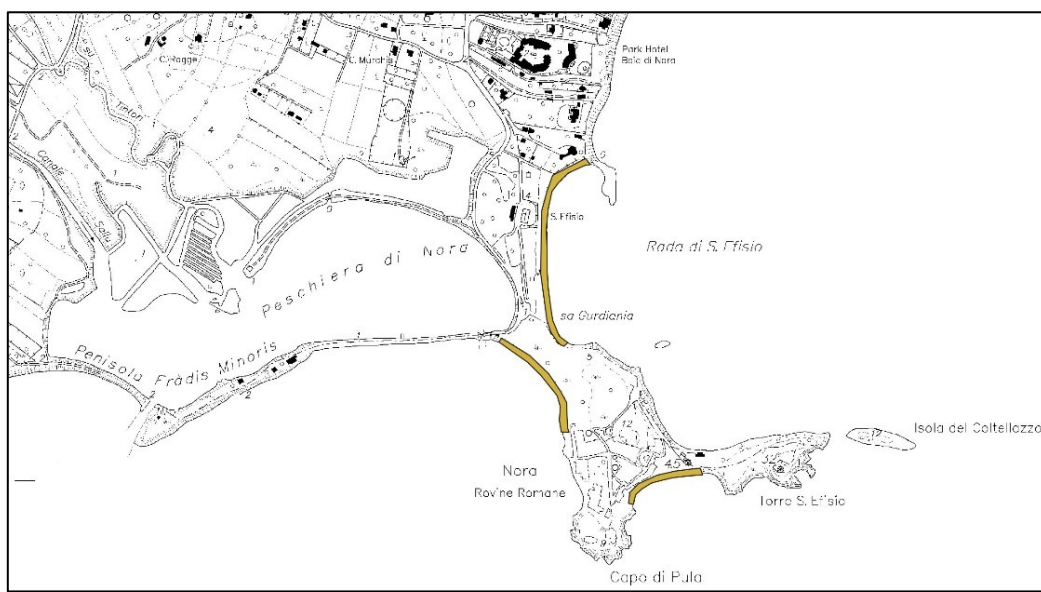


Fig. 29 - dettaglio della penisola di Nora estratto dal foglio n.573110 della CTR con indicate le aree in cui sono stato effettuato il rilievo diretto.

³⁹ il rilievo diretto ha interessato - con 33 transetti che si estendevano per una trentina di metri dall'area emersa a quella sommersa - la rada di Sant'Efisio, la costa antistante la c.d. Casa Sarda, la costa meridionale su cui affaccia il Foro e la spiaggia che costeggia ad occidente l'area dell'ex Marina Militare

⁴⁰ Bonetto *et alii* 2015

Per prima cosa, dopo aver importato il sopracitato DTM, si è proceduto a rimuovere il DTM delle terre emerse; per fare questo si sono estrapolate le curve di livello dal raster⁴¹ con un intervallo tra le isobate di 0,25 cm ottenendo così un file vettoriale⁴², in questo modo si sono poi potute eliminare tutte le curve di livello con un valore di elevazione maggiore di 0 m s.l.m.

Con le curve di livello rimanenti si è poi rielaborato un nuovo raster grazie allo strumento *Interpolazione TIN* che partendo dal dato di Elevazione associato ad ogni curva di livello va a creare una nuova superficie; lo strumento permette di creare raster con una risoluzione scelta dall'autore, per questo caso si è scelto un valore di 0,1cm/pixel per avere la massima risoluzione nella zona compresa tra 0 e -4m s.l.m.

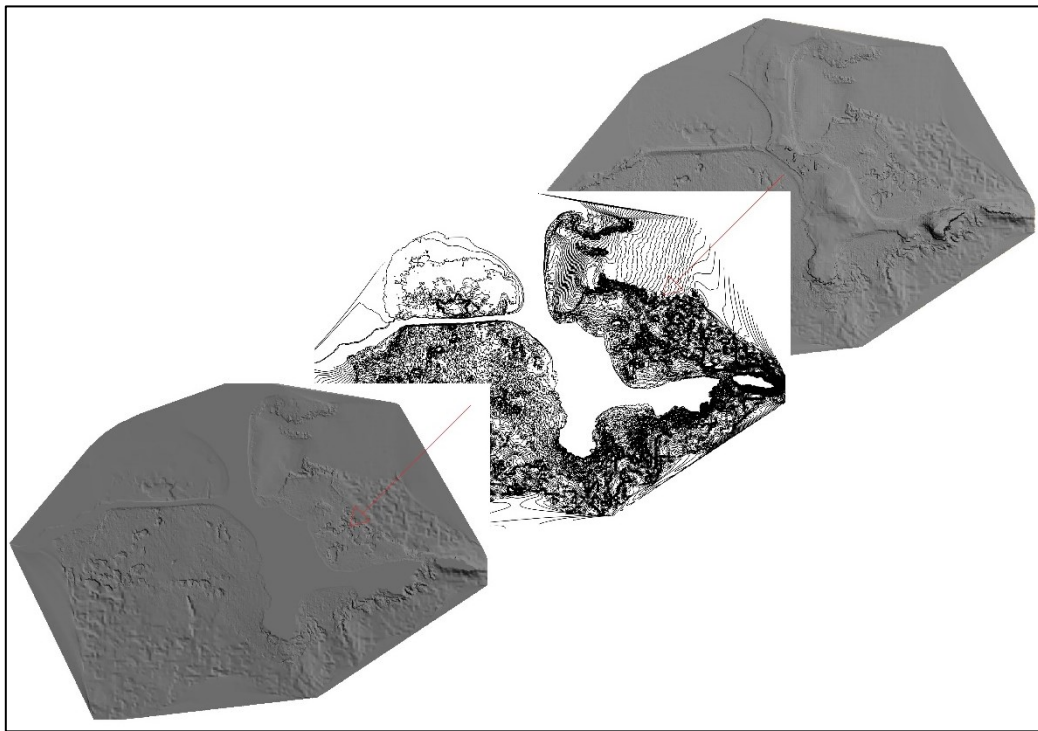


Fig. 30 - Queste tre catture mostrano i tre passaggi per ottenere il DTM della batimetria intorno alla penisola, il primo in alto è il DTM di partenza, al centro le curve di livello minori di 0m s.l.m. e in basso il DTM generato dalle isoipse.

Con il medesimo processo si è proceduto a estrapolare le curve di livello (intervallo di 0,1cm) dal DTM della penisola; così facendo si è ottenuto un file vettoriale come quello ottenuto precedentemente per la batimetria. Con lo strumento *fusione* si sono

⁴¹ Un file raster consiste in una griglia ortogonale di punti che costituisce un'immagine

⁴² Un file vettoriale consiste nella rappresentazione di un'immagine in cui gli elementi grafici che la costituiscono sono un insieme di primitive geometriche

poi fusi i due file vettoriali ottenendo un singolo file vettoriale con le curve di livello dei due modelli precedenti (intervallo di 0,25 cm da -16,5 a -0,25 e intervallo di 0,1 cm da -0,24 m a 34 m); questo passaggio è necessario per poter creare un file raster completo di entrambi i rilievi utilizzando nuovamente lo strumento *Interpolazione TIN*. A questo punto è possibile utilizzare il modello ottenuto per una molteplice varietà di analisi ed elaborazioni grafiche.

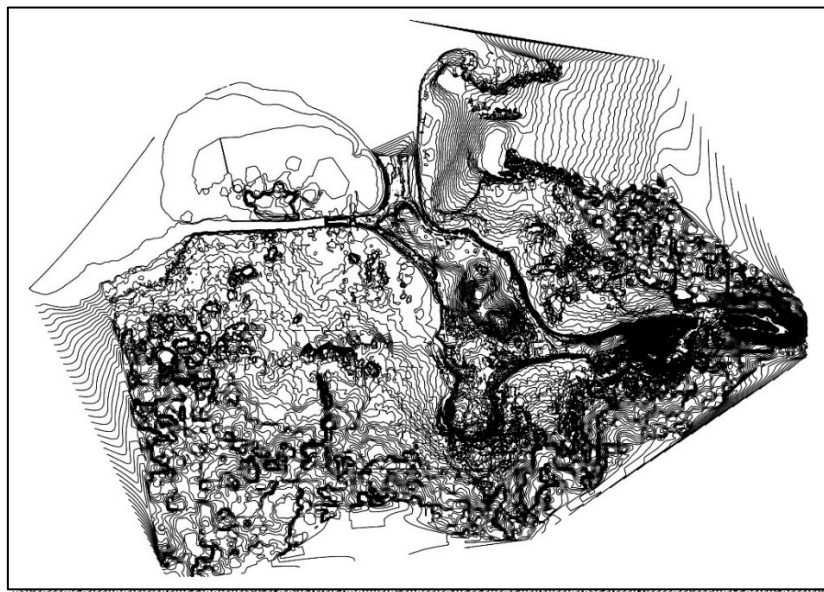


Fig. 31 - File vettoriale generato dalla fusione delle curve di livello dei due modelli

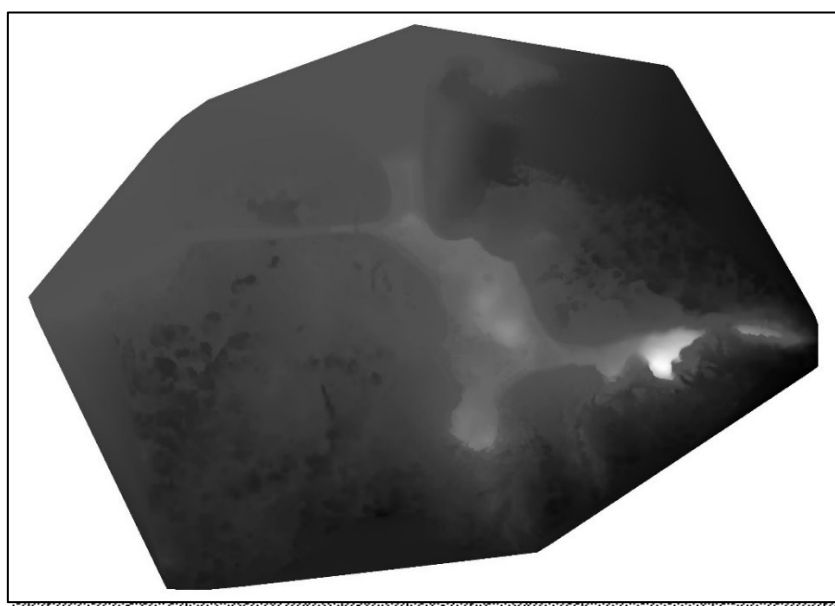


Fig. 32 - File raster generato dalle curve di livello dei due modelli

5 Risultati

5.1 Elaborazioni grafiche del DTM

Per prima cosa si è proceduto alla realizzazione di un modello ombreggiato sia per il DTM delle terre emerse che per quello cumulativo, per ottenere questa visualizzazione basta impostare la rappresentazione ombreggiata del raster scegliendola tra le varie opzioni all'interno del menù *simbologia*; per ogni raster si è proceduto con i seguenti parametri: *altitudine* (i gradi con cui i raggi del sole incidono sul modello) di 70° (0° l'illuminazione incide ortogonalmente al piano del modello, 90° l'illuminazione incide parallelamente al piano del modello) con un *azimut multidirezionale* (non vi è un'unica fonte di luce che illumina il modello) in modo da evidenziare la morfologia del modello con un effetto simile a quello della luce radente che permette di percepire la tridimensionalità del modello.

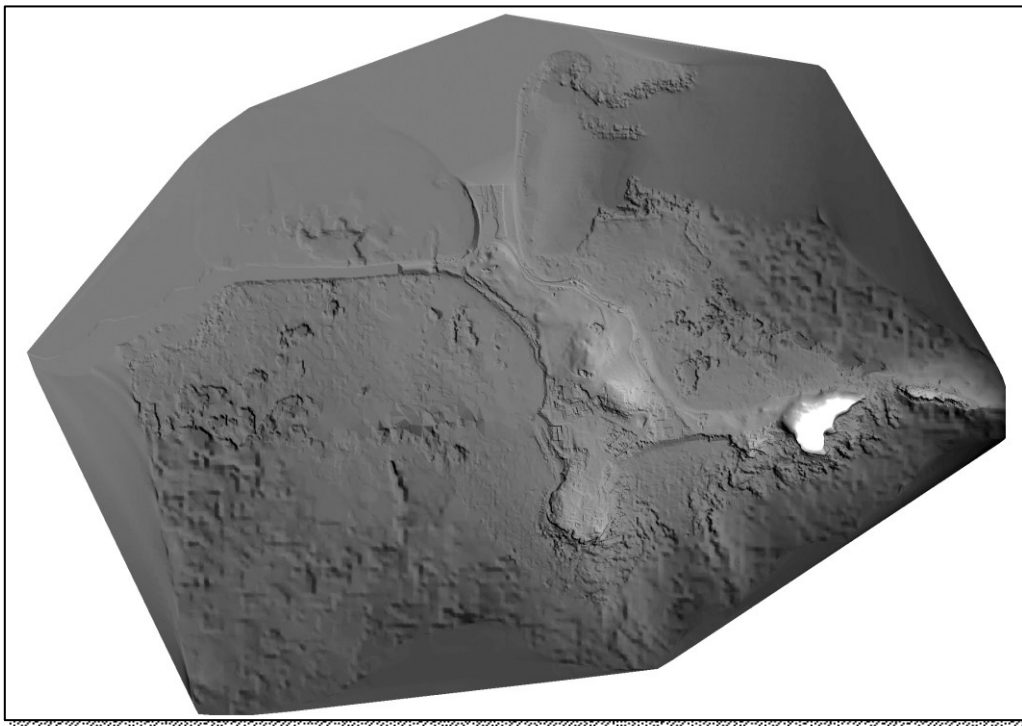


Fig. 33 - Modello ombreggiato in scala di grigio, la resa della tridimensionalità è evidente se si confronta l'immagine con la Fig. 28 che presenta unicamente una colorazione in scala di grigi.

Per aggiungere l'informazione dell'elevazione al modello ombreggiato si procede creando una copia del medesimo modello 3D, questo modello viene colorato sempre agendo dal menù *simbologia* del layer con una scala colorata che può essere generata dal software oppure dall'operatore; nel caso di questo elaborato si è proceduto a creare scale

di colore apposite per il singolo modello a seconda dei parametri che si volevano maggiormente mettere in risalto.

Per integrare le due visualizzazioni si deve specificare il metodo di sovrapposizione dei due layer, per questo studio si è sempre posto il layer ombreggiato in primo piano e a questo si è sovrapposto il layer con la scala di colori.

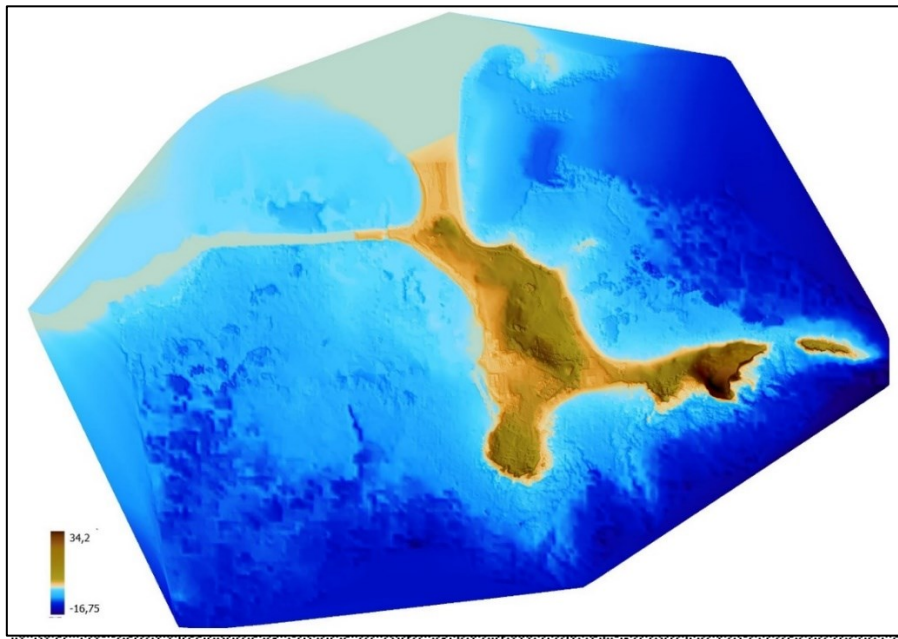


Fig. 34 - Il medesimo modello ombreggiato della Fig. - 29 stavolta con una scala di colori basata sull'elevazione del modello basata su colori che possono rendere in maniera immediata il rapporto tra terra e mare.

La seconda elaborazione grafica è stata quella di estrazione delle curve di livello dell'altimetria con un intervallo di 0,5 m, 1 m e 2 m.

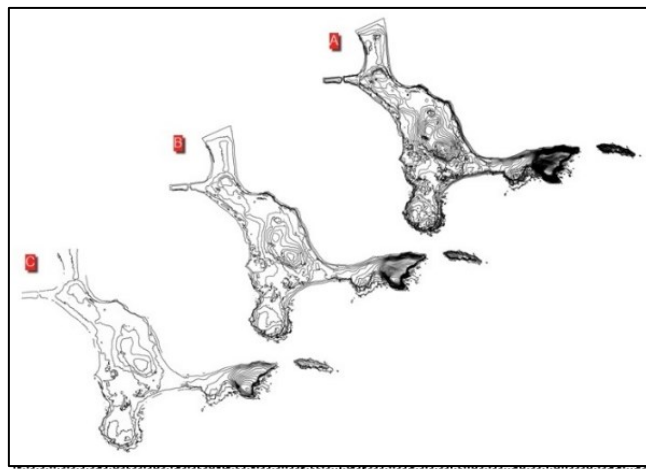


Fig. 35 - le tre elaborazioni a confronto: A con curve di livello ogni 0,5m, B con le curve di livello ogni 1m e C con curve di livello ogni 2m.

5.2 Analisi geomorfologiche del DTM

Il software QGis tra i suoi strumenti di *processing* offre anche un pacchetto di analisi geomorfologica, tra questi ve ne sono due che sono stati impiegati per l'interpretazione del DTM della penisola in chiave storico-archeologica.

Il primo *Tool* è stato quello del calcolo dell'esposizione che calcola l'orientamento della superficie rispetto ai quattro punti cardinali (indica verso che direzione è orientata la massima pendenza).

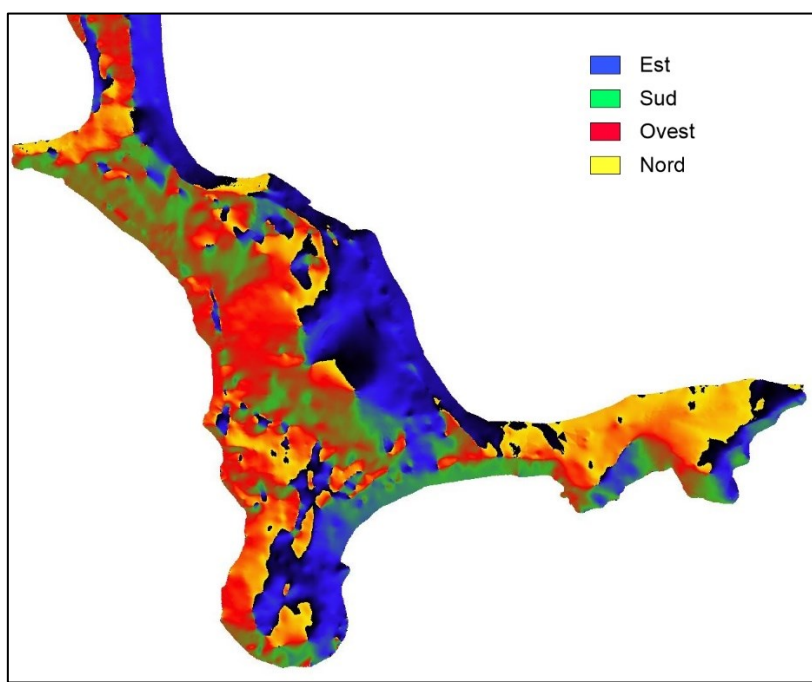


Fig. 36 - Grafico dell'esposizione dei versanti della penisola, ogni colore indica verso quale quadrante è orientato il pendio.

Questo dato non è soltanto utile a determinare le aree maggiormente esposte al sole; cioè quelle maggiormente illuminate e riscaldate dalla radiazione solare durante l'anno ma è applicabile anche ai venti che, come i raggi solari, incidono maggiormente sulle aree esposte in direzione della loro provenienza. In questo elaborato si è cercato di analizzare proprio l'azione del vento sulla penisola cercando di capire se questo abbia avuto un'influenza sulle scelte insediative.

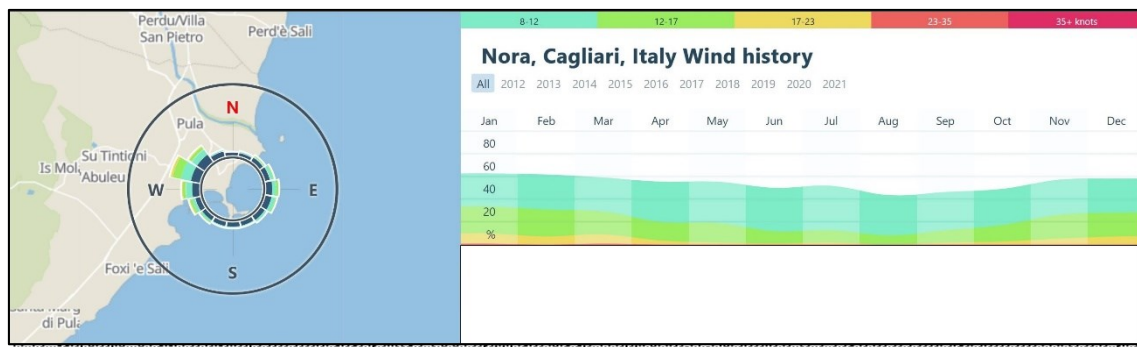


Grafico 5 - A sinistra: grafico che indica intensità e direzione del vento durante l'anno a Nora, a destra: grafico dell'intensità del vento nei vari mesi dell'anno a Nora - media delle misurazioni dal 2012 al 2021- (da windy.com).

Come si può vedere dal grafico, nei mesi invernali è possibile avere vento sostenuto per più giorni (3-5 giorni in media per Gennaio, Febbraio, Marzo e Dicembre) con un intensità tra i 17 e i 23 nodi (32-43km/h, a cavallo del 5° e del 6° grado della scala Beaufort) proveniente prevalentemente da W-NW, ciò vento di Maestrale⁴³; questo vento in antico poteva sicuramente rendere pericolosa la navigazione - e proprio Nora offre due baie protette adatte all'utilizzo come porto in un'area che presenta lunghi litorali sabbiosi esposti al vento e al moto ondoso - ; questi episodi di vento intenso non incidono però solo sulla navigazione ma hanno effetto anche sulle strutture costruite sulla penisola.

La prima fase insediativa è sicuramente quella che più deve aver risentito dell'azione eolica, questa fase è infatti costituita da un emporio fenico che, secondo le tracce archeologiche, era costituito da strutture in materiale deperibile e sorrette da pali conficcati nel terreno, quindi molto sensibili alle spinte causate dal vento.

Se si guarda dove si collocano le principali evidenze di questa fase possiamo notare che queste si concentrano alle pendici Sud-Orientali del colle di Tanit in un'area prevalentemente esposta ad Est e dunque meno soggetta ai venti più intensi che soffiano prevalentemente dal quadrante Occidentale.

Le successive fasi punica e romana portano ad un insediamento più ampio che non tiene più conto dell'azione del vento, fattore non più determinante nella statica degli

⁴³ Il maestrale è il vento che spira da nord-ovest. . Vi sono più possibili etimologie di questo nome, due di queste sono particolarmente suggestive: a seconda che consideri la prassi romana di collocare la rosa dei venti al centro del Mediterraneo, o invece quella medievale che la posiziona sull'isola di Zante, in Grecia. In entrambi i casi la direzione nord-occidentale punta alla città più importante per chi ha dato il nome al vento: nel primo caso Roma, *Magistra Mundi*, oppure Venezia, la via maestra dal porto di origine.

edifici che ora vengono messi in opera con materiale lapideo, lasciando spazio a scelte insediative basate sulle opportunità che le diverse aree della penisola potevano offrire.

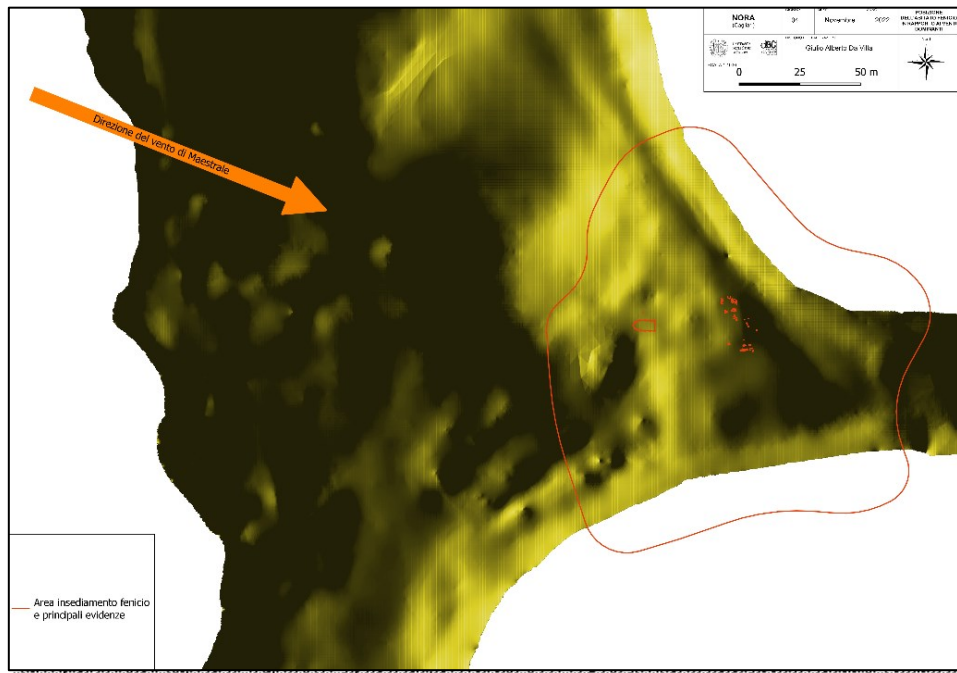


Fig. 37 - Elaborazione grafica rappresentate le aree maggiormente colpite dal vento di Maestrale (in nero) e le aree invece più protette (in giallo), come si può osservare le evidenze arcaiche si concentrano in un'area protetta dal vento intenso di maestrale.

Il secondo *Tool* impiegato è stato quello per il calcolo della pendenza della superficie.

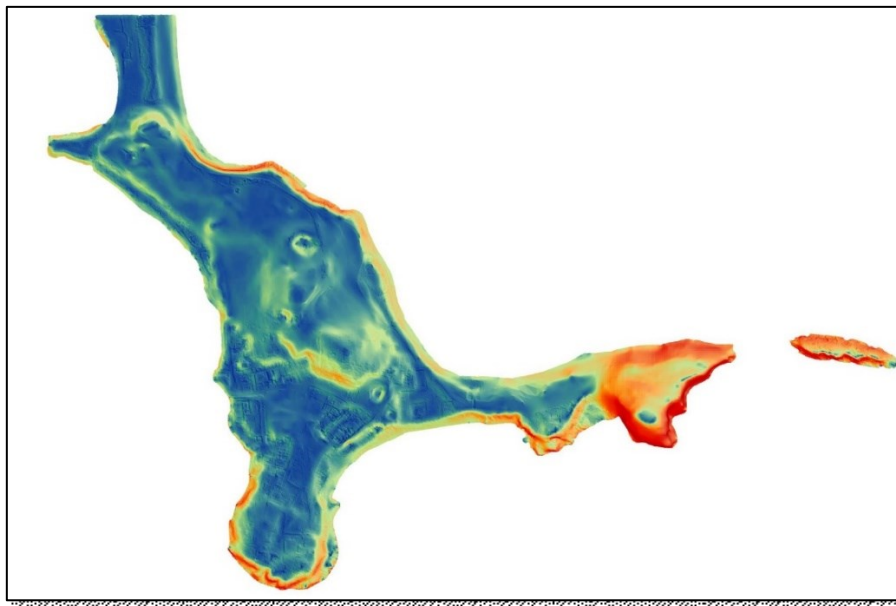


Fig. 38 - Elaborazione con scala in falso colore della pendenza della superficie della penisola.

Il risultato dell'elaborazione ci consegna una penisola che in effetti non presenta grandi pendenze, spicca il colle del Coltellazzo con a Nord un ripido pendio mentre a Sud e ad Est il rilievo presenta alte falesie verticali dove il grado di pendenza è quindi massimo; lo stesso vale per Punta e' su Coloru dove sono visibili le superfici verticali d'erosione.

Il punto più interessante è però quello alle pendici Sud-Occidentali del Colle di Tanit che presenta una morbida pendenza su tutti i suoi versanti eccezion fatta per il fronte Sud-Est. L'anomalia coincide con la c.d. "Kashbah", un complesso ad oggi non ancora del tutto compreso; all'origine del suo appellativo stanno la sua particolare conformazione e le tecniche edilizie impiegate che rimandano a forme ed usi del Nord-Africa di chiara origine punica. Questa differenza nella pendenza è infatti di natura antropica dovuto ad uno sbancamento e successivo livellamento della parte più bassa del colle portando il livello del terreno in quota con la strada che fa da limite meridionale dell'isolato, questo quartiere sorgeva quindi su due diversi livelli come ben testimonia la scala rinvenuta nell'abitazione signorile che costituisce la porzione Occidentale dell'isolato.



Fig. 39 - Cattura dalla Mesh del DSM in cui tra i resti della Kashbah è ben visibile la scala che collegava i due livelli dell'abitazione

La porzione più occidentale del taglio che incide il colle è esito dell'attività di scavo che nel punto in cui si è interrotta mostra la differenza di quota tra parti scavate e le zone in cui il deposito stratigrafico copre ancora le strutture.

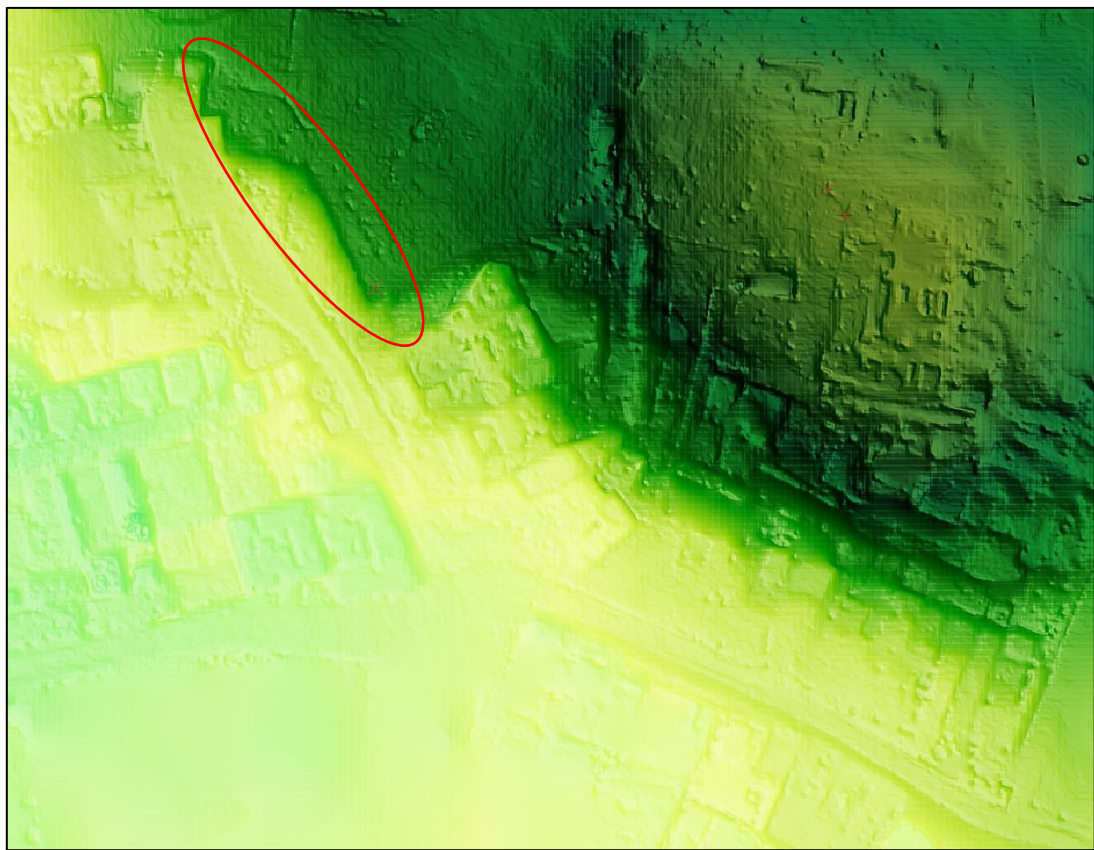


Fig. 40 - Porzione del DTM in cui è ben visibile la porzione di colle tagliata dalla Kashbah e dallo scavo (in rosso).

5.3 Nora e il mare

da risorsa ad un pericolo per la tutela della città

La storia di Nora è indissolubilmente legata al mare, proprio la sua natura di lingua di terra, protesa verso il mare e le sue rotte, ha fatto sì che qui si stabilissero i mercanti fenici che ne riconobbero la felice posizione, isolata ma in comunicazione con l'entroterra nuragico e dotata di due baie protette con un fondale che degrada lentamente e facilita l'approdo.

La penisola su cui arrivarono per la prima volta i Fenici era però piuttosto diversa da quella che oggi si può ammirare; le recenti indagini condotte a partire dal 2011 dall'Università di Padova con la collaborazione delle università di Bologna e Pisa hanno restituito un quadro dettagliato della morfologia della penisola nelle sue differenti epoche specie per quella di primo insediamento. I carotaggi e la successiva datazione dei depositi in essi contenuti hanno infatti indicato che nel periodo fenicio il livello del mare doveva essere all'incirca un metro inferiore al medio mare attuale; questo divario tende a diminuire nei secoli a causa del graduale ma costante innalzamento del livello del mare, arrivando al periodo romano imperiale ad un -0,65 m s.l.m.,

Proprio l'andamento poco digradante del fondale intorno alla penisola (eccezion fatta per il lato circostante le punte del Coltellazzo e di Esculapio) fa sì che una variazione di meno di un metro della profondità implichi un ampio allargamento della superficie emersa.

Con il modello creato per questo elaborato è quindi possibile, grazie al preciso rilievo citato nei capitoli precedenti, creare una pianta dell'estensione della penisola nelle sue varie fasi evolutive a cui si possono legare anche ai rilievi delle strutture sommerse, anch'esse importanti riferimenti per il livello del mare in antico⁴⁴.

La depressione che si nota al centro della Peschiera di Nora probabilmente non esisteva nel periodo fenicio, si ritiene infatti che si tratti di un bacino in parte artificiale di età antica che andava a creare un'area con maggiore pescaggio nell'area in cui si ritiene si trovasse il porto⁴⁵.

⁴⁴ BONETTO ET ALII, 2022

⁴⁵ BONETTO ET ALII, 2015.

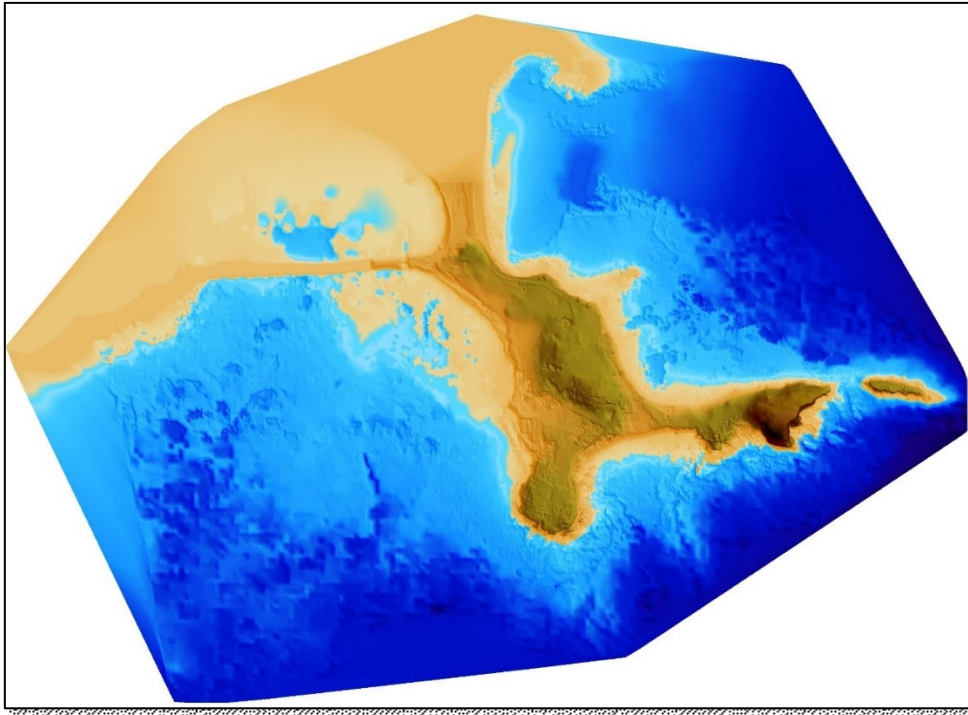


Fig. 41 - Rappresentazione di quelli che dovevano essere i limiti della penisola in età fenicia, la terra emersa inizia dalla quota -1m del DTM.

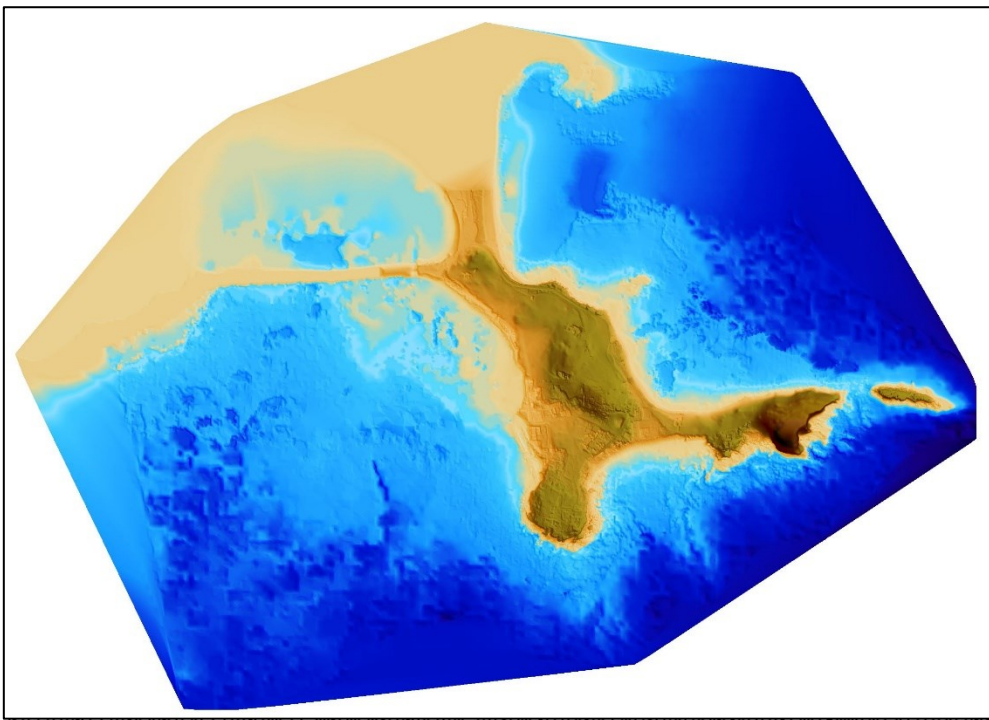


Fig. 42 - Rappresentazione di quelli che dovevano essere i limiti della penisola in età romano-imperiale, la terra emersa inizia alla quota -0,55m del DTM

L'innalzamento del livello del mare è dovuto ad un processo di ingressione, iniziato 20.000 anni fa e tuttora in corso, che, oltre a trasformare la penisola sommergendo parti della stessa, ha innescato delle intense azioni di erosione costiera che hanno distrutto importanti strutture a mare dell'abitato punico e romano - indicatori di questo fenomeno sono la parziale distruzione la Basilica Cristiana e la scomparsa della terrazza a mare del foro che ora è ridotto ad una porzione della sua ampiezza originale – che minacciano tutt'ora il sito. L'erosione agisce in modo differente sulla costa della penisola a seconda del litotipo presente: nelle zone dei due promontori, composti da rocce vulcaniche compatte, l'azione erosiva ha intagliato delle falesie con ai loro piedi terrazzi d'abrasione, mentre dove il substrato è composto da arenarie, con una quota di poco al di sopra del livello del mare, l'azione erosiva determina un arretramento della costa percepibile nell'arco di una generazione e dunque ricostruibile tramite il confronto con le fotografie aeree e la cartografia storica. I profili di erosione scavati nell'andesite sono ben evidenziati dall'algoritmo di analisi della pendenza, avendo questi un'inclinazione vicina ai 90°.

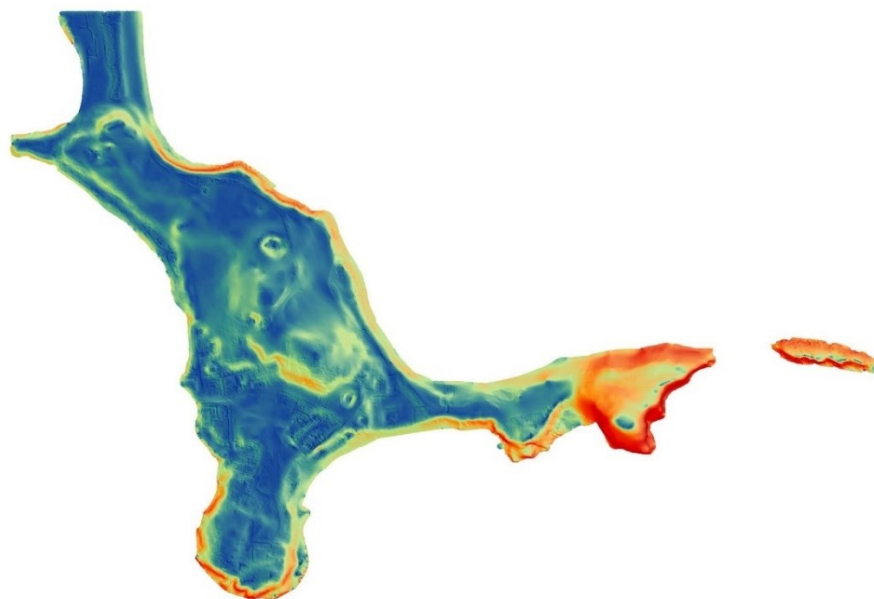


Fig. 43 - Il modello della pendenza ben evidenzia i tre punti dove l'erosione costiera si manifesta sottoforma di ripe e falesie: a Nord nell'area della necropoli Occidentale, a Sud nell'area del Santuario di Esculapio e a Oriente sulla costa meridionale ad Est del Foro.

Il problema di arretramento della costa è un fenomeno che interessava la penisola già in età romana, principalmente la bassa costa rivolta a Ovest, soggetta in maniera diretta all'azione dell'intenso vento di Maestrale e delle mareggiate da questo generate; per questo fu eretto un muro poderoso (oggi conosciuto come “Molo Sxhmiedt”) in opera

quadrata con la funzione di frangiflutti che richiese un grande intervento di ingegneria marittima. La traccia di questo muro dalla fotografia aerea – fu individuato per la prima volta proprio tramite foto aeree da G. Schmiedt, da cui prende il nome, nel 1965 - sottoforma di un allineamento di blocchi arenitici a circa 100m dalla costa attuale ad una profondità di -1 m s.l.m.⁴⁶.

In anni recenti, a due millenni da quell'intervento, è stata messa in opera una struttura analoga, composta da cinque soffolte⁴⁷ poste in prossimità della riva moderna con la medesima funzione di frangiflutti per attenuare la forza erosiva del mare in una zona già molto compromessa come quella delle Terme a Mare.

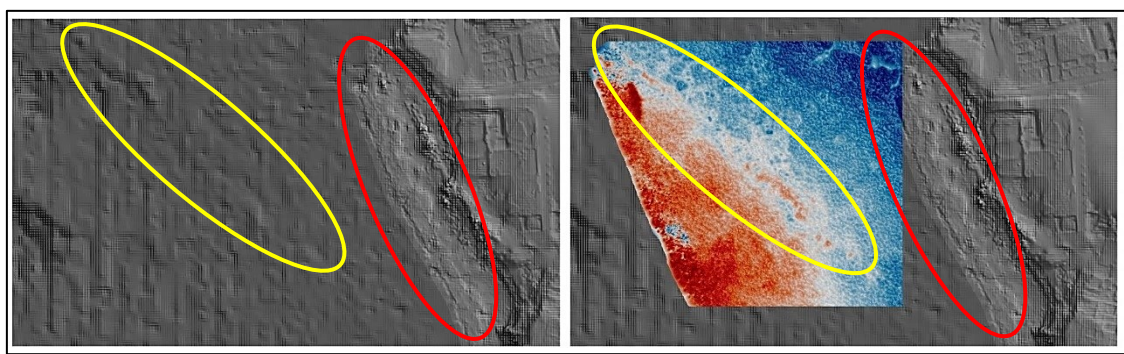


Fig. 44 - A sinistra il rilievo della batimetria mediante ecoscandaglio, a destra, in falso colore, una porzione di DSM che evidenzia il muro frangiflutti antico, evidenziato in giallo, e l'intervento moderno evidenziato in rosso.

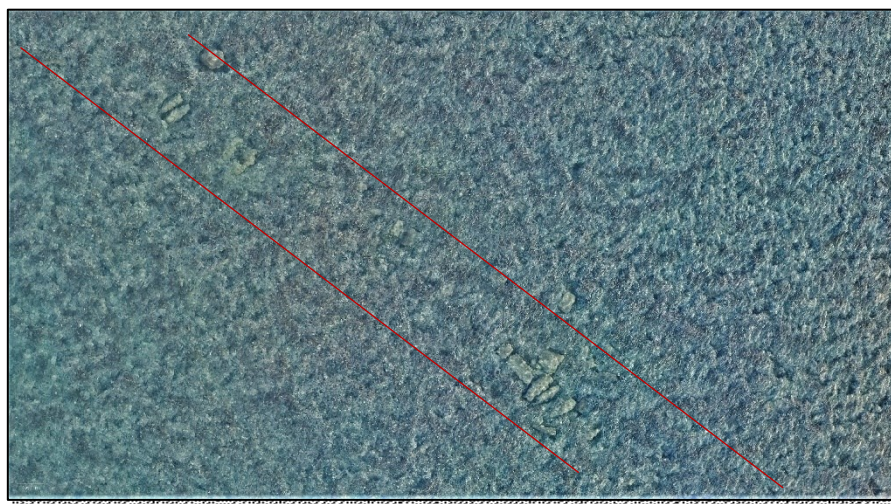


Fig. 45 - Allineamento di blocchi arenitici facenti parte del "Molo Schmiedt", circondati da banchi di poseidonia, visibili nell'ortofoto generata dal rilievo fotogrammetrico.

⁴⁶ CARRARO F., METELLI M. C., 2018, P. 257

⁴⁷ Strutture modulari, posate sul fondale marino, lungo una linea parallela al litorale, allo scopo di dissipare l'energia del moto ondoso, favorire lo scorrimento della sabbia verso la riva e contrastarne il ritorno, in modo da limitare l'erosione delle coste.

6 Conclusioni

L'elaborato ha centrato gli obiettivi preposti dimostrando la validità del metodo aerofotogrammetrico nel generare un rilievo preciso e ad alta risoluzione di un'ampia area archeologica, si è riusciti infatti a superare ampiamente la risoluzione di un metro del DTM della Regione Sardegna - utilizzato in precedenza – con una precisione calcolata pari a 6cm/pixel.

L'elaborato può fungere da metro di giudizio per chi debba decidere con che metodo rilevare un area simile a quella di Nora avendo dimostrato i numerosi vantaggi che questa tecnica offre.

Il primo vantaggio è la velocità nell'acquisire i dati sul campo, il drone in un paio d'ore ha infatti coperto un area di più di venti ettari acquisendo 1200 immagini che hanno permesso di generare una prima nuvola di punti composta da più di 1.300.000 punti, una quantità di punti impossibile da acquisire manualmente a causa del tempo che una simile operazione richiederebbe.

Il secondo fattore è la risoluzione, soprattutto se il confronto è fatto su grandi superfici, se pensiamo che il software fotogrammetrico è riuscito a generare in media 7,5 punti/m² nella nuvola sparsa per arrivare ad una media di 460 punti/m² per la nuvola densa, una quantità di punti che non sarebbe possibile acquisire manualmente.

Infine, bisogna considerare il fatto che l'utilizzo di un aeromobile a pilotaggio remoto rende possibile il rilievo di aree altrimenti irraggiungibili come le falesie del promontorio del Coltellazzo e i terrazzi di abrasione sottostanti ma anche, nel caso del DSM, dei tetti degli edifici antichi e moderni.

Il *remote sensing* non è però privo di debolezze, la principale per questo lavoro, com'è stato più volte ripetuto, è stata l'impossibilità di acquisire dati nelle aree coperte da vegetazione. In questo caso la soluzione più economica ed efficiente è il metodo del rilievo diretto mediante stazione totale o GPS specialmente per il tratto di strada E-G coperto dagli alberi dove il rilievo di una fitta maglia di punti, ma poco estesa, non dovrebbe presentare grandi difficoltà. Nell'area della Marina Militare il DTM potrebbe essere migliorato in due modi: il primo, più costoso, richiederebbe un intervento di sfalcio dell'intera area e un secondo volo sull'area per generare un nuovo modello; il secondo, come nel caso della strada E-G sarebbe quello di eseguire una battuta manuale di punti su tutta l'area, richiederebbe sicuramente più tempo essendo un area di c.a. tre ettari, ma

non richiederebbe lo sfalcio sistematico di tutta l'area. Rimane invece da chiarire se sia possibile acquisire i punti del terreno occupato dai lentischi essendo questi una pianta dalla chioma tanto fitta da rendere difficoltoso il posizionamento dello strumento.

Nonostante questi limiti il modello generato si è dimostrato non solo una base cartografica integrabile con i numerosi rilievi e ricostruzioni elaborati dall'Università di Padova, ma è anch'esso uno strumento per indagare i rapporti tra uomo e ambiente in una situazione geografica alquanto particolare come quella della penisola norense.

Il modello è stato elaborato per essere valido per l'intera penisola e il suo fondale non è quindi adatto ad uno studio della micromorfologia del terreno per via delle elaborazioni effettuate che hanno sicuramente alterato le micro-differenze di quota con l'intento di evitare la visualizzazione di false evidenze dovute alla vegetazione.



Bibliografia e Sitografia

BONETTO J., 2002

BONETTO J. 2002, *Nora municipio romano*, in *L'Africa romana. Lo spazio marittimo del Mediterraneo occidentale. Geografia storica ed economia*, Atti del 14. Convegno di studio, Sassari, 7-10 dicembre 2000, a cura di Mustapha Khanoussi, Paola Ruggeri, Cinzia Vismara, Roma, pp. 1199-1217

BONETTO J., FALEZZA G., GHIOTTO A. R., NOVELLO M. 2009

BONETTO J., FALEZZA G., GHIOTTO A. R., NOVELLO M. 2009 (a cura di), *Nora. Il foro romano. Storia di un'area urbana dall'età fenicia alla tarda Antichità. Scavi 1997-2006. I. Lo scavo; II,1 I materiali di età preromana; II,2 I materiali di età romana e altri studi; III Le unità stratigrafiche e i loro reperti; IV I diagrammi stratigrafici e la pianta generale*, Scavi di Nora I, Padova.

BONETTO J., GHIOTTO A. R., NOVELLO M., 2009

BONETTO J., GHIOTTO A.R., NOVELLO M., *Nora. Il Foro Romano, Storia di un'area urbana dall'età fenicia alla tarda antichità*, «Scavi di Nora» vol. 1 *Lo scavo*, Padova 2009, p. 354;

BONETTO J., GHIOTTO A. R., 2013

BONETTO J., GHIOTTO A. R. 2013, *Nora nei secoli dell'Altomedioevo*, in *Settecento-Millecento. Storia, Archeologia e Arte nei "secoli bui" del Mediterraneo. Dalle fonti scritte, archeologiche ed artistiche alla ricostruzione della vicenda storica. La Sardegna laboratorio di esperienze culturali*, Atti del Convegno (Cagliari, 17-19 ottobre 2012), Atti I., a cura di R. Martorelli, Cagliari, pp. 271-290

BONETTO J., BERTELLI A., CARRARO F., GALLUCCIC G.,

METELLI M.C., MINELLA I., 2015

BONETTO J., BERTELLI A., CARRARO F., GALLUCCIC G., METELLI M.C., MINELLA I., 2015 *“Nora e il mare”: ricerche e tutela attorno agli spazi costieri della città antica*, Atti del x Convegno Internazionale di studi Alghero (Porto Conte Ricerche, 26-29 settembre 2013), a cura di RUGGERI P., Roma, pp. 1841-1858

BONETTO J., 2016

BONETTO J. 2016, *Nora da colonia punica a municipio romano*, in *Il processo di romanizzazione della provincia Sardinia et Corsica*, Atti del Convegno internazionale di Studi (Cagliari 2015), a cura di DE VINCENZO S. e BLASETTI FANTAUZZI C. , Roma, pp. 165-190.

BONETTO J., MAZZARIOL A. 2017

BONETTO J., MAZZARIOL A. 2017, *Nuovi dati d'archivio e nuove evidenze archeologiche sulla necropoli punica orientale di Nora (Cagliari)*, in *Fold&R*, 2017-390, pp. 1-16

BONETTO J., BEJOR G., BONDÌ S. F., GIANNATASIO B. M.,

GIUMAN M., TRONCHETTI C. 2018

J. BONETTO, G. BEJOR, S.F. BONDÌ, B.M. GIANNATASIO, M. GIUMAN, C. TRONCHETTI, *Sardegna archeologica, guide e itinerari: Nora, Pula*, Carlo Delfino editore, Sassari, 2018, pp. 5-7, 11, 12-13, 93.

BONETTO J., FALEZZA G., 2020

BONETTO J., FALEZZA G. 2020, *All'alba della città romana: il deposito votivo del Tempio romano di Nora*, in *Nora Antiqua II. Nora dalla costituzione della provincia all'età augustea*, Atti del Convegno (Pula, 5-6 ottobre 2018), a cura di J. Bonetto, R. Carboni, M. Giuman, A. Zara, Scavi di Nora VIII, pp. 19-36

BONETTO J., FURLAN G., MARINELLO A. 2020

BONETTO J., FURLAN G., MARINELLO A. 2020, *Il saggio PU: campagna di scavo 2019*, in «Quaderni Norensi» 8, pp. 121-130.

BONETTO J., 2021

BONETTO J. 2021, *Nora nel V secolo: dall'emporio fenicio alla colonia cartaginese*, in A. Roppa, M. Botto, P. van Dommelen (eds.), *Il Mediterraneo occidentale dalla fase fenicia all'egemonia cartaginese. Dinamiche insediative, forme rituali e cultura materiale nel V secolo a.C.*, Atti del Convegno internazionale *La Sardegna nel V secolo*, Roma, pp. 91-106

BONETTO J., MARINELLO A., ZARA A., 2021

BONETTO J., MARINELLO A., ZARA A., 2021, *L'evoluzione del santuario di Esculapio e le più antiche presenze fenicie a Nora. Nuovi dati di scavo e vecchi documenti d'archivio*, in *Traces of Complexity. Studi in onore di Armando De Guio*, Padova 2021, pp. 193-222

BONETTO J., MAZZARIOL A., ZARA A. 2021

BONETTO J., MAZZARIOL A., ZARA A. 2021, *Gennaro Pesce e Nora. La riscoperta e la valorizzazione della città antica*, in *Gennaro Pesce in Sardegna: vent'anni di ricerche e scavi archeologici fra Nuragici, Punici e Romani*, Atti del Convegno (Ravenna, 10-11 dicembre 2019), a cura di A. C. Fariselli, C. Del Vais, Byrsa, pp. 125-146

**BONETTO J., BALCON S., BERTO S., BRIDI E., CARRARO F.,
DILARIA S., MAZZARIOL A., RUBERTI N. 2022**

BONETTO J., BALCON S., BERTO S., BRIDI E., CARRARO F., DILARIA S., MAZZARIOL A., RUBERTI N. 2022, *La necropoli fenicia e punica di Nora: Saggi 1 e 4*, in *Quaderni Norensi* 9, pp. 241-271

**BONETTO J., CARRARO F., METELLI M. C., VACCHI M.,
VENTUROLI A., ROSSI V. 2022**

BONETTO J., CARRARO F., METELLI M. C., VACCHI M., VENTUROLI A., ROSSI V. 2022, *Le variazioni del livello del mare e l'articolazione dell'abitato di Nora (Sardegna, Italy) tra età nuragica e tarda età romana*, in *Archeologia Marittima Mediterranea*, 19, pp. 27-62

CARRARO F., METELLI M. C. 2018

CARRARO F., METELLI M. C., 2018, *Il progetto Nora e il Mare: scenari ricostruttivi e previsionali dello spazio costiero*, in *Il patrimonio culturale sommerso, ricerche e proposte per il futuro dell'archeologia subacquea in Italia*, a cura di Massimo Capulli, pp.253-258

CESPA S. 2018

CESPA S., *Nora. I sistemi di approvvigionamento idrico*, "Scavi di Nora", VII, Roma

DEMERS 1997

DEMERS M. N. *Fundamentals of Geographic Information Systems*, Wiley editore, 1997.

DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P. 2000

DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P. 2000, *Lineamenti geologici e geomorfologici della penisola di Nora*, in *Ricerche su Nora – I (anni 1990 – 1998)*, a cura di C. Tronchetti, Cagliari, pp 9-18.

DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P., ROPPA A., 2009

DI GREGORIO F., FLORIS C., MATTA P., ROPPA A., 2000, Il quadro ambientale, in *Nora. Il Foro Romano (storia di un'area urbana dall'età fenicia alla tarda antichità 1997-2006)* a cura di J. Bonetto, Noventa Padovana, pp 9-18.

PREVIATO 2016

PREVIATO C., *Nora. Le cave di pietra della città antica, "Scavi di Nora"*, VI, Roma, pp. 13-17

Sitografia

<https://nora.beniculturali.unipd.it/>

consultato in data 05/10/2022

<https://www.dji.com/it/matrice-300/specs>

consultato in data 05/10/2022

<https://www.dji.com/it/zenmuse-p1/specs>

consultato in data 05/10/2022

<https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>

consultato in data 05/10/2022

TAVOLE

NORA
(Cagliari)

GIORNO

04

MESE

Novembre

ANNO

2022

DTM DELLA PENISOLA
E DEL FONDALE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DISEGNO ED ELABORAZIONE

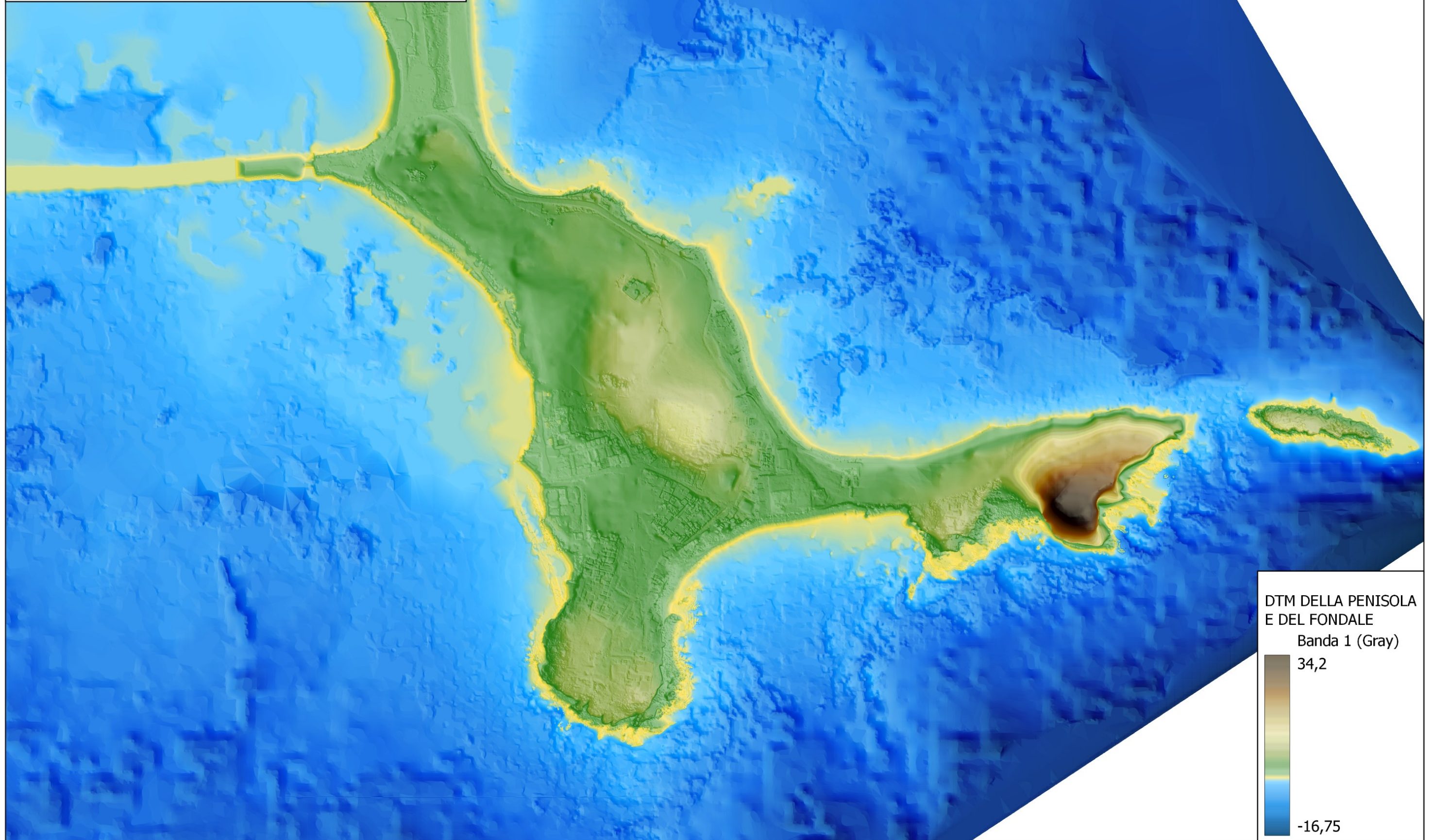
Giulio Alberto Da Villa

Nord



SCALA 1:3500

0 100 200 m



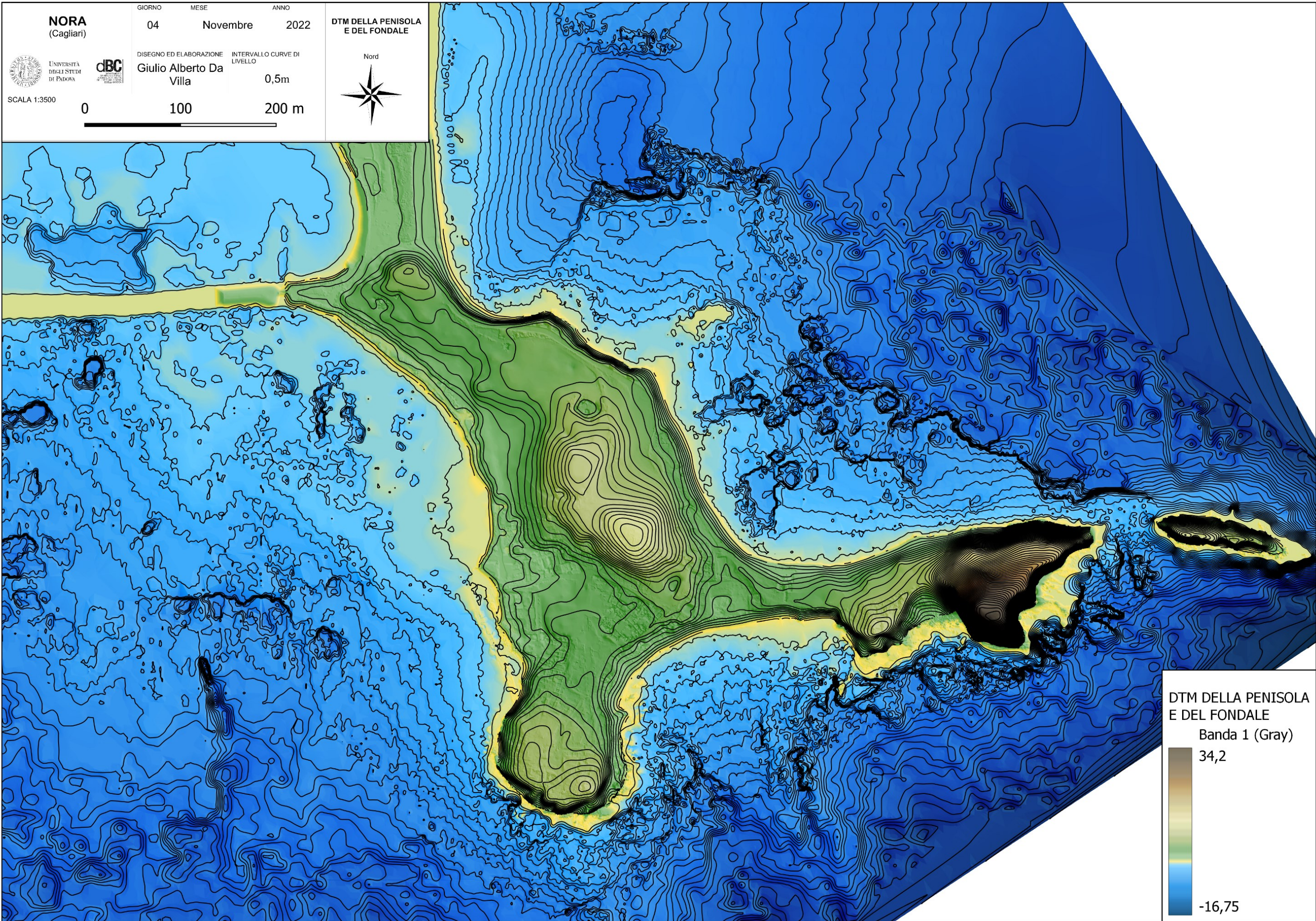
DTM DELLA PENISOLA
E DEL FONDALE

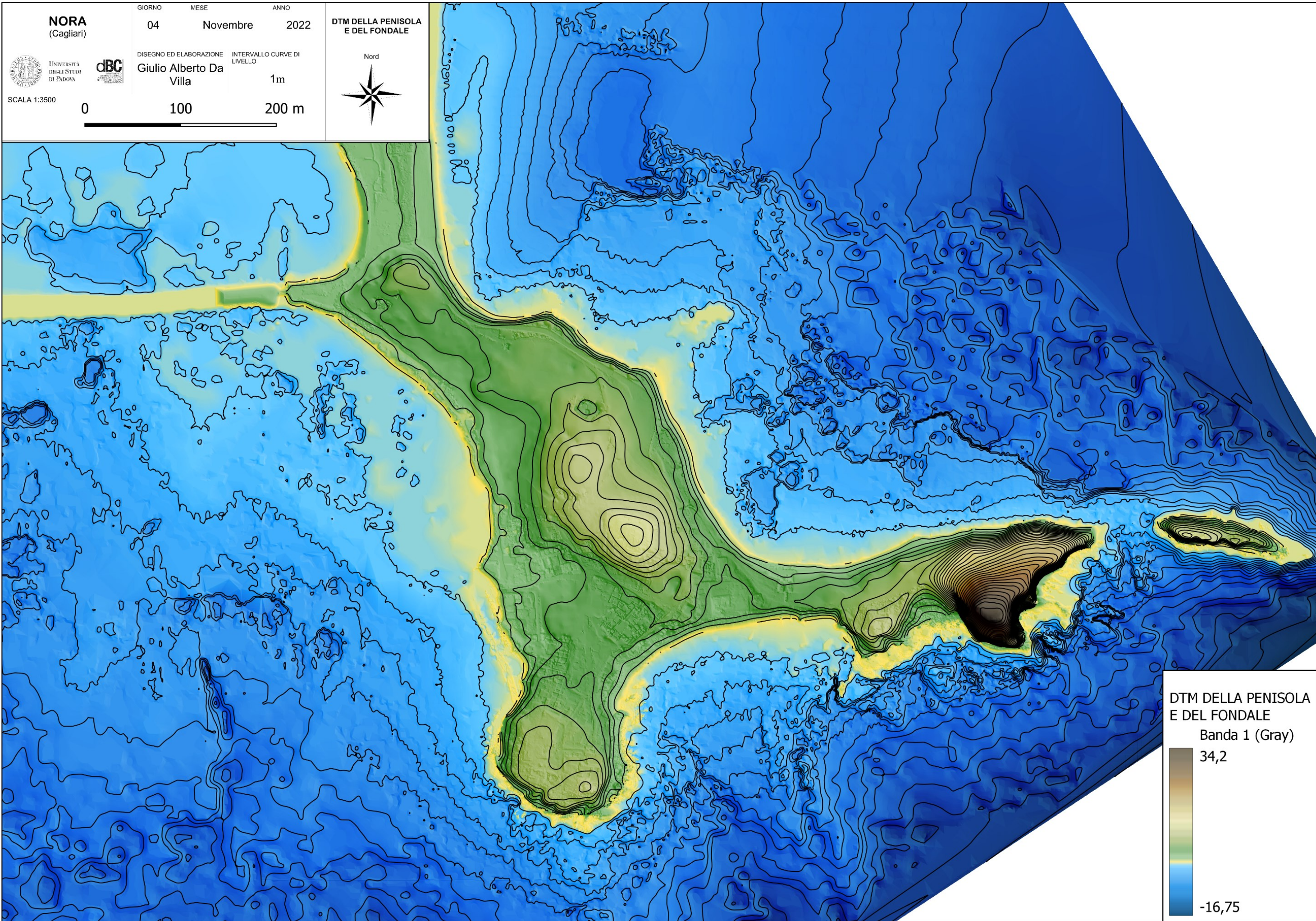
Banda 1 (Gray)

34,2



-16,75





NORA
(Cagliari)

GIORNO MESE ANNO
04 Novembre 2022

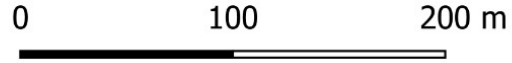
**DTM DELLA PENISOLA
E DEL FONDALE**



DISEGNO ED ELABORAZIONE INTERVALLO CURVE DI LIVELLO
Giulio Alberto Da Villa 1m

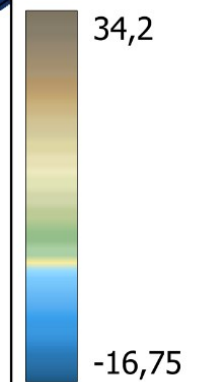


SCALA 1:3500



**DTM DELLA PENISOLA
E DEL FONDALE**

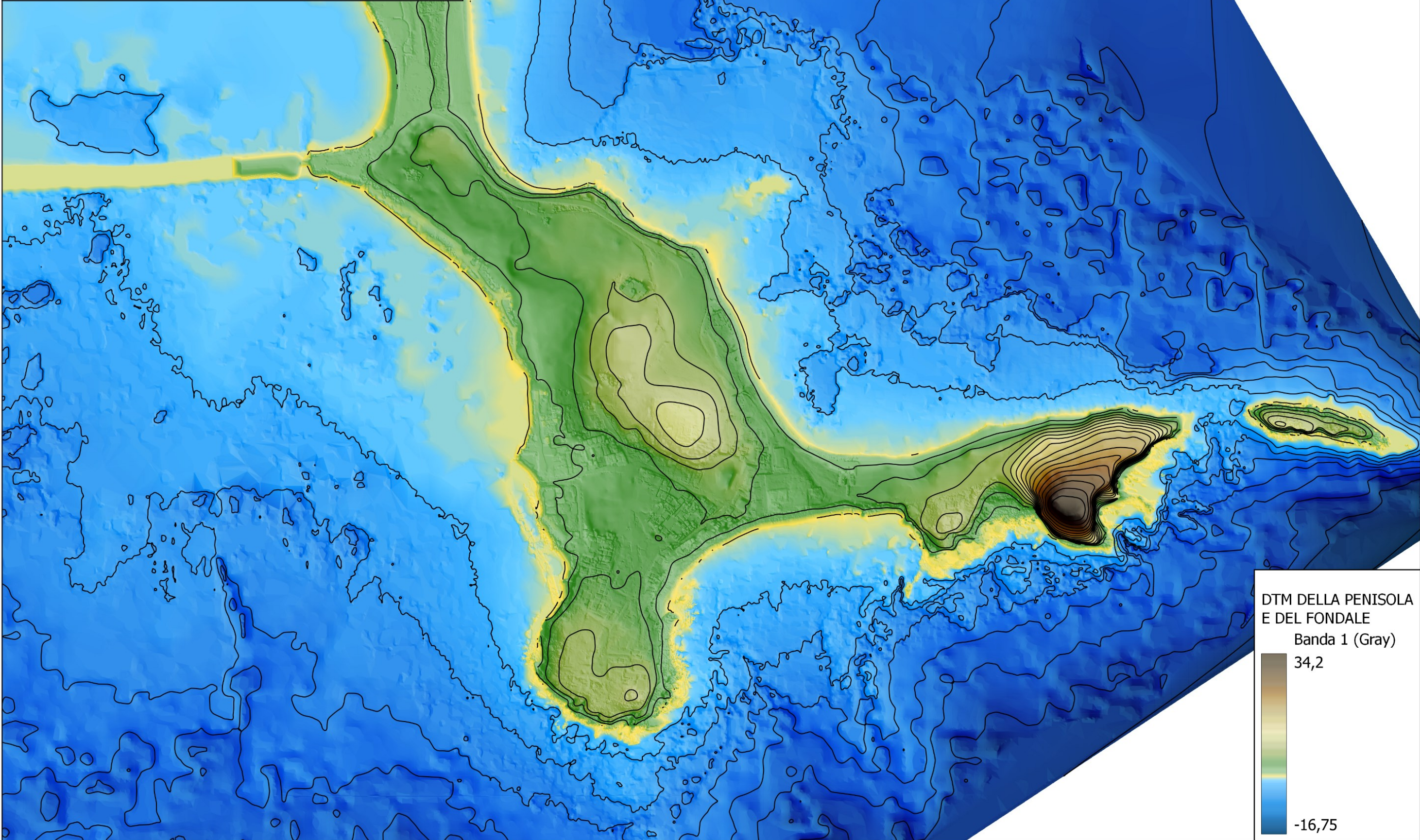
Banda 1 (Gray)




34,2

-16,75



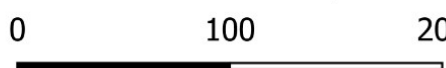

NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO
	04	Novembre	2022
	DISEGNO ED ELABORAZIONE	INTERVALLO CURVE DI LIVELLO	
	Giulio Alberto Da Villa	2m	
SCALA 1:3500			
			DTM DELLA PENISOLA E DEL FONDALE
			Nord 

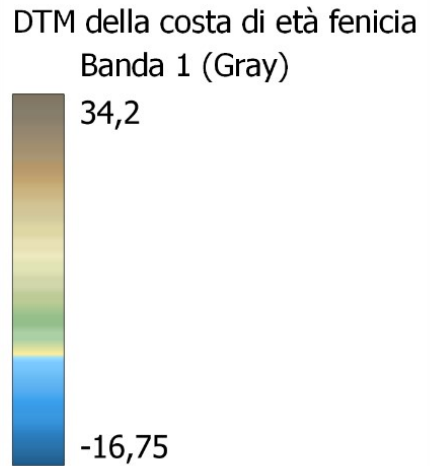
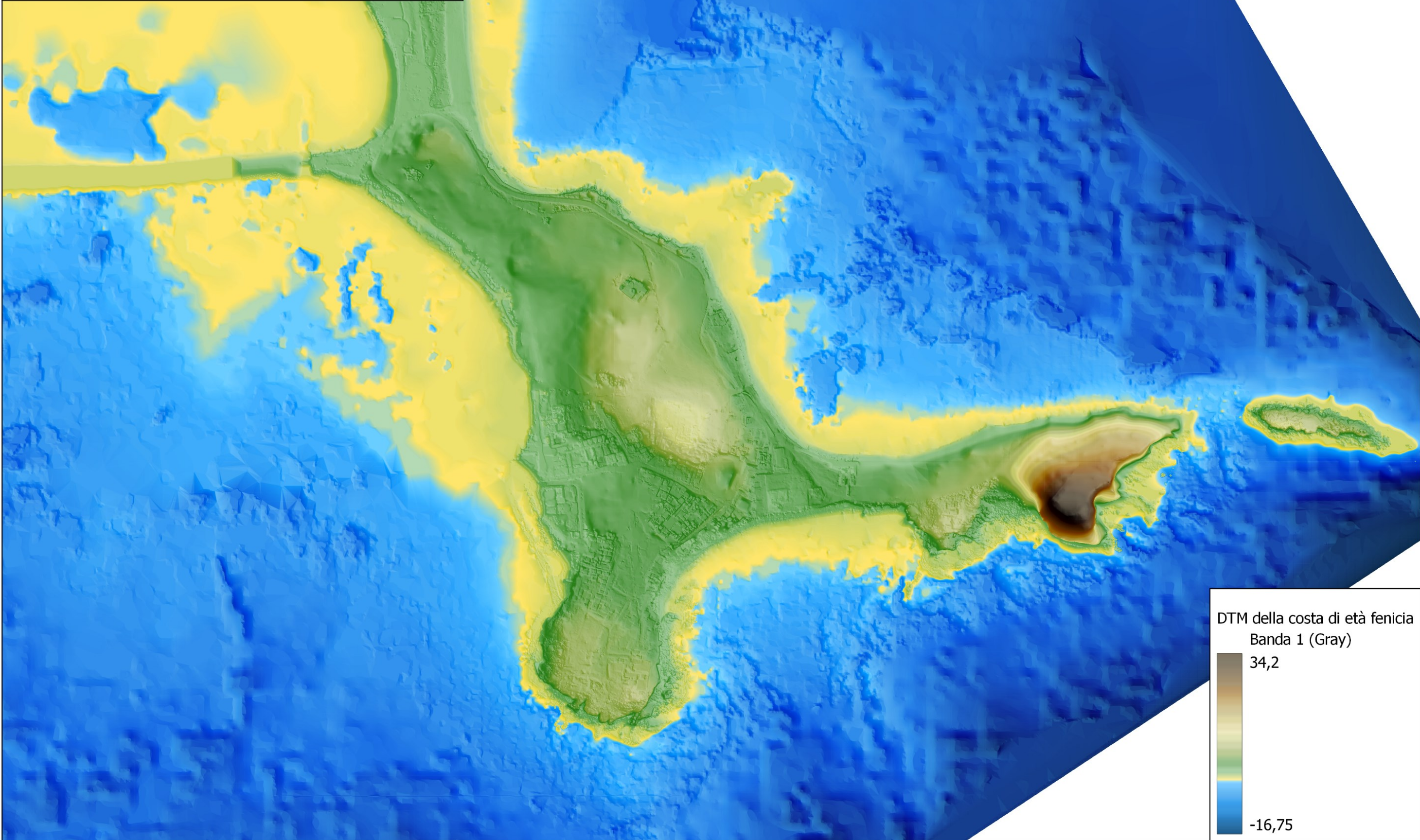




DTM DELLA PENISOLA E DEL FONDALE
Banda 1 (Gray)

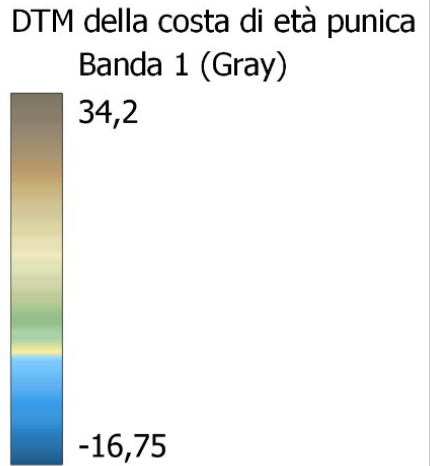
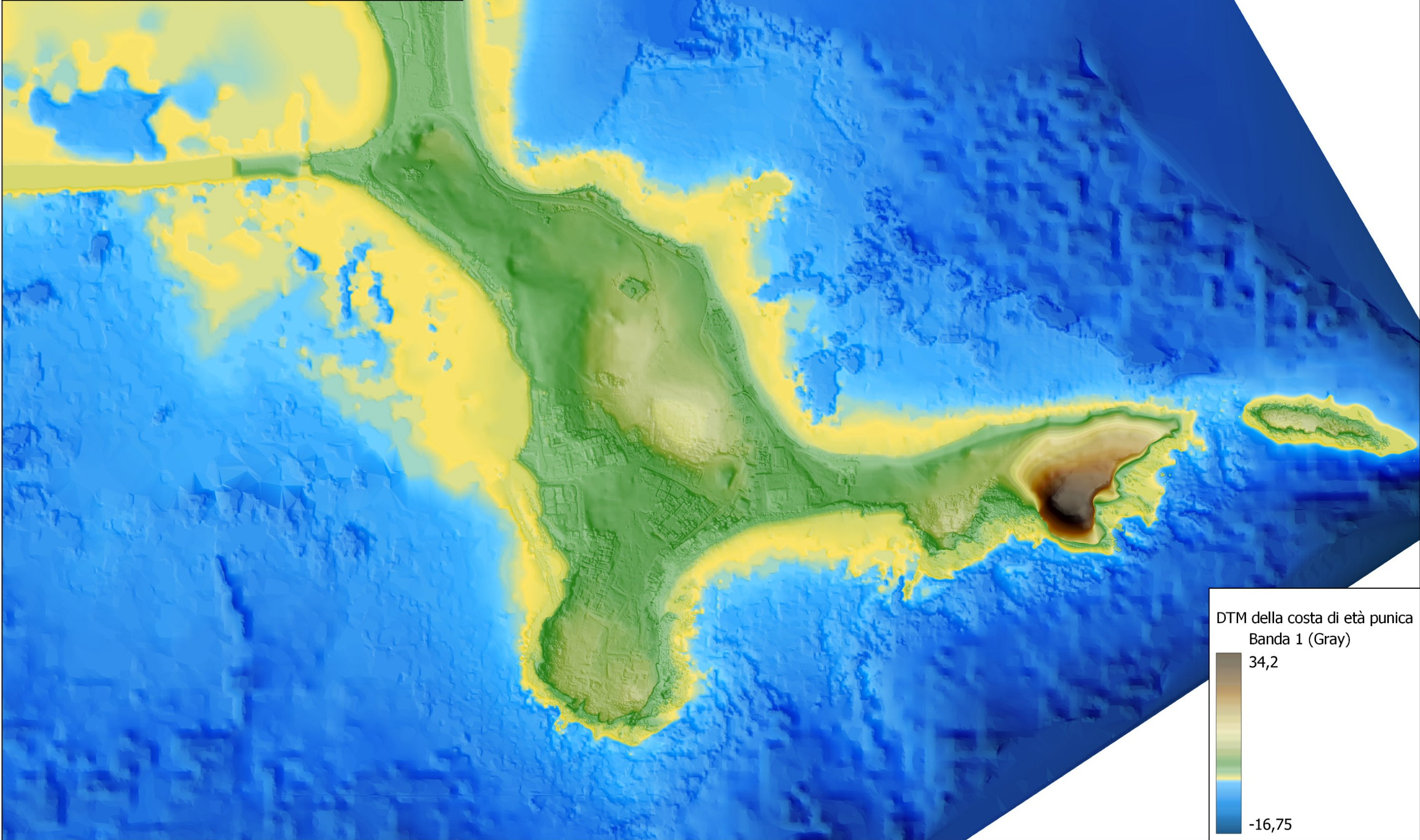


34,2
-16,75

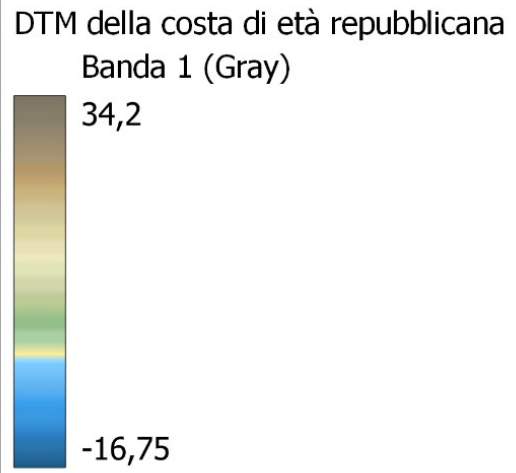
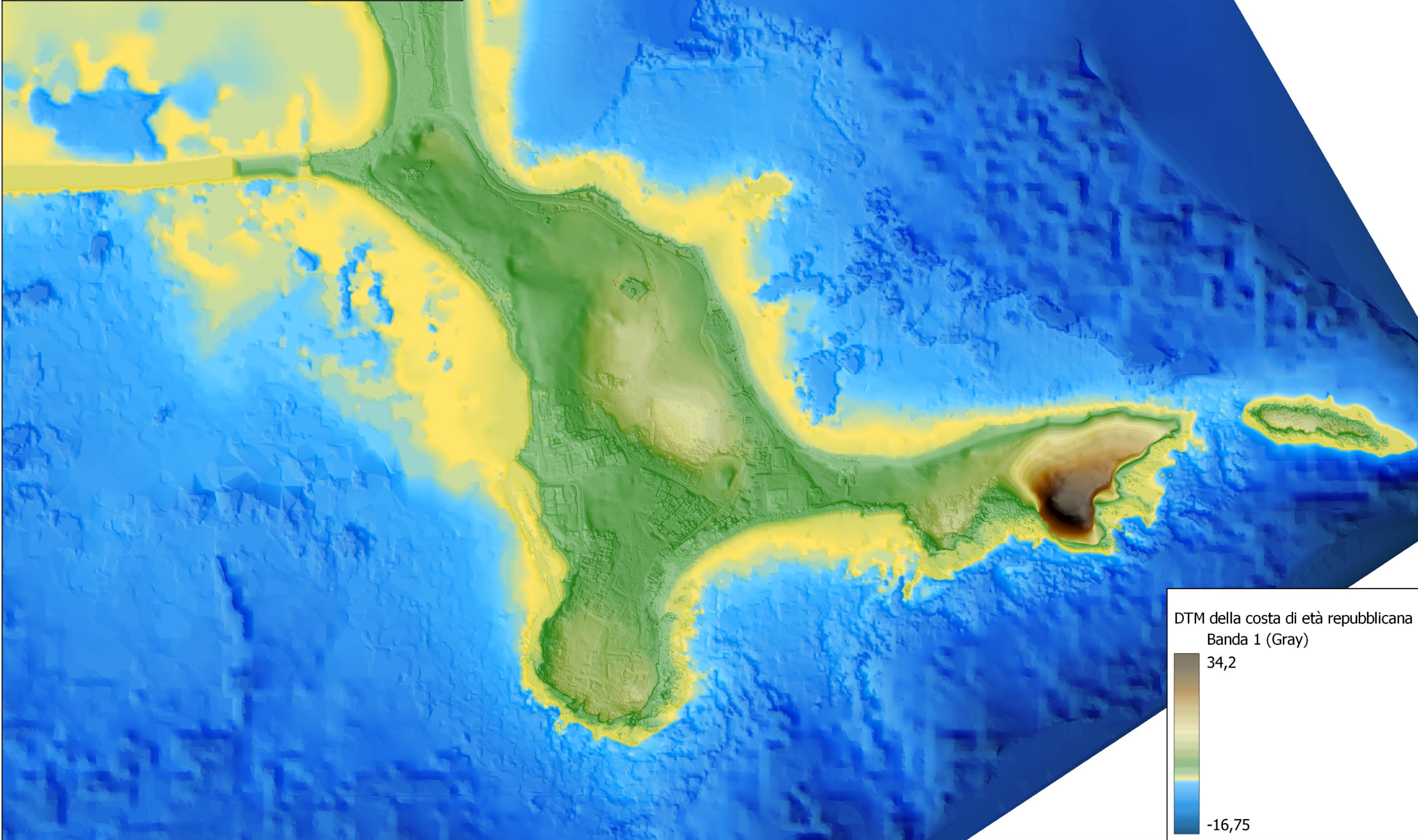
NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO	DTM RICOSTRUTTIVO DELLA COSTA DI ETÀ FENICIA
	04	Novembre	2022	
 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA	 DISEGNO ED ELABORAZIONE	DIFFERENZA MEDIO MARE TRA ETÀ MODERNA ED ANTICA:		Nord
		Giulio Alberto Da Villa	-1,00 ± 0,1 m	
SCALA 1:3500				


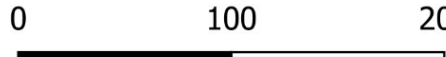



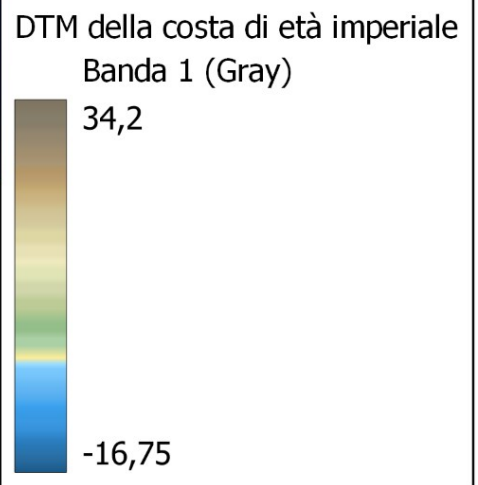
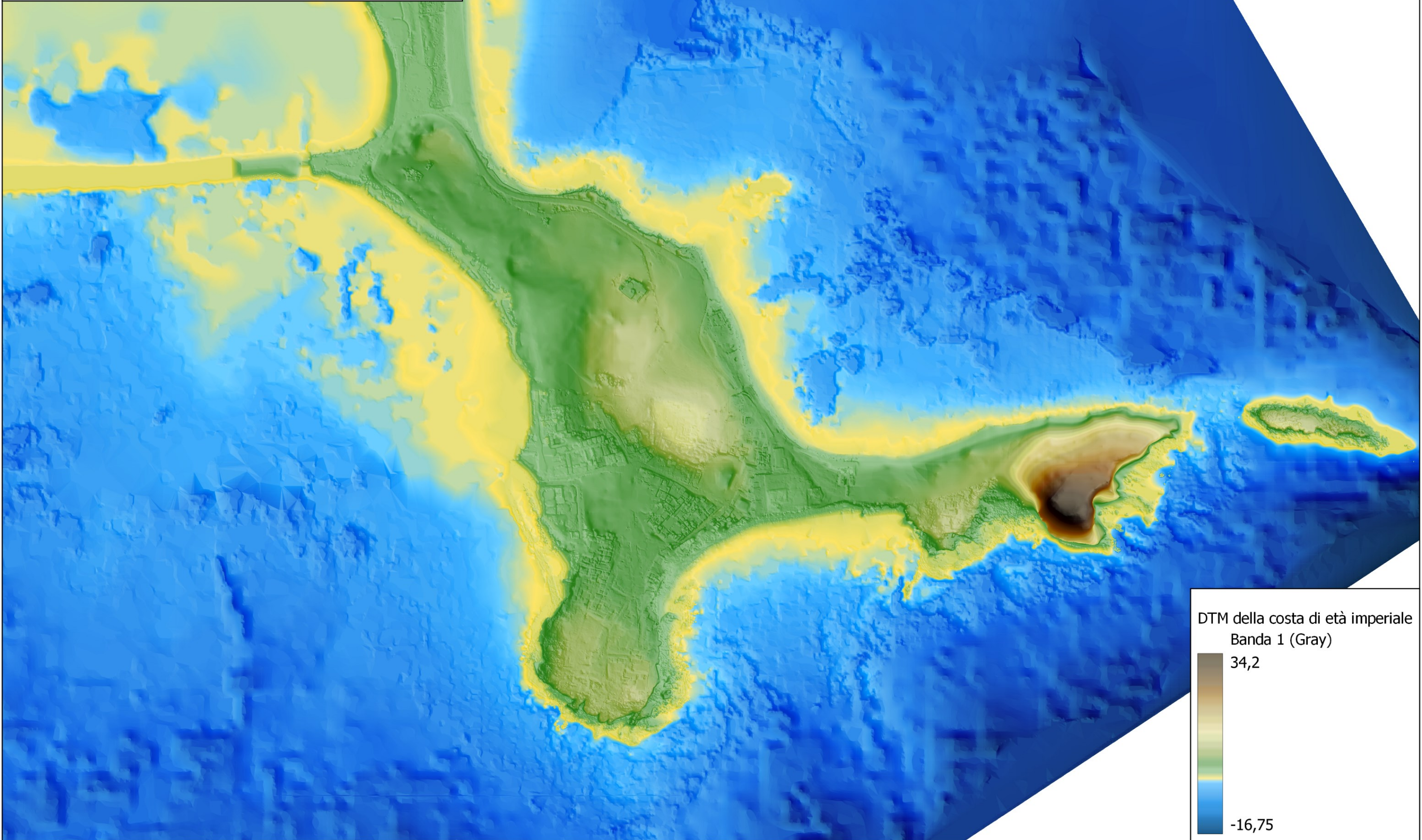
NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO
	04	Novembre	2022
	DISEGNO ED ELABORAZIONE	DIFFERENZA MEDIO MARE TRA ETÀ MODERNA ED ANTICA:	
	Giulio Alberto Da Villa	-0,85 ± 0,1 m	
SCALA 1:3500	0 100 200 m		
			DTM RICOSTRUTTIVO DELLA COSTA DI ETÀ PUNICA
			Nord 


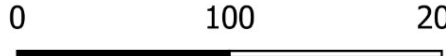



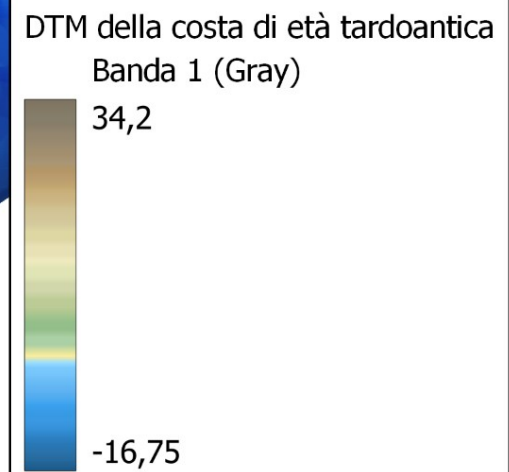
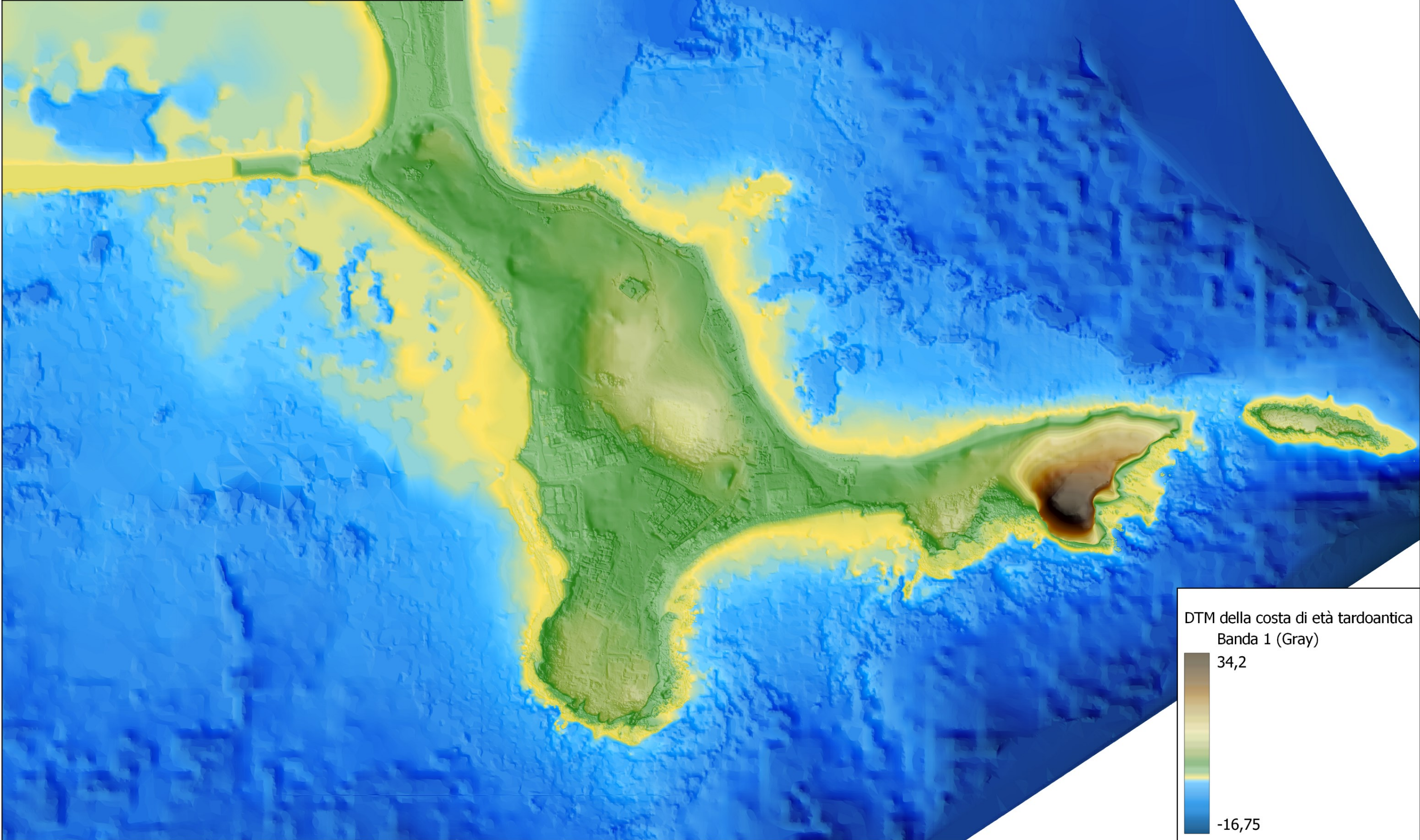
NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO
	04	Novembre	2022
	DISEGNO ED ELABORAZIONE	DIFFERENZA MEDIO MARE TRA ETÀ MODERNA ED ANTICA:	
	Giulio Alberto Da Villa	-0,75 ± 0,1 m	
SCALA 1:3500	0 100 200 m		
			DTM RICOSTRUTTIVO DELLA COSTA DI ETÀ REPUBBLICANA
			Nord


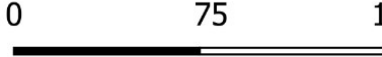


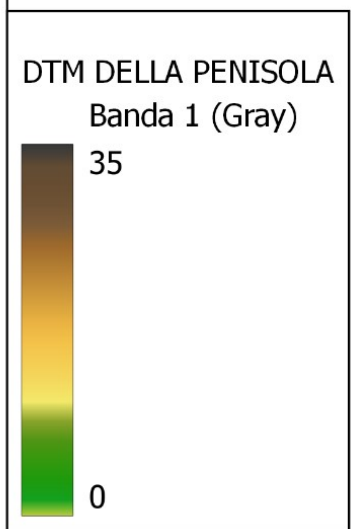
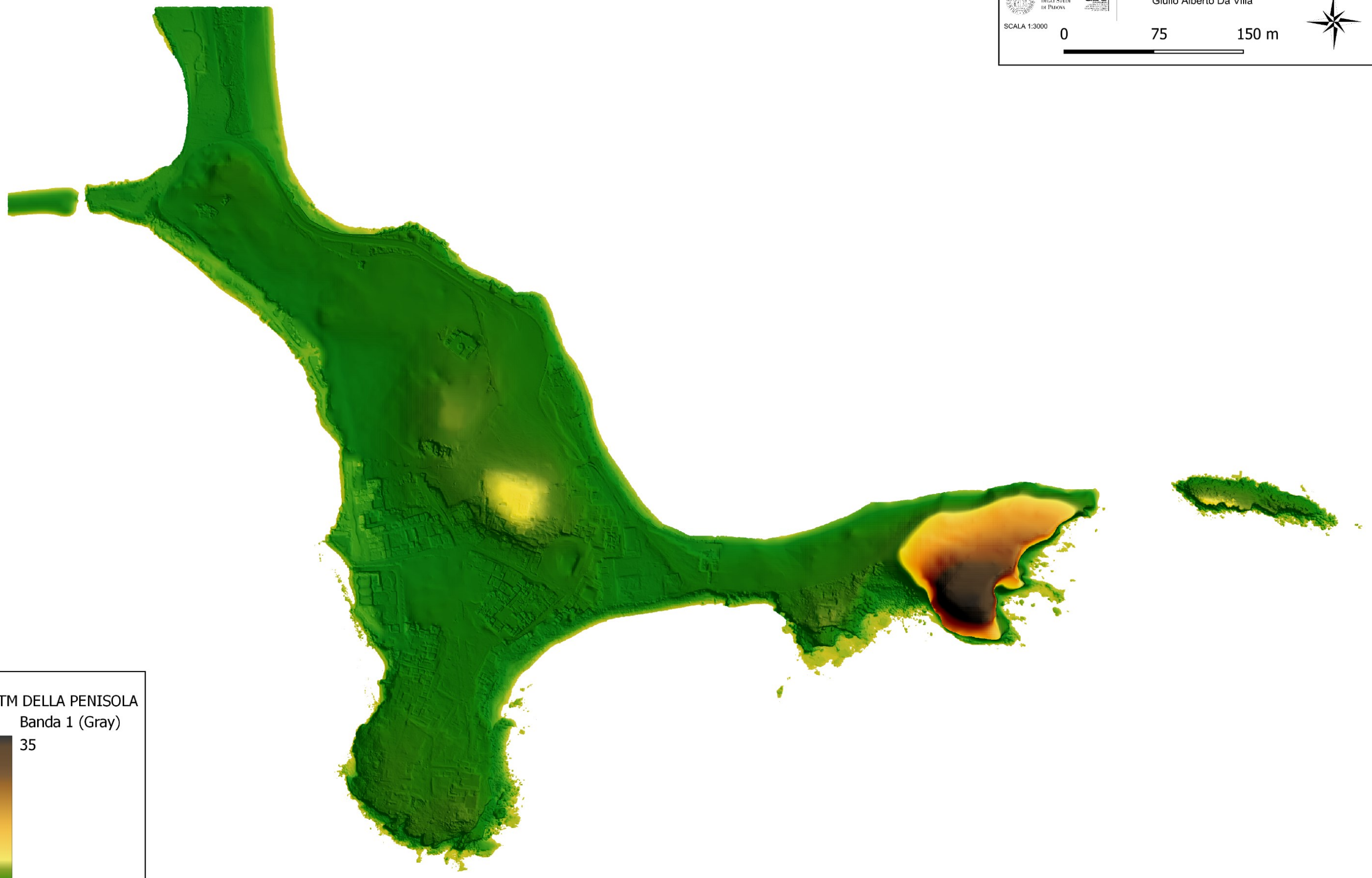
NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO
	04	Novembre	2022
	DISEGNO ED ELABORAZIONE	DIFFERENZA MEDIO MARE TRA ETÀ MODERNA ED ANTICA:	
	Giulio Alberto Da Villa	-0,65 ± 0,1m	
SCALA 1:3500			
DTM RICOSTRUTTIVO DELLA COSTA DI ETÀ IMPERIALE			Nord 





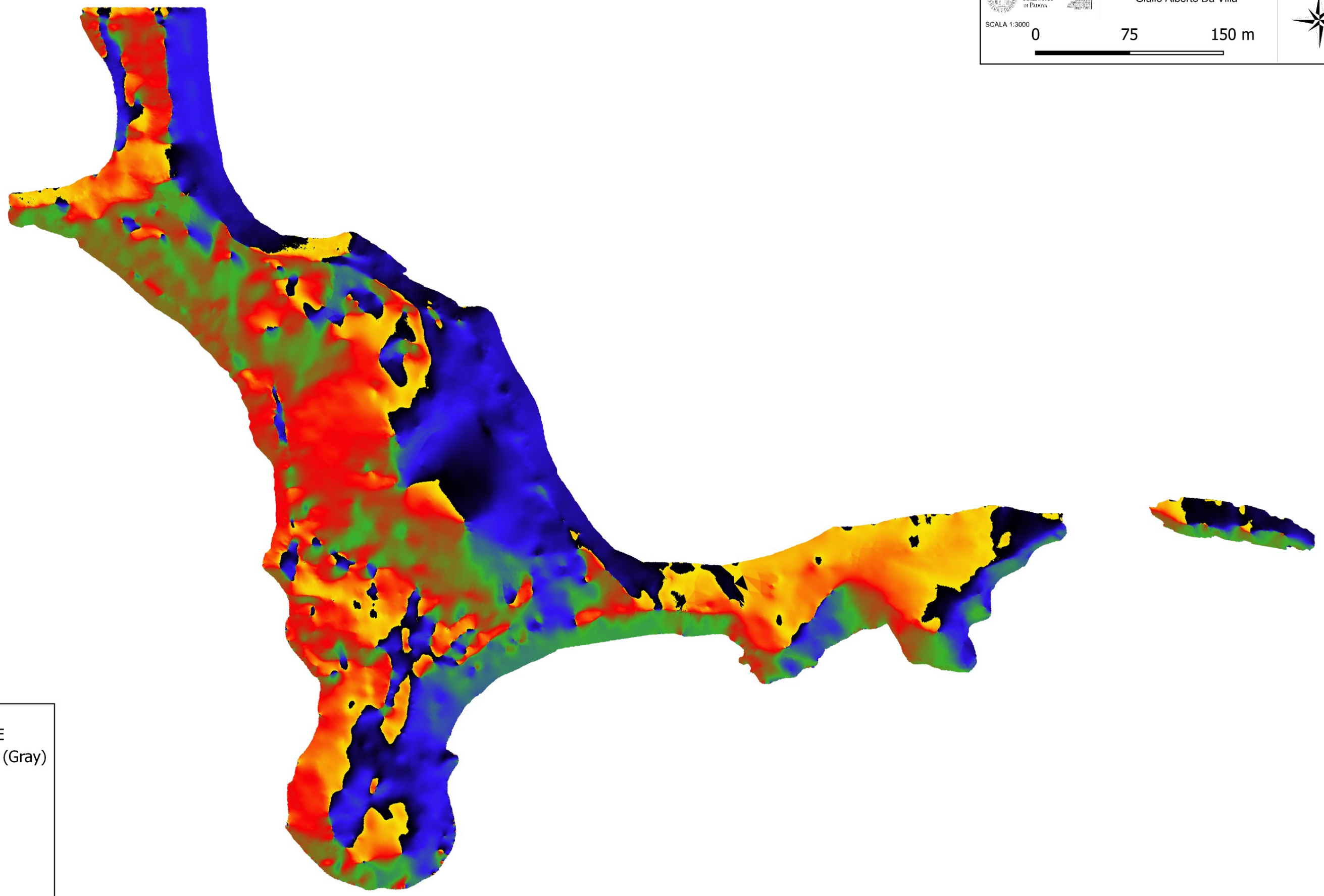
NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO
	04	Novembre	2022
	DISEGNO ED ELABORAZIONE	DIFFERENZA MEDIO MARE TRA ETÀ MODERNA ED ANTICA:	
	Giulio Alberto Da Villa	-0,55 ± 0,1m	
SCALA 1:3500			
DTM RICOSTRUTTIVO DELLA COSTA DI ETÀ TARDOANTICA			Nord 






NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO	DTM DELLA PENISOLA CON SCALA IN FALSO COLORE
	04	Novembre	2022	
DISEGNO ED ELABORAZIONE Giulio Alberto Da Villa				Nord 
SCALA 1:3000 	0	75	150 m	

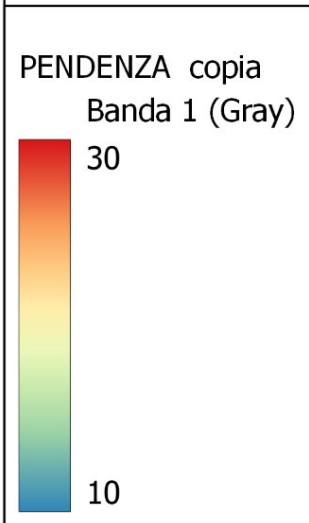
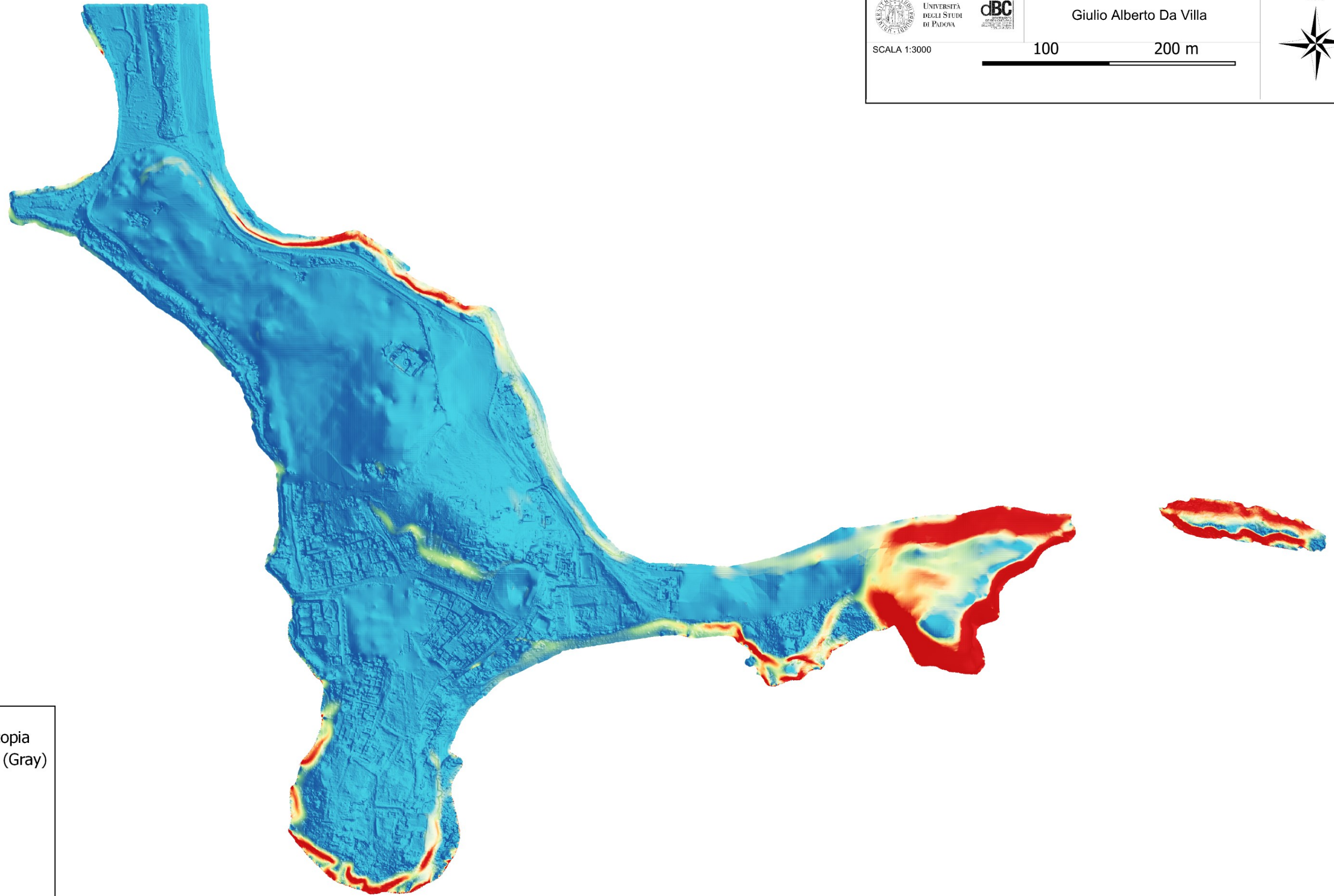


NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO	ESPOSIZIONE DEI PENDII
	04	Novembre	2022	
DISEGNO ED ELABORAZIONE: Giulio Alberto Da Villa				Nord 
SCALA 1:3000 				



ESPOSIZIONE
 Banda 1 (Gray)
 360

 0

NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO	PENDENZE DEL SUOLO
	04	Novembre	2022	
 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA	DISEGNO ED ELABORAZIONE			 Nord
	Giulio Alberto Da Villa			
SCALA 1:3000	100		200 m	



NORA
(Cagliari)



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



SCALA 1:3500

0

100

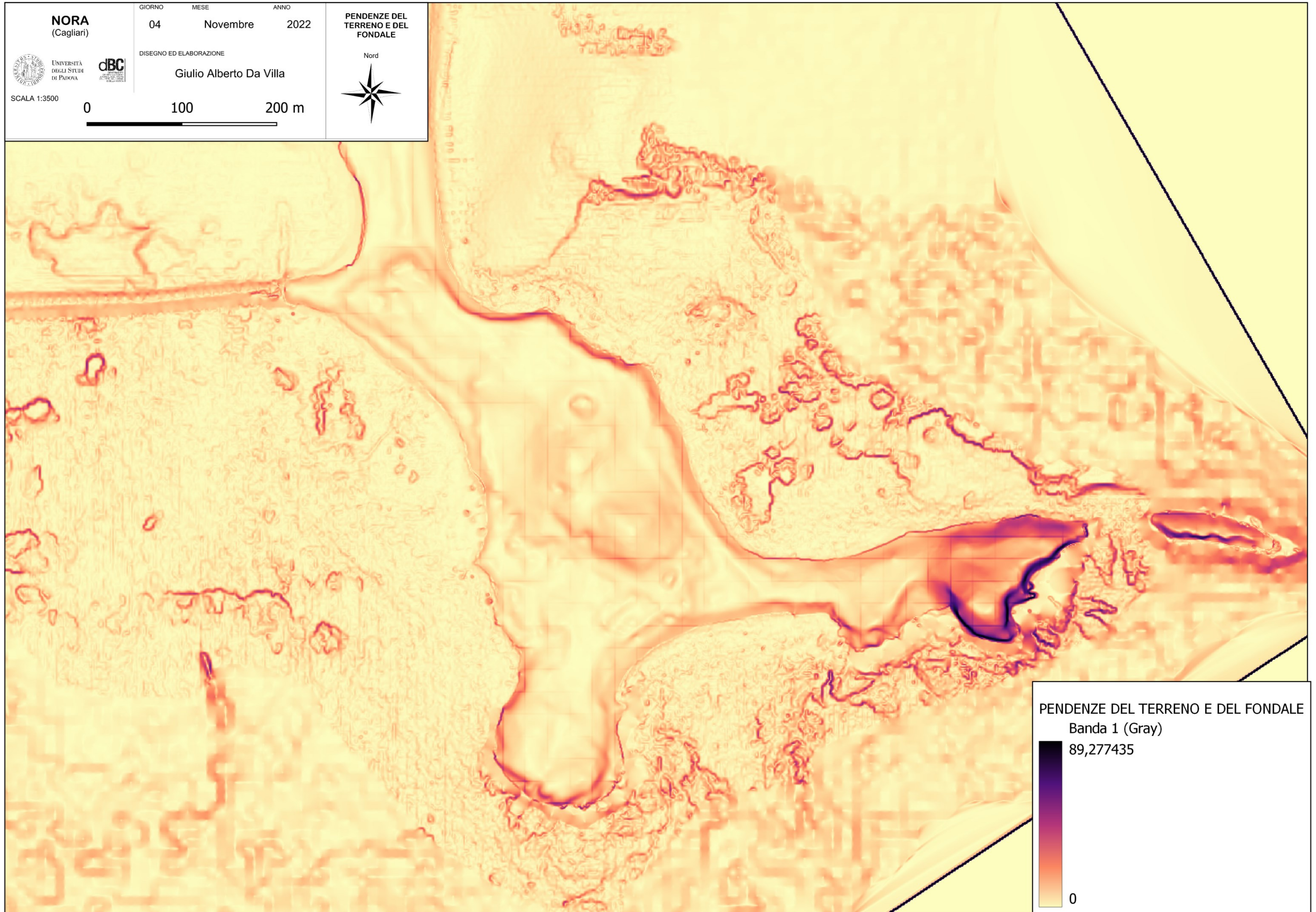
200 m

GIORNO MESE ANNO
04 Novembre 2022

DISEGNO ED ELABORAZIONE
Giulio Alberto Da Villa

**PENDENZE DEL
TERRENO E DEL
FONDALE**

Nord




PENDENZE DEL TERRENO E DEL FONDALE

Banda 1 (Gray)

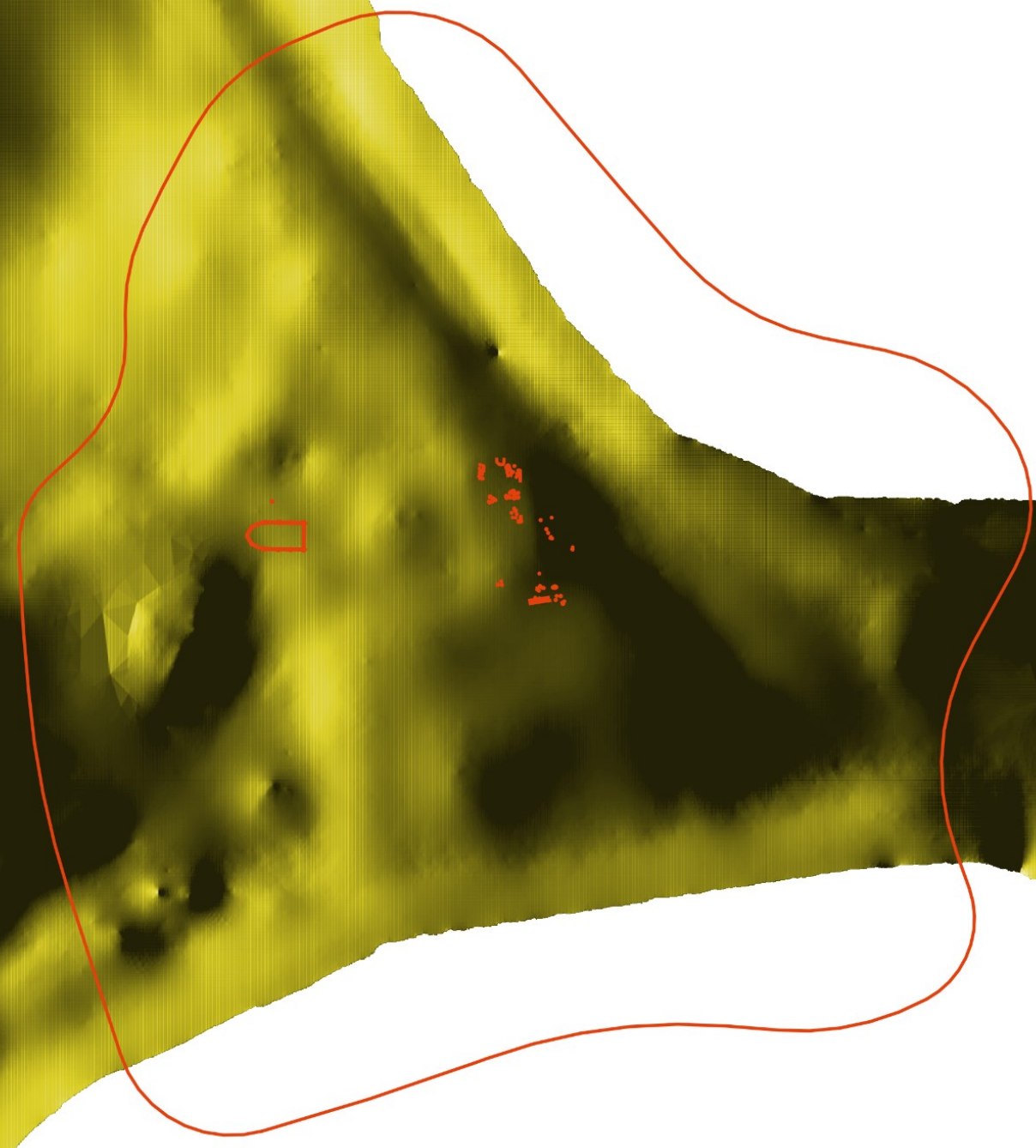
89,277435



0

NORA (Cagliari)	GIORNO	MESE	ANNO	POSIZIONE DELL'ABITATO FENICIO IN RAPPORTO AI VENTI DOMINANTI
	04	Novembre	2022	
DISEGNO ED ELABORAZIONE Giulio Alberto Da Villa				Nord 
SCALA 1:1000 0	25	50 m		

Direzione del vento di Maestrone

— Area insediamento fenicio e principali evidenze